

بررسی اثر خشکسالی هیدرولوژیک و بهره‌برداری سستی (توزیع، انتقال) از منابع آب سطحی بر روند تخریب زمین و بیابان‌زایی در مناطق خشک (مطالعه موردی: دشت سیستان)

معین جهان‌تیغ^۱، علی نجفی‌نژاد^{۲*}، منصور جهان‌تیغ^۳، محسن حسینعلی‌زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۲۹

چکیده

هدف از اجرای این پژوهش، بررسی اثر خشکسالی هیدرولوژیک و بهره‌برداری سستی از سیلاب بر روند تخریب زمین و بیابان‌زایی در منطقه سیستان است. بدین منظور در ابتدا به بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیک در رودخانه هیرمند پرداخته شد. با استفاده از شاخص جریان رودخانه (SDI) خشکسالی هیدرولوژیک برای یک دوره ۲۲ ساله محاسبه شد. به منظور بررسی تأثیر نحوه بهره‌برداری از منابع آب سطحی بر روند بیابان‌زایی و تخریب اراضی در منطقه، نقشه تغییرات کاربری اراضی و الویت دسترسی مناطق به منابع آب سطحی با یکدیگر هم‌پوشانی شد. نتایج بررسی شاخص جریان رودخانه (SDI) بیانگر وقوع ۱۸ سال خشکسالی در طول دوره مورد مطالعه می‌باشد که طی سال‌های اخیر شدت آن نیز افزایش یافته است. با مقایسه مساحت کلاس‌های کاربری در طی سال‌های عدم وقوع (۱۳۸۲) و وقوع (۱۳۹۷) خشکسالی، نیز نتایج بیانگر افزایش ۴۱ درصدی سطح اراضی بایر و همچنین کاهش به ترتیب ۸۴، ۶۷، ۵۷ و ۳۱ درصدی پهنه‌های آبی، مرتع، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و مناطق مسکونی بوده است. در بررسی نحوه بهره‌برداری از جریان‌های سیلابی، یافته‌های این پژوهش نشان داد که توزیع و انتقال سیلاب‌های ورودی به منطقه سیستان با توجه به فصلی بودن و تداوم نامشخص آن‌ها، محدودیت دسترسی به این منابع آب سطحی را در مناطقی از جمله شهرستان‌های هیرمند (بخش قرقری)، نیمروز (بخش پشت‌آب) و زابل (بخش مرکزی) به همراه داشته است. همچنین نتایج بیانگر آن است که بیشترین تغییرات کاربری‌ها مربوط به تبدیل پهنه‌های آبی (معادل با ۱۲۵۸۱ هکتار)، اراضی کشاورزی سیلابی (معادل با ۲۲/۳۰۷۳۳ هکتار) و مراتع ضعیف (معادل با ۴۴۹۵/۸ هکتار) به اراضی بایر بوده که از لحاظ فضایی منطبق با مناطقی است که در دسترسی به جریان‌های سیلابی با محدودیت همراه‌اند. بر این اساس با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، خشکسالی هیدرولوژیک و بهره‌برداری سستی از جریان‌های سیلابی با توجه به نظام آبیاری و شبکه آبرسانی، تغییرات محسوس کاربری اراضی را با تخریب اکوسیستم‌های وابسته به آب به همراه داشته که باعث گسترش مناطق بیابانی و نقاط بحرانی در سیستان شده است.

کلیدواژه‌ها: تخریب زمین، تغییر کاربری اراضی، خشکسالی هیدرولوژیک، سیستان، نظام آبیاری.

۱. دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان

۲. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان، نویسنده مسئول، najafinejad@gau.ac.ir

۳. دانشیار مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران

۴. استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان

* این مقاله مستخرج از رساله دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان است.

مقدمه

آب یکی از حیاتی‌ترین منابع مورد نیاز جامعه انسانی و لازمه نیل به توسعه پایدار به شمار می‌رود. دسترسی به منابع آب از دیرباز زمینه‌ساز تحولات علمی و تکنولوژی و بقای اجتماعات انسانی بوده است (نبی افجدی و همکاران، ۲۰۱۵). این در حالی است که تنش فزاینده ناشی از آثار متقابل رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تنوع اقلیمی و توزیع ناهمگون زمانی و مکانی، بهره‌برداری و دسترسی از منابع آب را همواره تحت الشعاع قرار داده است (فلاحی و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس گزارش‌های ارائه‌شده از سوی سازمان ملل، در حال حاضر ۸۰ درصد از جمعیت جهان در مناطقی سکونت دارند که امنیت آبی چندانی ندارند و ۳/۴ میلیارد نفر از جمعیت کره زمین با خطر بی‌آبی مواجه‌اند (UNEP, ۲۰۱۲). بنا به گزارش‌های ارائه‌شده از سوی بانک جهانی، اصلی‌ترین دلیل کمبود آب در جهان، مدیریت ضعیف و ناکارآمد نظام‌های آبیاری و نحوه توزیع و انتقال آن است (کیاو و همکاران، ۲۰۰۸). کمبود آب و عدم مدیریت صحیح منابع آب قابل دسترس، بحران آبی را ایجاد می‌کند که تغییر اقلیم و وقوع خشکسالی باعث تشدید آن می‌شود و ابعاد مختلف زیست‌محیطی و اقتصادی اجتماعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (فرج‌زاده اصل و بیگم حسینی، ۲۰۰۷). در دهه‌های اخیر، وقوع خشکسالی‌های طولانی‌مدت توأم با مدیریت نامناسب منابع آب قابل دسترس در مناطق خشک، تخریب اکوسیستم‌های طبیعی وابسته به منابع آبی را به دنبال داشته است. به طوری که نمود آن، تغییر کاربری اراضی در گذر زمان و گسترش مناطق بیابانی با تخریب محیط زیست بوده است.

تحقیقات گسترده‌ای توسط محققان خارجی و داخلی در زمینه خشکسالی و اثر آن بر منابع آب صورت گرفته است. چن^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر خشکسالی بر رژیم جریان رودخانه با استفاده از شاخص (SDI) و زنجیره مارکو در دو حوزه لانینا و بیلان در کشور

تایوان پرداختند. آنان با ارزیابی شاخص خشکسالی هیدرولوژیک برای دوره‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماه در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب دریافتند که بیشترین شدت خشکسالی مربوط به سال ۲۰۰۲ بوده که باعث کاهش ۳۵٪ دبی جریان در دو حوضه مورد مطالعه شده است. در تحقیقی دیگر مهمت^۲ و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی اثر خشکسالی بر مقادیر کمی جریان رودخانه بیتلیس در کشور ترکیه پرداختند. آنان با استفاده از شاخص جریان خشکسالی (SDI) و تجزیه و تحلیل روند تغییرات خشکسالی با استفاده از داده‌های متوسط جریان ماهانه دریافتند که اثر خشکسالی بر مقادیر دبی جریان رودخانه محسوس و بیشترین دوره خشک مربوط به ماه ژوئن با ۶۵٪ و کمترین دوره خشک در ماه مارس با ۴۸٪ بوده است. نتایج مطالعات سلیمانی و همکاران (۲۰۱۴) در تحلیل زمانی وقوع خشکسالی‌ها و تأثیر آن بر کاهش آب‌دهی دریاچه کیو با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده و شاخص خشکسالی هیدرولوژیک بیانگر آن بود که رابطه زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در سطح ۹۹٪ معنی‌دار است. نتایج پژوهش نوحه‌گر و همکاران (۲۰۱۶) در ارزیابی خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب سطحی حوزه آبخیزه میناب با استفاده از دو شاخص (RDI) و (SPI) بیانگر بیشترین فراوانی خشکسالی با شدت ملایم و اثر معنی‌دار خشکسالی بر تغییرات متوسط دبی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه بوده است. علاوه بر خشکسالی از دیگر عوامل بحران آب در مناطق خشک عدم مدیریت صحیح منابع آب قابل دسترس در این مناطق است. مطالعات متعددی در زمینه توزیع و بهره‌برداری از منابع آب قابل دسترس صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: گرونیرگر^۳ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از یک مدل مفهومی و تعیین سیاست‌های برنامه‌ریزی از جمله انتقال، تخصیص و توزیع منابع آب در کشور افغانستان را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش حاکی از ناکارآمدی نظام آبیاری با

4. Mehmet
5. Reconnaissance Drought Index
6. Standardised Precipitation Index
7. Groningera

1. Qiao
2. Chen
3. Streamflow Drought Index

کمی و کیفی منابع آب در شهرستان مرودشت با استفاده از روش‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و چهارچوب تلفیقی شبکه‌علی و سلسله‌مراتب اکولوژیک، بیانگر آن بود که مدیریت بهتر منابع آب و کنترل بحران‌های زیست‌محیطی نیازمند اصلاح شبکه‌های آبرسانی، توزیع مناسب منابع آب و آموزش کشاورزان برای بهره‌برداری اصولی از این منابع است.

تابش و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی به مدیریت مصرف آب در شبکه‌های توزیع آب شهری در استان تهران پرداختند. آنان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) برای تعیین مناسب‌ترین راهبرد مدیریت توزیع و مصرف در شبکه‌های توزیع آب شهری، دریافتند که به‌کارگیری زیرساخت‌های مناسب در شبکه انتقال آب برای دسترسی مناسب و رویکرد کاهش آب بدون درآمد به‌عنوان مناسب‌ترین دیدگاه از نظر تصمیم‌گیرندگان برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب شناخته شده است.

اثر خشکسالی و بهره‌برداری غیراصولی از منابع آب، نقش بارزی در تخریب اکوسیستم‌های طبیعی دارد، به‌طوری که با تغییر کاربری اراضی و تخریب زمین، زمینه‌ساز گسترش مناطق بیابانی و تخریب محیط زیست در مناطق خشک می‌شود.

در زمینه بررسی تغییرات کاربری اراضی نیز مطالعات متعددی صورت گرفته است. فان و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی به بررسی تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه گوانگژو کشور چین در یک دوره ۵ ساله پرداختند. آنان با طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست و آشکارسازی تغییرات دریافتند که سطح اراضی بایر به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و بخش عمده از اراضی کشاورزی کاهش یافته است. پاندیان^۱ و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی تغییر کاربری اراضی منطقه تامیل نادو کشور هند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. یافته‌های آن‌ها بیانگر کاهش و افزایش ۱۴ و ۱۵ درصدی سطح اراضی کشاورزی و بایر بوده است. در مطالعات صورت گرفته در

توجه به چالش‌های اقتصادی اجتماعی و تخریب اکوسیستم‌های طبیعی موجود در این کشور و همچنین ضرورت اتخاذ رویکرد جامع در مدیریت آب و توسعه زیرساخت‌ها به منظور بهره‌وری بیشتر از منابع آب قابل دسترس بود. پلایان^۱ و همکاران (۲۰۱۸) نیز مشکلات ناشی از توزیع و بهره‌برداری از منابع آب را با در نظر گرفتن اصول هیدرولوژیکی و مسائل زیست‌محیطی کشورهای در حال توسعه را مورد مطالعه قرار دادند. آنان با تجزیه و تحلیل نیازمندی‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی با استفاده از شاخص جریان رودخانه (SDI) و تغییرات هیدرولوژیکی (IHA)، توزیع و بهره‌برداری از منابع آب را در این کشورها با توجه به میزان تخصیص منابع آب در بخش‌های شرب، صنعت، کشاورزی و محیط زیست، ناکارآمد گزارش کرده‌اند. در تحقیق دیگر ملگار جو مورنو^۲ و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی مدیریت توزیع و بهره‌برداری از منابع آبی در جنوب شرقی اسپانیا پرداختند. آنان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی تلفیقی برای ارتباط بین سیستم آبخوان رودخانه با تغییرات جریان در رودخانه و میزان تخصیص منابع آب به بخش‌های مختلف، بهره‌برداری نامناسب و شبکه‌های توزیع غیراصولی را از عمده دلایل ایجاد چالش‌های اقتصادی اجتماعی و تخریب اکوسیستم‌های طبیعی موجود در این کشور گزارش داده‌اند.

در مطالعات صورت گرفته در ایران، مطیعی لنگرودی و همکاران (۲۰۰۸) وضعیت منابع آب منطقه کلات شهرستان سبزوار را با تأکید بر مشکلات تأمین آب مناطق روستایی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با بررسی نحوه توزیع و بهره‌برداری از منابع آب، زیرساخت‌های نامناسب در شبکه انتقال آب و نظام آبیاری سنتی را عامل کاهش دسترسی به منابع آب و گسترش مناطق بیابانی در این منطقه گزارش کرده‌اند. یافته‌های فروزانی و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی نحوه استفاده از منابع آب، پتانسیل‌ها و ظرفیت‌های موجود برای استفاده بهینه و عوامل زیست‌محیطی مؤثر بر نقصان

4. Analytic Hierarchy Process
5. Change Detection
6. Pandian

1. Playan
2. Indicators of Hydrologic Alteration
3. Melgarejo Moreno

داخل کشور، مرادی و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی به بررسی تغییرات کاربری اراضی شهرستان‌های رابر و ارزوئیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست پرداختند. آنان با طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تعیین کاربری‌های مرتع، کشاورزی، اراضی بایر و باغی، ضمن آشکارسازی تغییرات در طی یک دوره ۱۵ ساله، دریافتند که اراضی با کاربری مرتع بیشترین تبدیل و تغییر را داشته و درصد تغییرات در شهرستان‌های مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۷۷ و ۷۳٪ بوده که گسترش فعالیت‌های زراعی بر روی اراضی مرتعی موجب تبدیل مراتع به دیمزارها گزارش شده است. نتایج مطالعات امیرانتخابی و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تغییرات کاربری اراضی شهرستان تالش با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، بیانگر روند کاهش سطح کاربری‌های اراضی جنگلی و کشاورزی و در مقابل گسترش مناطق مسکونی در طی بازه زمانی ۱۴ سال بوده است. در تحقیق دیگر، موسوی و همکاران (۲۰۱۸) به آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی شهرستان پل‌دختر با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در طی یک دوره ۳۱ ساله پرداختند. یافته‌های این پژوهش حاکی از کاهش مساحت نیمی از جنگل‌های انبوه و افزایش به ترتیب $4/7$ و 13 درصدی اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی بوده است.

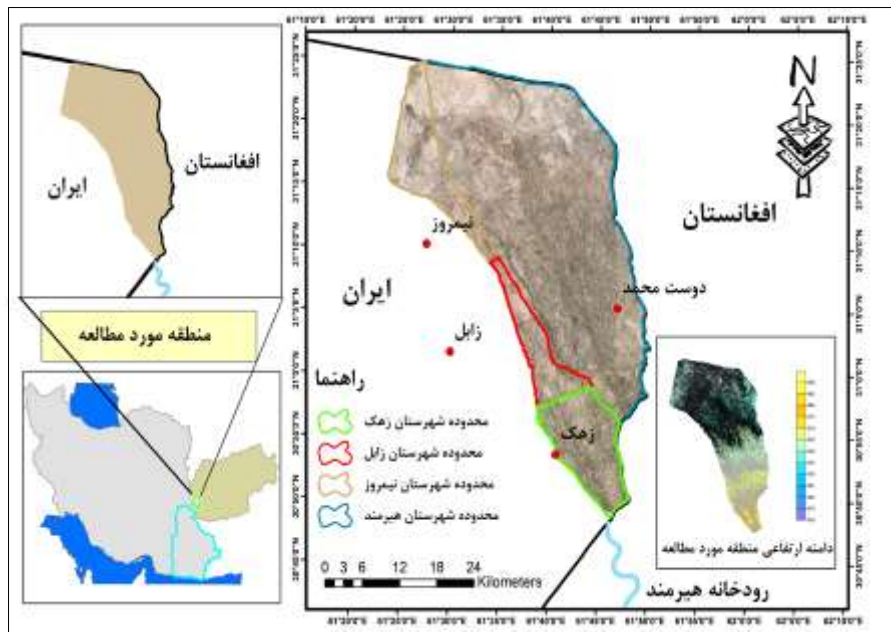
بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که خشکسالی و توزیع و بهره‌برداری از منابع آب، نقش بسزایی در پایداری اکوسیستم‌های طبیعی و شرایط زیست‌محیطی در مناطق خشک ایفا می‌کند. از آنجا که نسبت کاربری‌ها در گذر زمان بیانگر وضعیت پایداری اکوسیستم‌های زمینی در یک منطقه است، با بررسی تغییرات کاربری اراضی می‌توان کارایی نظام‌های بهره‌برداری از منابع آب و اثر مخاطرات طبیعی از جمله خشکسالی را در مناطق خشک آشکار کرد. از این رو با توجه به کم بودن مطالعات صورت‌گرفته در خصوص بررسی اثر خشکسالی و نظام‌های بهره‌برداری سنتی از منابع آب بر پایداری اکوسیستم‌های طبیعی در مناطق خشک و همچنین نیاز مبرم به برنامه‌ریزی و اتخاذ راهکارهای مدیریتی مناسب برای توسعه پایدار منابع آب و کنترل روند بیابان‌زایی

در این مناطق، این تحقیق به دنبال آن است تا در ابتدا با تحلیل وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی در رودخانه هیرمند (تنها منبع تأمین‌کننده نیاز آبی منطقه سیستان) و بررسی دسترسی مناطق به منابع آب سطحی (جریان‌های سیلابی)، ضمن تعیین تغییرات کاربری اراضی در این مناطق، تأثیر خشکسالی و نحوه بهره‌برداری از این منابع آبی بر روند بیابان‌زایی و تخریب اراضی منطقه را مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده بخشی‌هایی از شهرستان نیمروز، زابل، زهک و هیرمند واقع شده است (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا حدود ۴۸۰ متر است. این منطقه مسطح و یک واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی-رودخانه‌ای است که تغییرات شیب در آن حدود $1/4000$ می‌باشد. بافت خاک منطقه سنگین و به سمت شوری حرکت می‌کند و قابلیت نفوذ آب در آن متوسط تا آهسته است. متوسط بارندگی این منطقه حدود ۵۶ میلی‌متر است که بیشترین درصد ریزش در فصل زمستان صورت می‌گیرد. میانگین درجه حرارت گرم‌ترین و سردترین ماه سال به ترتیب برابر با ۳۵ (تیر ماه) و $9/2$ (دی ماه) درجه سانتی‌گراد است. میزان رطوبت این ناحیه از کشور پایین ولی متوسط تبخیر آن ۵۰۰۰ میلی‌متر است. سیستان بیشترین روزهای همراه با گرد و غبار در جهان را دارد، به طوری که هر ساله به طور متوسط $160/7$ روز از سال وزش باد به همراه طوفان و گردوغبار در آن وجود دارد که متلاشی شدن زیست‌بوم آن را به همراه داشته است (جهان‌تیغ و جهان‌تیغ، ۲۰۱۹). کشاورزی و دامداری مهم‌ترین حرفه ساکنان منطقه سیستان می‌باشد که وابسته به ورود جریان‌های سیلابی رودخانه هیرمند از کشور افغانستان است. جریان‌های سیلابی رودخانه هیرمند در نوار مرزی ایران و افغانستان به رودخانه پریان و در داخل ایران در حد فاصل شهر زهک به دو شاخه نیاتک و سیستان‌رود وارد می‌شود که آبرسانی اراضی این منطقه از طریق رودخانه نیاتک صورت می‌گیرد.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان، استان و کشور

Figure (1): Location of study area in city, province and country

استفاده شد (پاندی^۱ و همکاران، ۲۰۰۸؛ نالبانتیس^۲، ۲۰۰۸).

$$SDI_{ik} = \frac{V_{ik} - \bar{V}_k}{S_k} \quad i=1,2,\dots, k=1,2,3,4 \quad (1)$$

در این معادله، V_k و S_k به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریانات تجمعی برای دوره مبنای k می‌باشد. طبقه‌بندی حالت‌های مختلف خشکسالی (SDI) نیز بر اساس جدول (۱) صورت گرفت.

جدول (۱): طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی هیدرولوژیک

با روش (SDI)

Table (1): Classification of hydrologic drought states by SDI method

حالت	محدوده	وضعیت خشکسالی
۰	$0 \leq SDI$	فاقد خشکسالی
۱	$-1 \leq SDI < 0$	خشکسالی ملایم
۲	$-1/5 \leq SDI < -1$	خشکسالی متوسط
۳	$-2 \leq SDI < -1/5$	خشکسالی شدید
۴	$SDI \leq -2$	خشکسالی خیلی شدید

در ادامه به بررسی نحوه بهره‌برداری از جریان‌های سیلابی پرداخته شد. طی مطالعات کتابخانه‌ای، نظام آبیاری منطقه مشخص شد. برای تعیین شبکه آبرسانی در منطقه مورد مطالعه ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مسیر جریان‌های سیلابی و

روش تحقیق

با توجه به اینکه هدف از اجرای این تحقیق، بررسی اثر خشکسالی هیدرولوژیک و بهره‌برداری سنتی از جریان‌های سیلابی بر روند تخریب اراضی و بیابان‌زایی در منطقه سیستم است، در ابتدا به بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیک در رودخانه هیرمند که تنها منبع تأمین‌کننده نیاز آبی منطقه سیستم به شمار می‌رود، پرداخته شد. از آنجا که خشکسالی هیدرولوژیک با کمبود جریان در جنبه‌های مختلفی از جمله جریان سطحی رودخانه‌ها سطح مخازن و افت سطح ایستابی در سفره‌های آب زیرزمینی نمایان می‌شود، به منظور بررسی تغییرات خشکسالی هیدرولوژیک از شاخص خشکسالی رودخانه (SDI) به منظور وقوع و یا عدم وقوع خشکسالی هیدرولوژیک در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. بدین منظور از آمار مربوط به اولین ایستگاه هیدرومتری (ایستگاه کهک) پس از ورود سیلاب به منطقه سیستم استفاده شد. برای اطمینان از همگنی داده‌ها با استفاده از روش ران تست همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت (ولی و محرابی، ۲۰۱۹). پس از آزمون همگنی داده‌ها به منظور برآورد شاخص خشکسالی جریان‌های رودخانه‌ای (SDI) بر اساس حجم تجمعی جریانات رودخانه‌ای (V_{ik}) برای دوره مبنای (k) مربوط به (i) سال هیدرولوژیک از رابطه (۱)

1. Pandey
2. Nalbantis

شبکه انتقال آب در منطقه سیستان (رودخانه نیاتک) تعیین شد. طی عملیات میدانی از منطقه بازدید و با استفاده از جی پی اس (GPS) مسیر شبکه انتقال برحسب محل تلاقی رودخانه اصلی با کانال و مسیل های انتقال جریان سیلابی در هریک از بخش ها مشخص شد. همچنین با اندازه گیری سطح مقطع، میزان آب انتقالی در هریک از کانال ها و مسیل های انتقال سیلاب نیز برآورد شد. نمایی از شبکه انتقال آب در منطقه مورد مطالعه در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل (۲): شبکه انتقال جریان های سیلابی در منطقه سیستان

Figure (2): Water supply network in the Sistan area

تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و در محیط نرم افزار GIS (اکستنشن AHP) صورت گرفت (جدول ۲). در این روش برای تعیین ضریب اهمیت (وزن) معیارها، معیارها دو به دو با یکدیگر (با تشکیل ماتریس مقایسه زوجی) مقایسه می شوند و درجه اهمیت هر معیار، نسبت به دیگری مشخص و در آخر وزن های به دست آمده نرمالیزه می گردد (سایمن و همکاران، ۲۰۰۷؛ مهتابی اوغانی و همکاران، ۲۰۱۳؛ عسکری پور و همکاران، ۲۰۱۵). در ادامه با وزن دهی معیارها با استفاده از ابزار Raster Calculator و توابع تلفیق در محیط GIS لایه های اطلاعاتی ایجاد شده (رستری و وکتوری) به تفکیک شهرستان و بخش های ذی ربط با یکدیگر تلفیق شد (حسن پور و همکاران، ۲۰۱۳؛ بحرالعلوم و همکاران، ۲۰۱۷). در مرحله بعد با توجه به امتیاز هر بخش (جمع عوامل مؤثر در مدار گردش آب) مطابق با روش ساعتی و وارگاس (۲۰۰۱) و لولاجی (۲۰۰۵) این مقادیر ارزش گذاری مجدد و معادل کیفی آن برای تهیه نقشه الویت دسترسی مناطق به منابع آب سطحی در نظر گرفته شد.

به منظور بررسی دسترسی مناطق به منابع آب سطحی، عوامل مؤثر بر توزیع آب تعیین شد. بر اساس مطالعات صورت گرفته همچون زاهدی (۲۰۰۸)، مطیعی لنگرودی و همکاران (۲۰۰۸)، نجفی و همکاران (۲۰۱۳)، ازکیا و علیزاده (۲۰۱۴)، پلایین و همکاران (۲۰۱۸) و ملگارچو مورنو و همکاران (۲۰۱۹) عواملی از جمله فاصله از منبع تأمین کننده، میزان آب دهی منبع تأمین کننده، تعداد کشاورزان دارای حبابه، وسعت اراضی تحت آبیاری و فصل زراعی مهم ترین عوامل در دسترسی به منابع آب سطحی به شمار می رود. لذا در این تحقیق از این متغیرها به عنوان عوامل مؤثر بر توزیع آب استفاده شد. با نظرسنجی از خبرگان محلی که بیش از ۲۰ سال به حرفه کشاورزی مشغول بوده (تعداد ۱۰ نفر) و همچنین کارشناسان ادارات ذی ربط (تعداد ۱۰ نفر) ضمن ارزیابی و آزمون صحت نظریات (۱۵ نفر ارزیابی و ۵ نفر صحت سنجی)، این متغیرها امتیازدهی و آمار و اطلاعات مربوط به آنها از بخش آبیاری، جهاد کشاورزی و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان گردآوری شد. وزن دهی متغیرهای مؤثر بر توزیع آب با استفاده از روش

جدول (۲): متغیرهای تصمیم‌گیری در تعیین مدار گردش آب

Table (2): the factors affecting the circulation of surface water resources in sistana area

نوع محصول	فصل زراعی	وسعت اراضی تحت آبیاری	تعداد کشاورزان دارای حقبه	میزان آب‌دهی منبع تأمین‌کننده	فاصله از منبع تأمین‌کننده آب	متغیرها	وزن لایه
۴	۵	۶	۷	۸	۱	فاصله از منبع تأمین‌کننده آب	۰/۴۷۹
۸	۸	۸	۸	۱	۰/۱۲۵	میزان آب‌دهی منبع تأمین‌کننده	۰/۲۶۸
۷	۷	۷	۱	۰/۱۲۵	۰/۱۴۲	تعداد کشاورزان دارای حقبه	۰/۱۲۶
۶	۶	۱	۰/۱۴۲	۰/۱۲۵	۰/۱۶۶	وسعت اراضی تحت آبیاری	۰/۰۶۴
۵	۱	۰/۱۶۶	۰/۱۴۲	۰/۱۲۵	۰/۲	فصل زراعی	۰/۰۳۶
۱	۰/۲	۰/۱۶۶	۰/۱۴۲	۰/۱۲۵	۰/۲۵	نوع محصول	۰/۰۲۴

نرخ سازگاری: ۰/۰۴

برای بررسی تغییرات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای (۴) ارائه شده است. برای تعیین نمونه‌ها از ابزار ROI در لندست استفاده شد. به منظور تهیه تصاویر ماهواره‌ای با تجزیه و تحلیل مقادیر شاخص جریان رودخانه‌ای (SDI) از تصاویر مربوط به سال‌های عدم وقوع (۲۰۰۲) و وقوع خشکسالی هیدرولوژیک (۲۰۱۸) استفاده شد (جدول ۳ و شکل ۳). با توجه به زمان ورود جریان‌های سیلابی به منطقه سیستم و نیز مراحل فنولوژیکی گیاهی در این منطقه از تصاویر مربوط به ماه آوریل استفاده شد (خوارزمی و همکاران، ۲۰۱۶). به منظور آماده‌سازی و پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای با توجه به اینکه این تصاویر از قبل زمین مرجع بوده و RMSE آن‌ها کمتر از ۰/۵ پیکسل است (۰/۴۲)، از مرحله تصحیح هندسی در این تحقیق صرف‌نظر و تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری بر روی تصاویر صورت گرفت (کیانی و همکاران، ۲۰۱۳). برای طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شد. در این طبقه‌بندی با استفاده از یکسری نمونه‌های آموزشی تعلیمی بر اساس روش حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی تصاویر استفاده

$$\text{Kappa} = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} * 100 \quad (2)$$

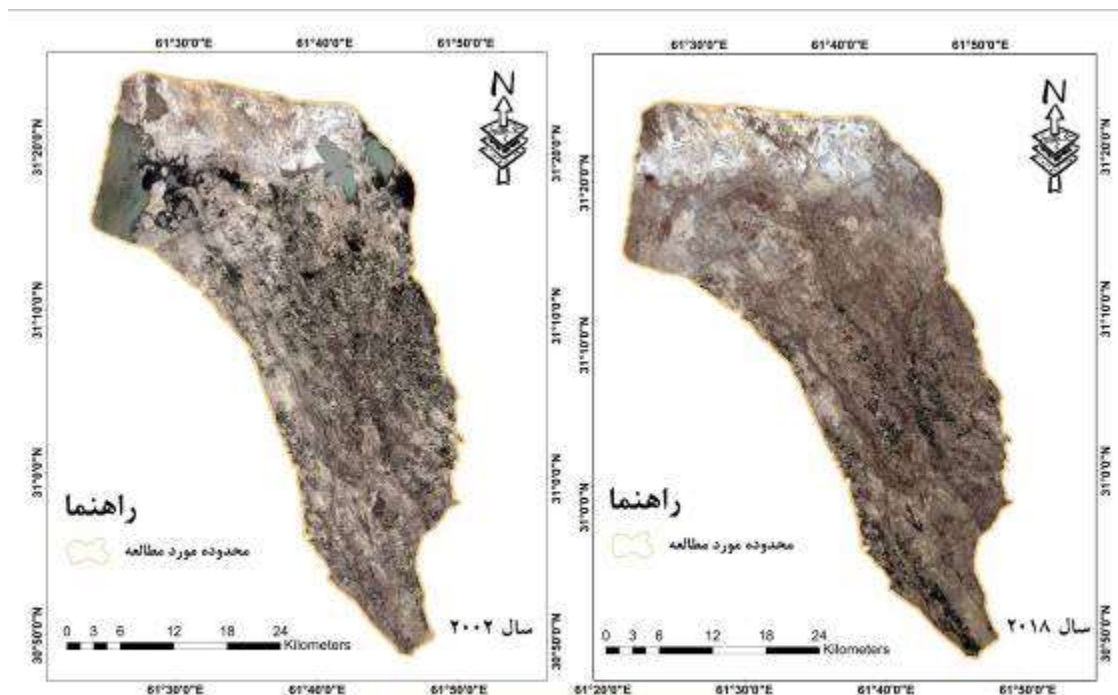
که در این معادله، p_o درستی مشاهده شده و p_c توافق مورد انتظار است. با طبقه‌بندی تصاویر و تهیه نقشه کاربری اراضی به منظور تعیین آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی از تابع cross tab در محیط Idrisi Selva استفاده شد. در ادامه، نقشه تغییرات کاربری‌های اراضی با کسر از مناطق بدون تغییر جداسازی و با استفاده از روش‌های تلفیق بر روی نقشه دسترسی مناطق به منابع آب سطحی (جریان‌ات سیلابی) در محیط جی‌آی‌اس قرار گرفت. همچنین مساحت هر یک از کاربری‌ها با توجه به تقسیمات سیاسی کشور برای هر یک از شهرستان و بخش‌ها منطقه مورد مطالعه با تبدیل نقشه‌های رستری به فرمت Shapefile در محیط GIS 10.3 برآورد شد. به منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌ها مشخص و با استفاده از آزمون T-Student در محیط نرم‌افزار SPSS ۲۳ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (رنگ‌آور و همکاران، ۲۰۰۹؛ تمرتاش و همکاران، ۲۰۱۶).

برای بررسی تغییرات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد. به منظور تهیه تصاویر ماهواره‌ای با تجزیه و تحلیل مقادیر شاخص جریان رودخانه‌ای (SDI) از تصاویر مربوط به سال‌های عدم وقوع (۲۰۰۲) و وقوع خشکسالی هیدرولوژیک (۲۰۱۸) استفاده شد (جدول ۳ و شکل ۳). با توجه به زمان ورود جریان‌های سیلابی به منطقه سیستم و نیز مراحل فنولوژیکی گیاهی در این منطقه از تصاویر مربوط به ماه آوریل استفاده شد (خوارزمی و همکاران، ۲۰۱۶). به منظور آماده‌سازی و پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای با توجه به اینکه این تصاویر از قبل زمین مرجع بوده و RMSE آن‌ها کمتر از ۰/۵ پیکسل است (۰/۴۲)، از مرحله تصحیح هندسی در این تحقیق صرف‌نظر و تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری بر روی تصاویر صورت گرفت (کیانی و همکاران، ۲۰۱۳). برای طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شد. در این طبقه‌بندی با استفاده از یکسری نمونه‌های آموزشی تعلیمی بر اساس روش حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی تصاویر استفاده شد (مرادی و همکاران، ۲۰۱۶؛ هاشمی‌نسب و جعفری، ۲۰۱۸؛ غفاری و همکاران، ۲۰۱۸). در تعیین نمونه‌های تعلیمی از نقاط برداشت‌شده طی عملیات میدانی برای شرایط کنونی منطقه (تصویر سال ۲۰۱۸) و از نقشه‌های موضوعی و تفسیر چشمی با بهره‌گیری از تجارب کارشناسان برای شرایط گذشته (سال ۲۰۰۳) با پراکنش مناسب در سطح تصاویر استفاده شد. مشخصات نمونه‌های تعلیمی در جدول

جدول (۳): ویژگی‌های تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تعیین کاربری اراضی

Table (3): Satellite data of the study

ردیف	تاریخ میلادی	تاریخ هجری شمسی	ماهواره	سنجده	اندازه پیکسل	تعداد باند
۱	۲۰۰۲/۴/۷	۱۳۸۲/۲/۱۶	Landsat-7	ETM	۲۸/۵	۸
۲	۲۰۱۸/۴/۵	۱۳۹۷/۲/۱۴	Landsat-8	OLI	۳۰	۱۱



تصاویر مورد استفاده

شکل (۳): تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق

Figure (3): Satellite images used in research

جدول (۴): تعداد نمونه‌های آموزشی برای هر طبقه کاربری اراضی

Table (4): The Number of training samples for each land use

کاربری اراضی	کشاورزی	کشاورزی (سیلابی)	مرتع	مناطق مسکونی	بایر	پهنه آبی	تپه‌های ماسه‌ای	تالاب به همراه پوشش جنگلی	مناطق تثبیت شده
سال ۲۰۰۱	۱۲۰	۹۰	۱۰۰	۷۰	۹۰	۴۰	۴۰	۳۰	-
سال ۲۰۱۸	۱۲۰	۹۰	۱۰۰	۷۰	۹۰	۴۰	۴۰	-	۳۰

نتایج

ادامه، تغییرات کاربری زمین و آشکارسازی تغییرات در طی یک دوره ۱۶ ساله (۲۰۱۸-۲۰۰۲) بررسی و در پایان اثر خشکسالی هیدرولوژیک در رودخانه هیرمند و بهره‌برداری سستی از جریان‌های سیلابی بر روند تخریب اراضی و بیابان‌زایی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

۱. بررسی خشکسالی هیدرولوژیک

نتایج همگنی داده‌های مورد مطالعه در جدول (۵) ارائه شده

یافته‌های این پژوهش در چهار بُعد مورد بررسی قرار گرفته است: نخست به بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیک در رودخانه هیرمند پرداخته شد و در مرحله بعد به نحوه توزیع و انتقال منابع آب سطحی (جریان‌های سیلابی) بر اساس بازدیدهای میدانی، مطالعات کتابخانه‌ای و بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداخته شده است. در

۲. بررسی توزیع و انتقال جریان‌های سیلابی

با وزن‌دهی و تلفیق لایه‌های مربوط به تعیین مدار گردش آب، الویت دسترسی مناطق به منابع آب سطحی برای هریک از محدوده‌های مورد مطالعه تعیین شد (شکل ۵). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده با توجه به نظام آبیاری حاکم در منطقه، انتقال جریان‌های سیلابی در ابتدا به اراضی بخش مرکزی شهرستان زهک و بخش مرکزی شهرستان هیرمند صورت می‌گیرد که با فاصله زمانی چند روز (۴ تا ۵ روز) به شهرستان زابل (بخش مرکزی)، هیرمند (بخش قرقری) و نیمروز (بخش پشت آب) انتقال می‌یابد. دسترسی مناسب مناطق به سیلاب‌های ورودی از کشور افغانستان، منوط به اولویت انتقال جریان‌های سیلابی در آنهاست. از این رو بخش مرکزی شهرستان زهک و بخش مرکزی شهرستان هیرمند نسبت به سایر مناطق، دسترسی مناسب‌تری به منابع آب سطحی در منطقه سیستان دارند و بخش‌های دیگر در دسترسی به جریان‌های سیلابی همواره با محدودیت همراه هستند. علاوه بر این با توجه به فصلی بودن جریان‌های سیلابی و تدام زمانی نامشخص آنها در منطقه، انتقال جریان‌های سیلابی به این مناطق همواره با چالش روبه‌روست.

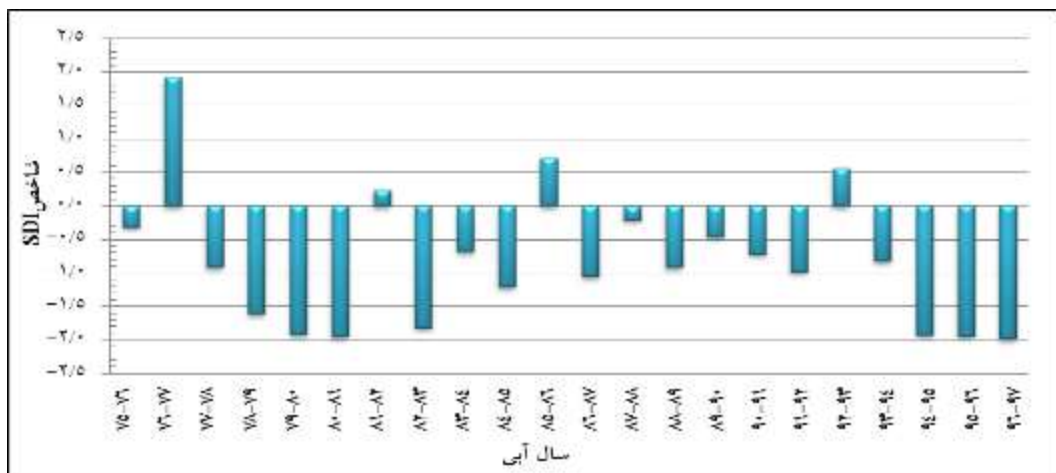
است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده داده‌های ایستگاه مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۹٪ قابل پذیرش هستند (P-value > 0.01).

جدول (۵): نتایج آزمون همگنی داده‌ها P-Valou

Table (5): The result of data homogeneity test

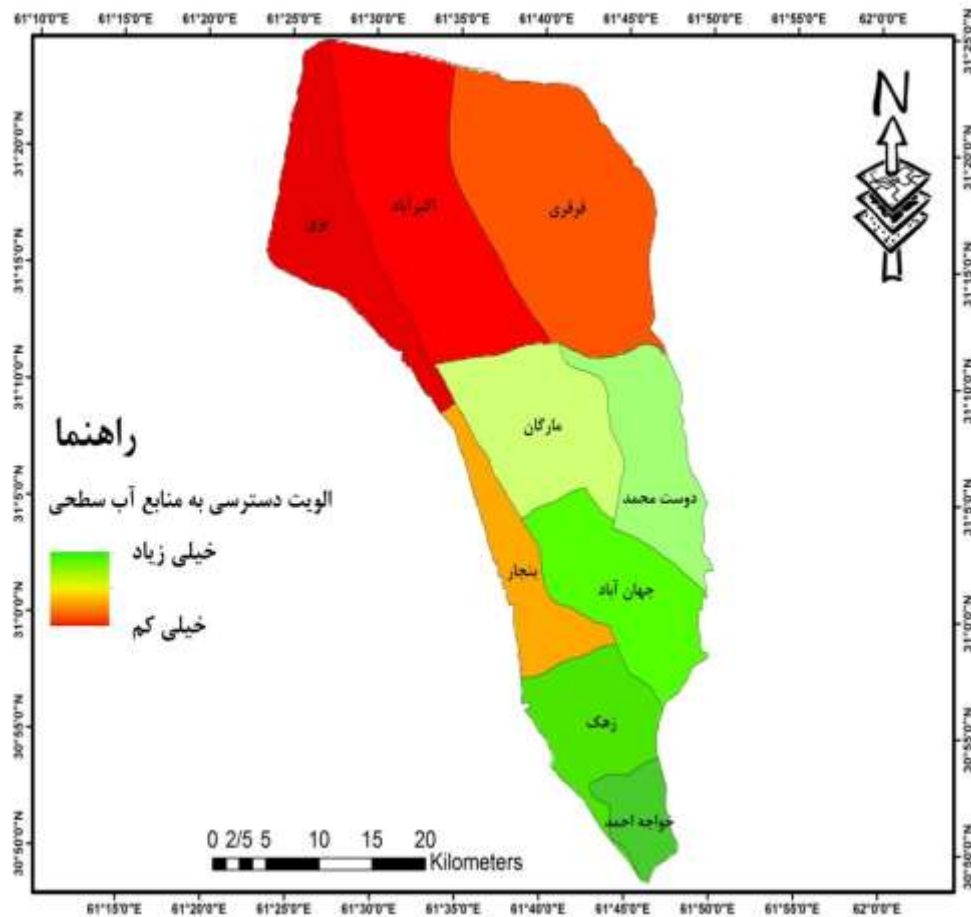
ایستگاه	مقدار P-Valou
کهک	۰/۳۲۱

نمودار سری زمانی شاخص خشکسالی (SDI) در ایستگاه مورد مطالعه در شکل (۴) ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده طی دوره آماری ۲۲ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۷) در ایستگاه کهک (اولین نقطه ورود جریان‌های سیلابی به منطقه سیستان) از سال ۱۳۷۵ تاکنون پنج دوره خشکسالی هیدرولوژیک با مدت زمان به ترتیب ۱، ۴، ۶، ۳ و یک دوره ۴ سال به وقوع پیوسته که تاکنون نیز ادامه داشته است. همچنین یافته‌ها بیانگر آن است که در طول دوره مورد مطالعه تنها در چهار سال آبی (۱۳۷۶-۱۳۷۷، ۱۳۸۱-۱۳۸۲، ۱۳۸۵-۱۳۸۶ و ۱۳۹۲-۱۳۹۳) خشکسالی هیدرولوژیک وجود نداشته و میانگین دبی در سال‌های وقوع خشکسالی هیدرولوژیک نسبت به سال‌های عدم وقوع خشکسالی ۸۹٪ کاهش یافته است. نتایج بررسی شاخص جریان رودخانه‌ای در طول دوره مورد مطالعه، بیانگر وقوع ۱۸ سال خشکسالی هیدرولوژیکی در ایستگاه مورد مطالعه می‌باشد که شدت آن نیز در سال‌های اخیر افزایش یافته است.



شکل (۴): نمودار سری زمانی شاخص جریان رودخانه (SDI) در ایستگاه هیدرومتری کهک در بازه زمانی ۲۲ سال

Figure (4): Time series of SDI values in kohak hydrometry Station over 22-years period



شکل (۵): الویت دسترسی بخش‌ها به منابع سطحی (جریان‌های سیلابی)

Figure (5): the sector access priority to the water resource in sistan area

متوسط، دبی نهرهای سنتی در منطقه مورد مطالعه ۱/۷ مترکعب بر ثانیه است. میزان حقابه به‌ازای هر هکتار زمین کشاورزی ۳ ساعت است. با وجود این، میزان آب قابل دسترس اراضی منطقه با در نظر گرفتن حقابه برای هر هکتار زمین کشاورزی معادل با ۳۹۹۶۰ مترمکعب آب و تداوم جریان آب در هر بخش بر اساس نظام آبیاری سنتی ۵ تا ۶ روز است که بسته به حجم جریان سیلاب متغیر است. نمای از نهرهای سنتی انتقال آب و روش‌های آبیاری اراضی منطقه سیستان در شکل (۶) ارائه شده است.

نحوه بهره‌برداری از جریان‌های سیلابی در منطقه مورد مطالعه بر اساس روش ثقلی و از طریق احداث نهرهای سنتی و در برخی نقاط کانال‌های احداثی است. انتقال آب به اراضی نیز به‌طور عمده بر اساس روش آبیاری غرقابی در اراضی کشاورزی و نیز بیل‌آب یا سیلابی در اراضی غیر کشاورزی (انتقال آب به‌صورت پخش آب در اراضی بدون احداث کرت و مرز در اطراف اراضی) انجام می‌گیرد. نهرهای سنتی انتقال آب در منطقه به‌صورت دستی و غیر مدرن احداث شده و از این‌رو پارامترهای شیب طولی و سطح مقطع در آن‌ها به‌طور یکنواخت طراحی نشده است. به‌طور



الف: نهرهای سنتی انتقال آب، ب: آبیاری اراضی کشاورزی به صورت غرقابی، پ: آبیاری اراضی مرتعی (آبیاری با روش بیل آب یا سیلابی)

شکل (۶): نمایی از نهرهای انتقال دهنده آب و آبیاری سنتی اراضی

Figure (6): View of traditional waterways and traditional irrigation in sistian area

۲. بررسی تغییرات کاربری اراضی

تغییرات مربوط به تبدیل پهنه‌های آبی (معادل با ۱۲۵۸۱ هکتار)، مخلوط تالاب-جنگل (۷۸۴۱/۳ هکتار)، اراضی کشاورزی سیلابی (معادل با ۳۰۷۳/۲۲ هکتار) و مراتع ضعیف (معادل با ۴۴۹۵/۸ هکتار) به این کاربری می‌باشد. در طی این دوره، اراضی کشاورزی (آبیاری از طریق چاهک) روند رو به رشد داشته و مساحت این کاربری از ۱۷۸۵ هکتار در سال ۱۳۸۲ به ۳۶۲۹/۳۲ هکتار در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است. دلیل افزایش ۵۰ درصدی اراضی کشاورزی نسبتاً به سال ۲۰۰۳، روند افزایشی احداث چاهک برای استفاده از آب زیرزمینی با توجه به خشکسالی‌های اخیر و نیز کاهش حجم سیلاب‌های ورودی به منطقه است. این چاهک‌ها با هدف تأمین آب مورد نیاز کشاورزی ساکنان منطقه سیستم احداث شده که میانگین دبی این چاهک‌ها حدود یک اینچ بر ثانیه است. از دیگر تغییرات این دوره، تخریب ۶۱ درصدی از اراضی کشاورزی سیلابی است. با توجه به اینکه آبیاری این اراضی از طریق جریان‌های سیلابی ورودی از کشور افغانستان به منطقه سیستم صورت می‌گیرد، از این رو وقوع خشکسالی‌های اخیر و کاهش تداوم و حجم جریان‌های سیلابی در منطقه، باعث شده تا آب مورد نیاز برای کشت این اراضی با توجه به حاصلخیزی بالای آن‌ها فراهم نگردد که ماحصل آن بایر شدن ۳۰۷۳/۲۲ هکتار از این اراضی بوده است. از طرف دیگر، جاری شدن سیلاب خارج از فصل کشت باعث شده تا کشاورزان امکان کشت

در جدول (۶)، مقادیر صحت کلی و ضریب کاپای حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ارائه شده است. نتایج حاصل از ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر با توجه به مقادیر پارامترهای مورد بررسی (به ترتیب ۹۰ و ۰/۹) بیانگر آن است که توافق قابل قبولی بین طبقه‌بندی صورت گرفته و انواع کاربری‌ها وجود دارد (هاشمی و همکاران، ۲۰۱۵؛ راهی و همکاران، ۲۰۱۷).

جدول (۶): صحت طبقه‌بندی تصاویر

Table (6): Results of the classification assessment

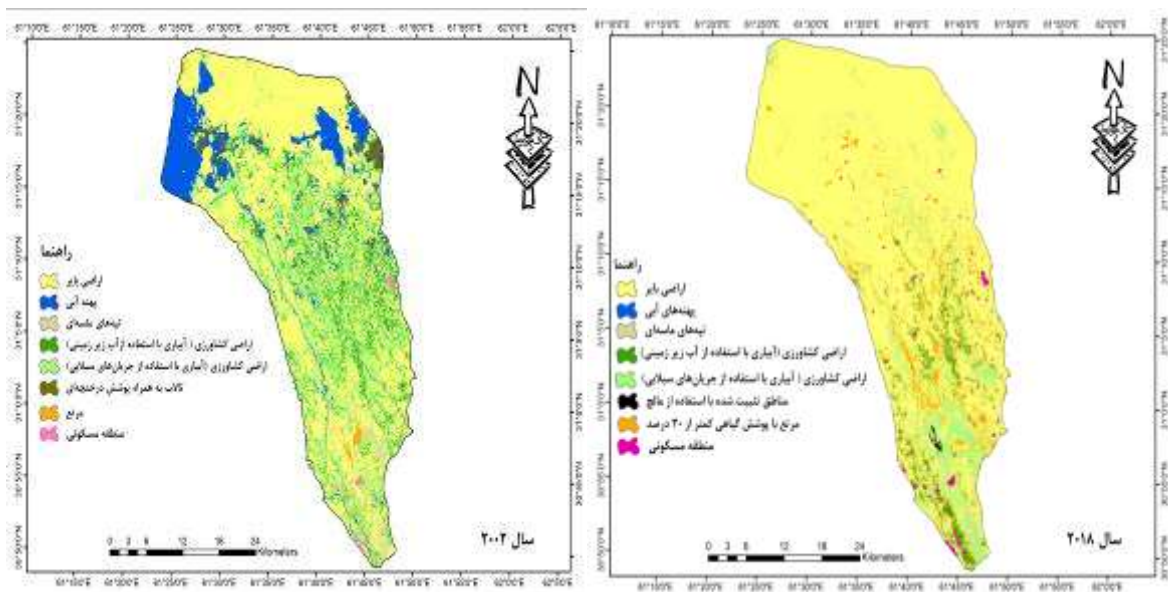
نام تصویر لندست	دقت کلی	ضریب کاپا
لندست ۲۰۰۳	۹۳/۶	۰/۹۴
لندست ۲۰۱۸	۹۴/۱	۰/۹۳

با توجه به صحت قابل قبول طبقه‌بندی تصاویر، نقشه کاربری اراضی به‌دست‌آمده برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه مطابق با شکل (۷) است. بر اساس نقشه‌های کاربری اراضی، مساحت کاربری‌ها به تفکیک شهرستان‌های محدوده مورد مطالعه مطابق با جدول (۷) و (۸) است. با بررسی مساحت کاربری‌ها، یافته‌ها بیانگر کاهش محسوس سطح کاربری‌ها در سال ۲۰۱۸ می‌باشد.

با آشکارسازی تغییرات، مناطق تغییر یافته و مناطق بدون تغییر در طی بازه زمانی ۱۶ سال مشخص شد (شکل ۸ و جدول ۹). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در طی این دوره ۴۱٪ از اراضی منطقه به اراضی بایر اضافه شده است و بیشترین

رسیده که ۳۳٪ کاهش یافته است. با توجه به حاکم بودن اقتصاد معیشتی در منطقه سیستان و از طرفی بروز خشکسالی‌های اخیر در منطقه، رها شدن مناطق مسکونی به دلیل مهاجرت روستایان از این مناطق عامل کاهش وسعت این کاربری در طی دوره مورد مطالعه بوده است؛ به طوری که بررسی جمعیت مناطق روستایی در طی این بازه زمانی، کاهش جمعیت در بخش پشت آب شهرستان نیروز، بخش مرکزی زابل و بخش مرکزی شهرستان هیرمند را نشان می‌دهد (شکل ۹).

بموقع محصولات کشاورزی را نداشته باشند. از این رو آبیاری اراضی در خارج از فصول کشت صورت می‌گیرد که این فرایند به رویش گیاهان خودرو در این اراضی که عمدتاً مرتعی هستند، منجر شده و همین امر باعث شده تا ۱۲۳۱ هکتار از این اراضی به کاربری مرتع تبدیل گردد (قابل ذکر است گیاهان خودرو در این اراضی از ارزش رجحانی بالایی برخوردار بوده و به عنوان منبع تأمین کننده علوفه دامداران مورد استفاده قرار می‌گیرد). مساحت مناطق مسکونی در طی این دوره نیز روند کاهشی را نشان می‌دهد؛ به طوری که وسعت مناطق مسکونی از ۱۰۲۱/۵۴ هکتار در سال ۱۳۸۲ به ۶۸۰/۱ هکتار در سال ۱۳۹۷



شکل (۷): نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه: سال ۱۳۸۲، سال ۱۳۹۷

Figure (7): Land use map of the study area: date 2002, date 2018

جدول (۷): مساحت کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه سال به تفکیک شهر و بخش‌ها در سال (۱۳۸۲)

Table (7): area of Land use by data 2002 in study area

کاربری اراضی		شهرستان						
کشاورزی	راضی بایر	کشاورزی سیلابی	تپه‌های شنی	مخلوط تالاب و جنگل	مراتع ضعیف	مسکونی	پهنه آبی	
۱۳۵	۴/۱۶۶	۳۴۰/۹	-	۲۱۴۰	۱۵۴۰	۳۴	۵۸۰۰	
۹۳	۳۸۴۴	۲۳۰۰	-	-	۲۱۸	۵۴/۳	۲۴۱/۲	
۳۳۷/۸	۲۸۶۲	۵۴۳۷/۵	۴۰۰/۹	-	۱۱/۸	۱۰۷/۲	۳۴۱/۱	
۴۸۴/۱	۱۱۳۰	۲۷۹۴/۴	۳۰۱	-	۲۱۸	۱۰۷	۲۲۳	
۳۳	۱۶۹۹۴/۹	۶۴۳۲/۷	-	۱۸۳۸/۵	-	۱۰۳	۲۸۵۰	
۸۷	۱۹۷۴۳/۹	۷۶۳۱/۴	-	۵۷۰۰/۸	۲۱۸	۱۶۷	۴۵۳۱	
۱۱۰/۶	۲۰۱۳	۸۳۱۰/۱	۹۳	-	۸۱۱	۱۲۹/۵	۶۵۳	
۳۲۸/۷	۳۰۵۰	۸۷۴۰/۱	۷۸	-	۵۰۳	۲۱۰/۳	۳۴۱	
۱۷۵/۸	۳۷۶۰	۷۱۲۰	۳۱۱	-	۶۵۰	۱۶۰	۲۰۴	

مأخذ: استخراج شده از تصاویر ماهواره لندست ۷ سال ۲۰۰۲

جدول (۸): مساحت کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه به تفکیک شهر و بخش‌ها در سال (۱۳۹۷)

Table (8): area of Land use by data 2018 in study area

منطقه	کاربری اراضی	کشاورزی	اراضی بایر	کشاورزی سیلابی	تپه‌های شنی	مناطق تثبیت‌شده	مراعات ضعیف	مسکونی	پهنه آبی
نیمروز	بخش پشت آب	دهستان بزی	۳۶	۱۲۷۶۴/۴	۸۶۰/۷۸	۲۲۴/۶۷	۵۳۲	۱۸	-
زابل	بخش مرکزی	بنجار	۶۴	۵۹۰۴	۷۵۳	۲۸۵/۶۶	۴۰۱	۴۷	-
زهک	بخش مرکزی	زهک	۵۱۰/۱	۴۴۶۲	۳۱۳۷/۵	۱۱۳۸/۹	۵۲/۵	۷۲/۳	۴/۱
		خواجه احمد	۷۶۷/۲	۲۴۷۰	۹۵۶	۶۹۱/۱۸	-	۱۶	۱۳
	بخش قرقری	اکبرآباد	۱۷۳	۲۳۹۳۲/۹	۱۵۰۰	۵۳۴/۷۳	-	۴۶	-
		قرقری	۱۴۳/۶۱	۲۹۴۴۳/۹	۲۸۴۰	۶۹۴/۸	-	۱۱۰	-
هیرمند	بخش مرکزی	مارگان	۵۰۲/۵۱	۶۵۳۶	۳۴۹۰	۲۱۳/۴۷	۷۶۲/۷۶	۸۰/۵	-
		دوست محمد	۷۴۸/۹	۶۳۱۰/۵۴	۳۷۸۰/۶	۲۱۳/۹	۶۵۲/۵۰	۱۷۸/۳	۲۳
		جهان‌آباد	۶۸۴	۸۲۶۰	۳۰۵۰	۷۷۱/۳	۷۴۲/۲	۱۳۰	۸

مأخذ: استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سال ۲۰۱۸



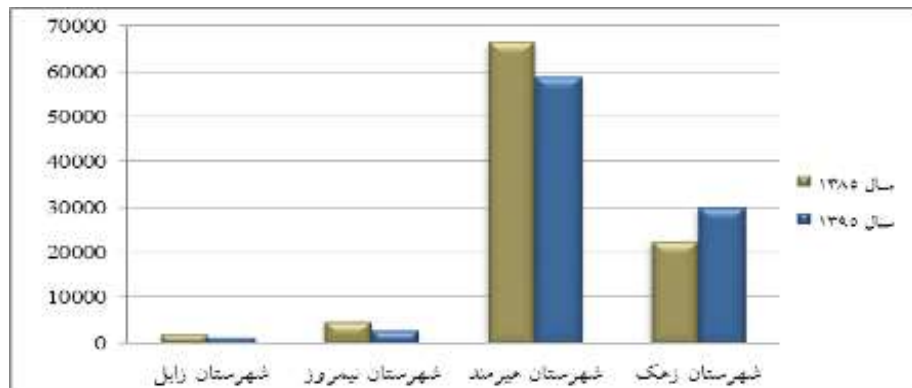
شکل (۸): نقشه تغییرات کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۶ سال

Figure (8): map of Land use change over 16-years period

جدول (۹): میزان تبدیل کاربری اراضی از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ بر مبنای ماتریس انتقال (بر حسب هکتار)

Table (9): the changes of land use over 16-years period based on transfer matrix

سال ۲۰۰۲		سال ۲۰۱۸							
کشاورزی	اراضی بایر	تالاب به‌همراه پوشش درختچه‌ای	کشاورزی سیلابی	تپه‌های شنی	پهنه‌های آبی	مراعات ضعیف	مناطق مسکونی	جمع	
۱۷۸۵	-	-	۸۳۰/۳۲	-	-	۱۰۱۴	-	۳۶۲۹/۳۲	کشاورزی
۴۲۲۶۷/۹	-	۷۲۶۹/۳	۳۰۰۷۳/۲۲	-	۱۲۵۸۱	۴۴۹۵/۸	۳۴۱/۴۴	۹۷۰۲۷/۵۵	اراضی بایر
-	-	-	۲۰۳۶۷/۸۸	-	-	-	-	۲۰۳۶۷/۸۸	کشاورزی سیلابی
-	۱۰۳۱	۵۱۰	-	۱۹۱۸/۴	-	-	-	۳۴۳۰/۶۱	تپه‌های شنی
-	-	-	-	-	۲/۱	-	-	۲/۱	پهنه‌های آبی
-	-	۱۴۰۰	۹۳۱	-	-	۵۵۰۹/۸	-	۷۷۸۸/۴۶	مراعات ضعیف
-	-	-	-	-	-	-	۶۸۰/۱	۶۸۰/۱	مناطق مسکونی
-	-	-	-	۳/۵	-	-	-	۳/۵	مناطق تثبیت‌شده
۱۷۸۵	۴۲۲۶۷/۹	۹۶۷۹/۳	۵۲۱۷۵/۱	۱۹۲۱/۹	۱۲۶۰۱	۱۱۰۱۹/۶	۱۰۲۱/۵۴	۱۳۲۴۵۰/۲	جمع



شکل (۹): نمودار جمعیت در دو بازه زمانی (مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، ۱۳۹۶)

Figure (9): Graph of population in 2006 and 2016

۳. اثر خشکسالی هیدرولوژیک و بهره‌برداری سستی (جریان‌های سیلابی) بر روند تخریب زمین و بیابانزایی

اثر بهره‌برداری سستی (توزیع و انتقال) از منابع آب بر روند تخریب زمین و بیابانزایی

نتایج حاصل از تلفیق تغییرات کاربری اراضی و الویت دسترسی بخش‌ها به منابع آب سطحی در شکل (۱۰) ارائه شده است. با توجه به نتایج بخش قبل، بیشترین درصد تغییرات کاربری اراضی مربوط به خشک شدن پهنه‌های آبی، مرتع و کشاورزی سیلابی بوده که باعث افزایش سطح اراضی بایر و تپه‌های شنی در منطقه شده و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از شکل (۱۰) از لحاظ فضایی منطبق با مناطقی است که در دسترسی به جریان‌های سیلابی دارای محدودیت هستند؛ به‌طوری که نحوه توزیع و انتقال جریان‌های سیلابی در این مناطق به‌طور میانگین تخریب به‌ترتیب ۶۲، ۴۳ و ۶۱ درصدی پهنه‌های آبی، مرتع و سطح زیر کشت اراضی کشاورزی سیلابی به‌دلیل تأمین نشدن نیاز آبی این اراضی را در پی داشته است که به تبع آن سطح اراضی بایر و تپه‌های شنی نیز به‌ترتیب ۶۸ و ۳۴ درصد افزایش یافته است. بر اساس مطالعات میدانی صورت‌گرفته اراضی بایر و تپه‌های شنی، کانون‌های بحرانی منطقه سیستان را تشکیل می‌دهند؛ به‌طوری که از بین رفتن پوشش گیاهی و تخریب لایه‌های خاک باعث گسترش وسعت اراضی فرسایش‌یافته (ایجاد بادکندهایی با میانگین ۶۵ سانتی‌متر عمق و مساحت ۰/۶۷ مترمربع) و تپه‌های ماسه‌ای (حجم انباشت به‌طور متوسط ۳/۲ مترمکعب ماسه) در سطح این مناطق شده است (شکل ۱۱).

۳. اثر خشکسالی هیدرولوژیک و بهره‌برداری سستی (جریان‌های سیلابی) بر روند تخریب زمین و بیابانزایی

اثر خشکسالی هیدرولوژیک بر روند تخریب زمین و بیابانزایی

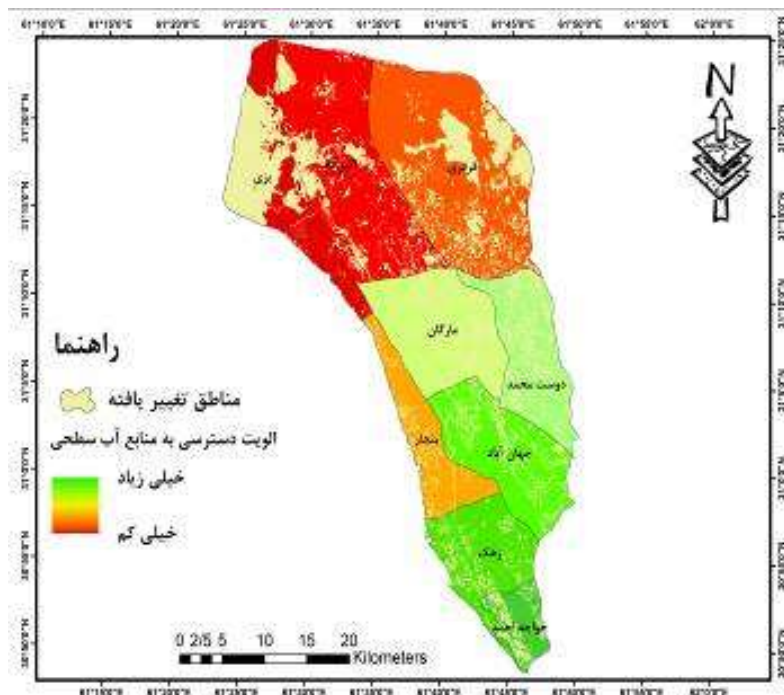
نتایج حاصل از مقایسه کاربری اراضی در سال‌های وقوع و عدم وقوع خشکسالی هیدرولوژیک در جدول (۱۰) ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده میانگین مساحت کاربری‌های مورد مطالعه در دو بازه زمانی ۱۳۸۲ (عدم وقوع خشکسالی) و ۱۳۹۷ (وقوع خشکسالی) در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهد ($P < 0.05$). با توجه به نتایج بخش قبل یافته‌ها بیانگر آن است که بیشترین درصد کاهش سطح اراضی به‌ترتیب مربوط به کاربری‌های تالاب-جنگل (۱۰۰٪)، پهنه‌های آبی (۹۹٪)، مرتع (۶۷٪) و اراضی با کاربری کشاورزی سیلابی (۵۸٪) است. میانگین دبی و آورد رودخانه میمند در زمان عدم وقوع خشکسالی به‌ترتیب برابر با ۶۷/۱ مترمکعب و ۱۲۳۱/۲ میلیون مترمکعب برآورد شده که با وقوع خشکسالی در سال ۱۳۹۷ این مقادیر به‌ترتیب به ۱۰/۱۳ و ۵۸/۲ کاهش یافته است. بر این اساس بیشترین کاهش سطح اراضی مربوط به کاربری‌های وابسته به آب می‌باشد که با وقوع خشکسالی و کاهش جریان‌های سیلابی تخریب شده است.

جدول (۱۰): مقایسه آماری تغییرات سطح کاربری‌های اراضی در طول دوره مورد مطالعه

Table (10): statistical analysis of land use changes over 16-years period

متغیر	میانگین	انحراف معیار	آزمون t sig
وسعت اراضی بایر ۱۳۸۲ ⁿ	۶۳۹۵/۸	۶۸۸۸/۱	*./۰۰۲
وسعت اراضی بایر ۱۳۹۷ ^o	۱۰۶۴۲/۶	۹۱۲۹/۶	
وسعت زیر کشت ۱۳۸۲	۵۷۹۵/۹	۲۴۳۷/۸	**./۰۰۱
وسعت زیر کشت ۱۳۹۷	۲۲۴۶/۹	۱۲۴۸/۱۱	
وسعت پهنه آبی ۱۳۸۲	۱۵۱۸۴/۱	۲۱۶۴/۵۷	**./۰۰۸
وسعت پهنه آبی ۱۳۹۷	۵/۳	۵/۶۷	
وسعت اراضی مرتعی ۱۳۸۲	۴۶۳۱/۳۱	۴۸۹/۳۳	**./۰۰۱
وسعت اراضی مرتعی ۱۳۹۷	۳۹۱/۰۷	۳۱۸/۱	
وسعت مناطق مسکونی ۱۳۸۲	۱۱۹/۱۴	۵۵/۲۰	*./۰۰۱
وسعت مناطق مسکونی ۱۳۹۷	۷۷/۵۱	۵۳/۹۱	
وسعت تپه‌های شنی ۱۳۸۲	۱۳۱/۵۴	۱۶۰/۸۷	*./۰۰۱
وسعت تپه‌های شنی ۱۳۹۷	۵۴۴/۰۳	۳۱۰/۰۴	
مخلوط تالاب - جنگل ۱۳۸۲	۹۶۷۸/۲	۱۶۰/۸۷	**./۰۰۱
مخلوط تالاب - جنگل ۱۳۹۷	۰	۳۱۰/۰۴	

*: اختلاف معنی دار در سطح ۰/۵، **: عدم اختلاف معنی دار، n: عدم وقوع خشکسالی، o: وقوع خشکسالی



شکل (۱۰): نقشه همپوشانی تغییرات کاربری اراضی و الویت دسترسی مناطق به منابع آب سطحی

Figure (10): the overlap map of land use changes and access priority to water resource



الف: بادکندهای منطقه قرقری (حدافل و احداکتر عمق بادکندها ۳۰ تا ۱۲۰ سانتی متر). ب: تپه‌های ماسه‌ای منطقه اکبرآباد. ج: هجوم شن‌های روان به مناطق روستایی و دفن شدن منازل مسکونی دهستان بزی

شکل (۱۱): کانون‌های بحرانی منطقه سیستان (شهرستان‌های هیرمند (بخش‌های قرقری) و نیمروز (بخش پشت‌آب))

Figure (11): the destroyed lands in study area

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای اولین بار در منطقه سیستان با بررسی وضعیت خشکسالی هیدرولوژیکی و نحوه بهره‌برداری از جریان‌های سیلاب‌های ورودی از رودخانه هیرمند (بازه رودخانه نیاتک)، ضمن تعیین تغییرات کاربری اراضی (بازه زمانی ۱۶ سال) اثرات زیست‌محیطی خشکسالی و نظام بهره‌برداری از منابع آبی در منطقه تبیین شد.

وقوع خشکسالی، به‌طور عمده به‌صورت کمبود آب در یک یا چند مؤلفه چرخه هیدرولوژیکی نظیر بارندگی و دبی جریان رودخانه نمایان می‌گردد (وان‌لون و لاه، ۲۰۱۵). با بررسی شاخص جریان رودخانه (SDI) در رودخانه هیرمند که تنها منبع تأمین‌کننده نیاز آبی در منطقه سیستان می‌باشد، یافته‌ها بیانگر وقوع ۱۸ سال خشکسالی در طول دوره مورد مطالعه می‌باشد که طی سال‌های اخیر شدت آن نیز افزایش یافته است؛ به‌طوری که با بروز خشکسالی هیدرولوژیکی در منطقه، آورد رودخانه هیرمند نسبت به سال‌های عدم وقوع خشکسالی ۸۹٪ کاهش یافته است. نتایج مقایسه مساحت کلاس‌های کاربری در طی سال‌های عدم وقوع (۱۳۸۲) و وقوع (۱۳۹۷) خشکسالی نشان داد که تغییرات زیاد در وسعت این کاربری‌ها صورت گرفته که در سطح ۵٪ تفاوت

معنی‌داری بین آن‌ها وجود دارد. از آنجا که کاربری اراضی بیشتر متأثر از عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی و سپس توپوگرافی و عوامل زمین‌ساخت است (موساعدی و خلیلی‌زاده، ۲۰۰۸)، لذا بروز خشکسالی به‌عنوان یک مخاطره هیدرولوژیکی، نقش بارزی در تغییر کاربری اراضی ایفا می‌کند؛ به‌طوری که در طول بازه زمانی مورد مطالعه، کاهش شدید مساحت کاربری‌های اراضی وابسته به آب در سال ۲۰۱۸ و همزمان با وقوع خشکسالی شدید در منطقه سیستان است. با توجه به وقوع خشکسالی‌های طولانی‌مدت در منطقه سیستان و از بین رفتن اکوسیستم‌های وابسته به آب، بیشترین مساحت به کاربری بایر اختصاص دارد، که این فرایند نشان‌دهنده زوال منابع طبیعی و از بین رفتن کاربری‌های پهنه آبی، جنگل-تالاب و مرتع و گسترش مناطق بیابانی در منطقه سیستان است. این نتایج با مطالعات عیسویی و رضایی (۲۰۱۴) در بررسی اثر خشکسالی بر تغییرات کاربری اراضی تالاب سولدوز در آذربایجان غربی مبنی بر افزایش سطح اراضی بایر و گسترش بیابان‌زایی و تخریب زمین همخوانی دارد.

در بررسی نحوه بهره‌برداری از جریان‌های سیلابی، یافته‌ها نشان داد که توزیع جریان‌های سیلابی با توجه به نظام آبیاری سنتی توأم با بهره‌برداری غیر اصولی از آن،

در سطح منطقه سیستان می‌گردد (جهان‌تیغ، ۲۰۰۷). با توجه به یافته‌های این تحقیق می‌توان این گونه بیان نمود که خشکسالی تنها عامل تعیین‌کننده تغییرات کاربری اراضی در منطقه سیستان نبوده و عوامل دیگر نیز در این فرایند دخیل است. با توجه به نظام آبیاری و بهره‌برداری سنتی از منابع آب، بیشترین تغییرات کاربری اراضی مربوط به مناطقی است که در دسترسی به منابع آب همواره با محدودیت همراه‌اند؛ به طوری که به‌رغم اینکه در دوره‌های خشکسالی، آبرسانی به این مناطق از مخازن ذخیره آب (چاه‌نیمه‌ها) در منطقه صورت می‌گیرد، ولی کماکان بیشترین اراضی تخریب‌شده در منطقه سیستان مربوط به این بخش‌ها است که عمدتاً کانون‌های بحرانی منطقه سیستان را نیز تشکیل می‌دهند.

مدیریت اصولی در توزیع و انتقال منابع آبی، بهبود وضعیت زیست‌محیطی با تأمین نیاز آبی اکوسیستم‌های وابسته به آب را به دنبال دارد (ملگارگو مورنو و همکاران، ۲۰۱۹). اما این در حالی است که در نظر نگرفتن اصول هیدرولوژیکی و نیاز آبی اکوسیستم‌های وابسته به آب در نظام بهره‌برداری سنتی حاکم در منطقه سیستان، گسترش مناطق بیابانی و متلاشی شدن محیط زیست آن را به دنبال داشته که مطابق با نظر پژوهشگرانی همچون گرونیگر و همکاران (۲۰۱۵) و پلاین و همکاران (۲۰۱۸) این امر از جمله مشکلات نظام آبیاری و توزیع آن در کشورهای در حال توسعه است.

بر این اساس با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، خشکسالی هیدرولوژیک و نظام بهره‌برداری نامناسب در منطقه سیستان، تغییرات محسوس کاربری اراضی را با تخریب اکوسیستم‌های وابسته به آب در پی داشته که این امر اثرات سوئی بر شرایط زیست‌محیطی منطقه به همراه داشته است. از این‌رو با توجه به تسریع سیر فقرایی در منطقه سیستان، یکی از رویکردهای اصلی برای مقابله با خشکسالی، مدیریت صحیح و بهره‌برداری اصولی از منابع آب می‌باشد که اتخاذ یک رویکرد منسجم برای مدیریت اجزای مختلف اکوسیستم و نیازمند استفاده از فناوری‌های نوین در بهره‌برداری از منابع آب است.

کاهش دسترسی به این منابع آبی را به همراه داشته است. نظام آبیاری و نحوه انتقال منابع آب از مهم‌ترین عوامل در دسترسی به منابع آبی به شمار می‌رود (کیاو و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به نظام آبیاری حاکم در منطقه سیستان، فاصله از منبع تأمین‌کننده آب و میزان آب‌دهی آن (بیشترین امتیاز به ترتیب برابر با ۰/۴۷۹ و ۰/۲۶۸) نقش بسزایی در دسترسی مناطق به جریان‌های سیلابی با توجه به فصلی بودن و تداوم نامشخص آن‌ها دارد؛ به طوری که مناطقی که فاصله مکانی بیشتری نسبت به منبع تأمین‌کننده آب دارند، دسترسی کمتری به منابع آبی دارند. از طرفی، مشکلات فنی شبکه انتقال آب به اراضی، اعم از عدم توزیع یکنواختی شیب طولی و سطح مقطع در نهرهای سنتی باعث شده تا یکنواختی توزیع جریان‌ات سیلابی به‌درستی صورت نگیرد.

نتایج حاصل از همپوشانی نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی و الویت دسترسی بخش‌ها به منابع آب سطحی گویای این مهم بود که بیشترین درصد تغییرات کاربری اراضی از لحاظ فضایی منطبق با مناطقی است که در دسترسی به جریان‌ات سیلابی دارای محدودیت هستند. به بیان دیگر، تأمین نشدن نیاز آبی این عرصه‌ها تغییرات چشمگیر کاربری اراضی را به دنبال داشته است که در مطالعات صورت‌گرفته همچون اکبری و همکاران (۲۰۱۰) و هاشمی‌نسب و جعفری (۲۰۱۸) به واقعیت این امر در افزایش تخریب اراضی کشاورزی، مرتعی و بایر شدن اراضی در شمال و شرق استان اصفهان اذعان شده است. تغییرات کاربری اراضی همواره چرخه طبیعی اکوسیستم‌های زمینی و محیط زیست را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (مکونن و هوکسترا، ۲۰۱۶)؛ به طوری که تخریب اکوسیستم‌های وابسته به آب و بیابانی شدن آن‌ها، باعث برهم خوردن تعادل زیست‌محیطی شده که مصداق این امر در منطقه مورد مطالعه، علاوه بر بیابانی شدن اراضی، گسترش مناطق بحرانی نیز می‌باشد؛ به طوری که نبود پوشش گیاهی مناسب و کم بودن رطوبت خاک در این اراضی باعث ایجاد فرسایش بادی تحت‌تأثیر وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان شده که علاوه بر تخریب این اراضی، باعث ایجاد طوفان‌های شنی و پدیده ریزگردها

منابع

1. Akbari, M., Suleimani, K., Habibnejad-Roshan, M. and Raisi, M., 2009. Application of Remote Sensing and GIS in Land Use Changes. Proceedings of the National Congress of Geomatics, Tehran. (In Persian)
2. Askaripoor, T., Kazemi, E., Aghaei, H. and Marzban, M., 2015. Evaluating and Comparison of Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process in Ranking and Quantitative Safety Risk Analysis (Case Study: A combined cycle power plant). Journal of Safety Promotion and Injury Prevention, 3(3): 174-169. (In Persian)
3. Amir-Entekhabi, S., Javan, F. and Hassani-Moghaddam, H., 2017. Detection of land use changes and its influencing factors using Artificial Neural Network (Case study: Talesh County). Journal of Geographic Information System Usage and Remote Sensing in Planning, 8 (3): 1-11. (In Persian)
4. Azkia, M. and Rustam-Alizadeh, V., 2014. Social Aspects of Irrigation System in Iran. Journal of Anthropology, 12: 11-33. (In Persian)
5. Bahrololoom, M., Mollaeinia, M.R. and Aminizadeh Bazanjani, M.R., 2017. Location detection of underground dams, by using a combination of GIS and AHP (Case study: The edge of the Loot Desert, Kerman). Journal of irrigation and water, 30: 116-128. (In Persian)
6. Cimren, E., Catay, E. and Budak, E., 2007. Development of a machine tool selection system using AHP. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 35(3-4): 363-76.
7. Chen-Feng, Y., Jinge, W., Hsin-Fu, Y. and Cheng-Haw, L., 2015. Sdi and markov chains for regional drought characteristics. Journal of Sustainability. 7.8:10789-10808.
8. Esavi, V. and Rezai, E., 2014. analysis the impact of drought on land use and land cover changes in soldoz lake, Journal of wetland.6(19): 91-101.
9. Falahi, E., Khaliliyan, S. and Ahmadi., M., 2015. Extraction of Demand Functions and Determination of Economic Value of Water in Production of Major Crops of Sidan-Farouk Plain of Marvdasht. Journal of agriculture's economic and develop, 32(1): 1-28. (In Persian)
10. Fan, F., Wang, Q. and Wang, Y., 2007. Land use and land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on Landsat TM/ETM+ imagery. Sensors, 7: 1323-1342.
11. Farajzadeh-Asl, M. and Beygom-Hosseini, I., 2007. Neyshabur plain water crisis analysis. Journal of Special Geography Letter, 1: 215-238. (In Persian)
12. Forouzani, M., Karami, E. and Zamani, G.H., 2012. Agricultural Water Poverty: The Impact of Knowledge and Technology. Ph.D Thesis, Faculty of Agriculture, Shiraz University. (In Persian)
13. Hashemi- Nasab, S.N. and Jafari, R., (2018). assessment the Land Use Changes to Monitor Desertification. Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 5(3): 59-74. (In Persian)
14. Heidarizadi, Z. and Mohamadi, A.B., 2016. Predicting the Land Use Change Using Markov- Cellular automata Model in Mehran Plain. Journal of desert ecosystem engineering, 10: 57-78. (In Persian)
15. Hashemi Dareh Badami, S., Nouraeisefat, L., Karimi, S. and Nazari, S., 2015. Development trend analysis of urban heat island regarding land use/cover changes using time series of landSat images. RS & GIS Techniques in Natural Resources 16(1): 15- 28. (In Persian)
16. Hasanpoor, A., Yamani, M., Mostafaei, M. and Shadman Roodposhti, M., 2013. Mapping Landslide Hazard Zonation in Great Karoon Aquifer Basin by Analytical Hierarchy Process (AHP) model in Geographic Information System (GIS) Environment. Journal of Geography and Environmental Planning, 48(4): 39-61. (In Persian)
17. Jahantigh, M., 2007. Impact of wind erosion on the environment of north of Sistan(case study: south of hammon lake). 11th National Conference on Environmental Health, Zahedan University of Medical Sciences. (In Persian)
18. 22. Jahantigh, M. and Jahantigh, M., 2019. The effect of 120 days winds on flood deposits in Sistan region by sediment characteristics analyze. Quarterly journal of Environmental Erosion Research, 33(9): 85-104.
19. Groninger, John, W.C., Ruffner, M. and Christenson, L., 2015. Water resources development considerations for civilian and military institutions working in highly insecure areas: lessons from Afghanistan,

- International Journal of Water Resources Development, 31(4): 486–498.
20. Ghafari, S., Moradi, H.R. and Modares, R., 2018. Comparison of object-oriented and pixel-based classification methods for land use mapping (Case study: Isfahan-Borkhar, Najafabad and Chadegan plains). *Journal of RS & GIS for Natural Resources*, 9(1): 40-57. (In Persian)
 21. Kharazmi, R., Abdollahi, A.A., RahDaRi, M.R. and Karkan-Vernosafadrani, M., 2016. Monitoring Land Use Changes and their Impact on Land Degradation and Desertification Using Landsat Satellite Images (case study: hamon lake). *Journal of Geographical studies of arid regions*, 7(25): 64-75. (In Persian)
 22. Kiani, Y., Faghihi, J., Nazari-Samani, A.A. and Alizadeh-Shaabani, A., 2013. Detectaion land use change and vegetation in taleghan area using Remotsensing. *Journal of Geographic research*, 87(22): 21-31. (In Persian)
 23. Lolachi, M., 2005. Application of TOPSIS algorithm to select top depot repair centers. *Proceedings of the 3rd National Conference on Maintenance*; Sep 11-12; Tehran, Iran (In Persian).
 24. Mahtabi Ughani, M., Najafi, A. and Yunesi, H., 2013. Comparison of TOPSIS and AHP ability in site selection Municipal Solid Wastes Disposal Case study: Karaj landfill site selection. *Journal of Iran. Health & Environ*, 6(3): 341-352. (In Persian)
 25. Mehmet, O., Veysel, G., Oguz, S. and Mehmet, S., 2019. Drought Analysis of Bitlis River Baykan Station with Streamflow Drought Index (SDI) Method. *Engineering and Science*, 22: 1100-1106.
 26. Melgarejo Moreno, J., López, I., Patricia, O. and Aracil, F., 2019. Water distribution management in South-East Spain: A guaranteed system in a context of scarce resources. *Science of the Total Environment*, 648:1384-1393.
 27. Moradi, A.R., Jafari, M., Arzani, H. and Ebrahimi, M., 2016. Assessment of land use changes into dry land using satellite images and Geographical information system. *Journal of RS & GIS Techniques for Natural Resources*, 7(1): 89-100. (In Persian)
 28. Motiei-langroodi, S.H., Velayati, S.A. and Akbaraqoli, F., 2008. Survey Water Resources condition in Kalat area with emphasis on rural water supply problems. *Journal of Geographical Research*, 63: 1-14. (In Persian)
 29. Mousavi, M., Sarli, R. and Khodadad, M., 2018. Detection of land use changes and vegataion in Poldoktar city using landsat images. *Journal of Hafthesar Environment researchs*, 7(21): 103-115. (In Persian)
 30. Mosaedi, A., Khalili Zade, M. and Mohamadi, A., 2008. Drought monitoring in Golestan Province. *Journal of Agriculture Science and Natural Resources* 15(2): 176-183. (In Persian)
 31. Nabi-Afjadi, S., Shaaban-Alimi, H. and Rezvanfar, A., 2015. Investigation of Knowledge of Agricultural Water Management Technologies in Falavarjan County. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2(3): 242-252. (In Persian)
 32. Najafi, H.A., Sargazi, A. and Sabouhi, M., 2013. Traditional water resources management in Sistan area. *National Conference on Non-Agent Defense in Agriculture*, Zahedan university. (In Persian)
 33. Nalbantis, I., 2008. Evaluation of a hydrological drought index. *Journal of European Water*, 23(24): 67–77.
 34. Nohegar, A., Gashgai-Zadeh, N., Heydarizadeh, M., Eidon, M.R., and Panahi, M., 2016. evaluation of drought and its impact on supply and ground water resource, (case study: Minab watershed). *Journal of research of earth*, 7(27): 28-43. (In Persian)
 35. Pandian, M., Rajagopal, N., Sakthivel, G. and Amrutha, D.E., 2014. Land use and land cover change detection using remote sensing and GIS in parts of Coimbatore and Tiruppur districts, Tamil Nadu, India. *International Journal of Remote Sensing & Geoscience*, 3(1): 15-20.
 36. Playan, E., Antonio, J. and Castillo, R., 2018. *Irrigation Governance in Developing Countries: Current Problems and Solutions*, *Journal of water*, 10: 112-124
 37. Pandey, R.P., Mishra, S.K. and Singh-Ramasastri, K.S., 2008, Streamflow drought severity analysis of Betwa River System (India). *Journal of Water Resour Manage*, 22: 1127–1141.
 38. Qiao, G., Zhao, L. and Klein, K., 2008. Water user ciationsasso in Inner Mongolia: Factors that influence farmers to join. *Agric. Water Manage*.
 39. Rahi, G.M., Kavian, A., Soleimani, K., Nazari Samani, A.A. and A.H. Pourghasemi, 2017. Land use Changes Modelling using Satellite Data and Markov Chain (case study:

- Samal Watershed in Bushehr province). Journal of desert ecosystem engineering, 17: 15-16. (In Persian)
40. Rangavar, A.S., Gezanchian, G.A., Angoshtari, H. and Ghafourian, R., 2009. Study of flood water spreading on soil physical and chemical properties in Jajarm project, North Khorasan Province. Journal of Watershed Engineering and Management, 4: 259-265. (In Persian)
41. Soleimani, L. and Hagizadeh, A., 2014. Evaluation of effect of recently droughts on decrease of lakes discharge volume, (case study: Koram-Abad lake). Journal of International Bulletin of Water Resources and Development, (3): 99-108. (In Persian)
42. Saaty, T.L. and Vargas, G.L., 2001. Models, Methods, Concepts, and Applications of the Analytic Hierarchy Process, Kluwer Academic Publisher, Boston.
43. Tamamrtash, R., Tatian, M.R., Yousefian, M. and Nabavi, S.J., 2016. Investigation of the Fire Effect on Some Edaphic Factors in Plain Ecosystem (Case Study: Winter Rangelands of Behshahr). Journal of natural Environment science, 69(1): 21-33. (In Persian)
44. Tabesh, M.E., Ali-Bariany, S., Motevallian, S., Roozbahani, A. and Beygi, S., 2017. Prioritization of water Consumption Management Strategies in water Distribution Networks Using Multiple Criteria Decision Making Method of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Case Study: Tehran). Journal of Amirkabi Civil Engineering, 49(1): 47-55. (In Persian)
45. UNEP., 2012. Global environmental outlook 5: Summary for policy makers. United Nations Environment Program, Nairobi.
46. Van Loon, A.F. and Laaha, G., 2015. Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. Journal of Hydrology, 526: 3 -14.
47. Vali, A. and Mehrabi, M., 2019. Frequency analysis of hydrological drought in Dardozon dam based on stream flows index. Journal of Hydrogeomorphology, 5(19): 125-143. (In Persian)
48. Zahedi, M.J., 2008. A Look at the Sociological Foundations of Traditional Irrigation Systems in Iran. Journal of Course of light humanities, 5(1): 3-18. (In Persian)

Investigating the Effect of Hydrological Drought and Traditional Utilization (Distribution and Transmission) of Water Resources (Flood Streams) on Land Degradation and Desertification in Drylands: A Case Study of Sistan Plain

Moien Jahantigh¹, Ali Najafinejad^{2*}, Mansour Jahantigh³, Mohsen Hosseinalizadeh⁴

Received: 22/08/2019

Accepted: 17/04/2020

Extended abstract

Introduction: Water is crucial for survival and development. Long-term access to water resources provides the ground for scientific and technological developments. Geographically, Iran is located in an arid part of the world. Water scarcity and mismanagement could create a water crisis in the world, and that droughts may exacerbate different environmental and socio-economic aspects of life. As revealed in a report issued by the United Nations' Environment Programme, 80 percent of the world's population currently live in places with no water security, and that 1.5 billion people throughout the world are facing anhydrous risk.

As Iran has, in recent years, been affected by drought, access to water for agricultural, industrial, and drinking purposes is now of great concern for inhabitants of the country's drylands. According to the reports issued by the World Bank, mismanagement and inefficiency of irrigation systems are the main reasons for water insecurity in the world. In recent years, mismanagement of available water resources in the arid region has followed by the destruction of natural ecosystems that are dependent on water resources. As a result, changes in land use over a long period and the expansion of desert areas have led to environmental degradation. Sistan is located in an arid region in Iran where difficulty to access surface water resources due to drought in recent years has brought about environmental degradation in the region. Low precipitation (50mm), high temperature (48°C), high transpiration (5000mm), and 120-day winds are among the specific climatic conditions that characterize the region. Sistan is also hit by floods for a limited period when the Hirmand river flows as a result of torrential rainfall in Afghanistan, providing the required water for its 120,000 ha agricultural land.

Materials and methods: This study sought to investigate the environmental impacts of hydrological drought and traditional utilization of flood streams on Land Degradation and Desertification in Sistan. Located at the southeastern border of Iran and Afghanistan, Sistan forms part of the Dasht-e-Lut desert land, possessing an extreme arid climatic regime. The region is a roughly flat and featureless arid plain with an average height of 475–500m ASL in its eastern parts. To realize the purpose of the research, the hydrological drought status of the Hirmand river was investigated. Using the Streamflow Drought Index (SDI), the hydrological drought was then calculated for 22 years. The distribution and utilization of flood streams in the Sistan area were examined via

1. PhD candidate in Watershed Management, Watershed Management Department, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Gorgan

2. Associate professor, Department of Watershed Management, Faculty of Rangeland- Watershed, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; Corresponding Author, najafinejad@gau.ac.ir

3. Associate professor, Department Soil Conservation and Water Management, Sistan Agriculture and edition Natural Resources Research Center, AREEO, Zabol, Iran

4. Assistant Professor, Department of Aid Zone Management, Faculty of Rangeland- Watershed, University of Agricultural and Natural Resources of Gorgan

DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.21

Infield operation. On the other hand, the Irrigation system of the area was examined through library studies and the factors affecting the circulation of surface water resources were identified. Weighting these variables via Analytic Hierarchy Process (AHP) and integration of data layers, access priority map of sectors to the water resource was estimated. The land-use map of the years when the hydrological drought occurred and didn't occur were extracted through the Landsat satellite images of the years 2002 and 2018. The identification of changes in the region was then carried out by assessing the accuracy of the images and their classification, using the comparison approach. Moreover, the land-use change maps were overlapped with the access priority map of sectors to the water resource to investigate the effect of the utilization method on desertification and land degradation.

Result: The findings of this study showed that the severity of drought in Sistan has increased over the past 18 years. On the other hand, the findings for the areas with years of hydrological drought indicated that barren land had increased by 41 percent, and that agricultural, residential, and water zone areas had decreased by 61, 31, and 84 percent respectively. It was also found that the distribution and transmission of incoming floods to the Sistan area lead to limited access to these surface waters in areas such as Hirmand (Gregory sector), Nimroz (post ab sector), and Zabul (Central sector) because of their seasonality and uncertain continuity. The most land-use changes were found to be the conversion of water zone, (equivalent to 12581 hectares) agricultural lands (equivalent to 3073/22 ha), and poor rangelands (equivalent to 4495/8 hectares) into barren lands where access to floodwaters is limited.

Discussion and Conclusion: This study proved the clear environmental effects of hydrological drought and traditional utilization of water resources on the Sistan region. Reduction of streamflow in the Hirmand river due to the recent occurrence of hydrological droughts and limited access to water resources because of the irrigation system and the traditional methods of utilizing water resources led to the land-use change as a result of the destruction of water-dependent ecosystems, increasing the desert areas and critical points in the Sistan area accordingly. Having said that, breaking the drought, improving environmental conditions, and using efficient production methods require new approaches for proper utilization and management of water resources in the Sistan area.

Keywords: Hydrological drought, Irrigation system, Land destruction, Land use change, Sistan.