

کاربرد مدل خدمات بوم‌سازگان عرضه آب InVEST برای پیش‌بینی فرسایش آبی در زیرحوضه بندرعباس

جاوید جهان‌داری: دانشجوی دکتری گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ایران

رخشاد حجازی*: استادیار گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ایران

سید علی جوزی: استادیار گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ایران

عباس مرادی: استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۲)



20.1001.1.22517812.1401.12.4.5.6

چکیده

سنجش کمیت و پیش‌بینی اثرات تغییر در خدمات آبی بوم‌سازگان به عنوان عاملی محدودکننده در برنامه‌ریزی‌های محیط زیست، برای تصمیم‌سازی جامع قابل توجه است. هدف مطالعه، اجرای مدل خدمات بوم‌سازگان تولید آب InVEST در حوضه آبخیز شهر بندرعباس از نظر عرضه آب و تأثیر آن بر فرسایش آبی است. بدین منظور، در بازه زمانی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ عوامل ورودی مدل، آماده‌سازی و برای اجرا به مدل مذکور معرفی شد. بر اساس نتایج، مقدار تولید آب در سال ۲۰۰۰ در این حوضه بیش از هفت میلیون متر مکعب بود که زیرحوضه سه با بیش از سه میلیون و زیرحوضه یک با بیش از یک میلیون متر مکعب، بیشترین و کمترین میزان تولید آب را داشت. در سال ۲۰۲۰، مقدار تولید آب بیش از پنج میلیون متر مکعب بود که زیرحوضه سه با حدود سه میلیون، بیشترین و زیرحوضه یک با بیش از هفتصد هزار متر مکعب، کمترین میزان تولید را داشت. نتایج بیانگر کاهش ۲۳ درصدی کل حوضه در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ بود و در دو دوره مطالعه، زیرحوضه سه بیشترین و زیرحوضه یک کمترین میزان تولید آب را به خود اختصاص داد. همچنین تغییرات مکانی این خدمات اکوسیستم، حاکی از جریان افزایشی میزان تولید آب از سمت جنوب به سمت شمال آبخیز مطالعاتی بود. با توجه به کاهش عرضه آب در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ و تأثیر بیشتر بر حساسیت ذاتی خاک، و با در نظر گرفتن عامل فرساینده باران شدید، ماهیت تهاجمی بارندگی محلی منطقه و نقش آن در شروع جدا شدن ذرات خاک و انتقال آن توسط رواناب، منطقه مطالعه در معرض فرسایش آبی شدیدتر قرار گرفت و بر مبنای الگوی مکانی تغییرات بارش، قسمت‌های شمالی آبخیز مطالعاتی فرسایش‌پذیرتر بود. همچنین تأثیرپذیری فرسایش‌های بادی از فرسایش‌های آبی، افزایش ریزگردها را در پی خواهد داشت.

واژگان کلیدی: تولید آب، حوضه آبخیز شهر بندرعباس، خدمات بوم‌سازگان، فرسایش آبی،

نرم‌افزار InVEST.

۱- مقدمه

مفهوم خدمات بوم‌سازگان در سال‌های اخیر به عنوان ابزاری برای تصمیم‌سازی جامع در مدیریت منابع طبیعی، طراحی سیاست‌های کاربری اراضی، حفاظت از تنوع زیستی و آمایش سرزمین، شناخته و پذیرفته شده‌است (Grêt-Regamey et al, 2012) که به دلیل تمرکز بر تعامل بین طبیعت و جامعه، به عنوان سنگ بنای علم توسعه پایدار تعریف می‌شود (Geneletti, 2012). این رویکرد به جای تمرکز بر چگونگی تأثیر توسعه بر اکوسیستم، بر چگونگی تأثیر اکوسیستم بر توسعه تمرکز می‌کند (Ranganathan et al, 2008). انتشار گزارش ارزیابی اکوسیستم هزاره، به مطالعاتی با هدف تعیین اهمیت اکوسیستم برای رفاه انسان منجر شد تا بتوان از تصمیم‌گیری بهتر برای استفاده پایدار از منابع زمین حمایت کرد (Geneletti, 2012). بر اساس این گزارش، خدمات اکوسیستمی منافع است که انسان‌ها از اکوسیستم‌ها دریافت می‌کنند. این نهاد، ارزیابی خدمات اکوسیستم را به چهار دسته عمده تقسیم می‌کند که شامل خدمات پشتیبان حیات، خدمات تولیدی، خدمات تنظیمی و خدمات فرهنگی است. یکی از خدمات مهم اکوسیستمی تولیدی که نقش تعیین‌کننده‌ای در حفظ اکوسیستم و کارکردهای آن دارد، خدمت تولید آب است. با کمی کردن خدمت تولید آب در یک حوضه می‌توان میزان تولید آب را در کاربری‌های مختلف سرزمین، مشخص و از این اطلاعات برای به کارگیری تصمیم‌های مدیریتی بهتر در راستای توان منطقه استفاده کرد (Reid et al, 2005). آب قابل تولید بیشتر توسط بارش، تبخیر و تعرق کنترل می‌شود و تغییر کاربری اراضی ناشی از فعالیت‌های انسان نیز به طور نامستقیم بر آن اثر می‌گذارد (Bonan, 2015).

ارائه این خدمت به خصوصیات حوضه آبخیز مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، اقلیم و دیگر پارامترهای حاکم بر ارائه خدمات بستگی دارد (De Groot et al, 2010). همچنین جریان آب پایدار به شدت به سلامت و یکپارچگی حوضه‌های آبریز — که خدمات از آن سرچشمه می‌گیرد — بستگی دارد و بایستی برای حفظ سلامت حوضه و جریان آب پایدار، مدیریت منابع آب یکپارچه اجرا شود (McDonnell, 2008). در این راستا، آگاهی از توزیع مکانی و ارزیابی کمی خدمات هیدرولوژیک آبخیزها به شناسایی فعل و انفعالات بین انسان و بوم‌سازگان، رفع بسیاری از ابهامات موجود در خصوص میزان تأثیر عوامل مؤثر و به عنوان شاخصی تعیین‌کننده، برای شناخت و کاربرد خدمات در تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با مدیریت منابع طبیعی منجر می‌شود (Yang et al, 2020). اما تعیین و کمی‌سازی خدمات ملموس و قابل اندازه‌گیری بوم‌سازگان، یکی از مراحل اولیه و کلیدی در مدیریت جامع آبخیزها است (Vigerstol and Aukema, 2011)؛ بنابراین، مدل‌سازی خدمات بوم‌سازگان استحصال آب یک حوضه آبریز می‌تواند در مدیریت پایش و پیش‌بینی اثرات سیاست‌های توسعه اقتصادی و پیامدهای تغییرات کاربری اراضی در راستای برنامه‌ریزی مناسب مؤثر باشد (Lang et al, 2017). ابزارها و مدل‌های مختلفی برای مطالعه و بررسی این خدمت گسترش یافته‌است تا به کمک آنها، تصمیم‌گیری مناسبی برای مدیریت اکوسیستم‌ها صورت گیرد. Redhead و همکاران (2016) بیان کردند که این ابزارها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند؛ ابزارهای سنتی هیدرولوژیک مانند SWAT, WIC و PRMS که بر روی محرک‌های خدمات اکوسیستم و بر فرایندهای سازنده این خدمات تمرکز و تأکید دارند و برای ارزیابی خدمات اکوسیستم نیازمند پردازش هستند. دسته دوم، ابزارهای مختص خدمات اکوسیستم از جمله InVEST و ARIES است که بر خدمات نهایی اکوسیستم تمرکز دارد و با تأکید بر تجسم مکانی این خدمات در

سطح سیمای سرزمین، به نقشه‌سازی خدمات می‌پردازد. اغلب این ابزارها با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل پیچیده و برنامه‌های (نرم‌افزارهای) کامپیوتر توسعه یافته‌است که رفتار سیستم‌های منابع آب را با اصول ریاضی شبیه‌سازی می‌کند (Lang et al, 2017)

در انتخاب نرم‌افزار مناسب برای مدل‌سازی خدمات هیدرولوژیک، اگر مقایسه خدمات چندگانه اکوسیستم اعم از خدمات هیدرولوژیک یا سایر خدمات اکوسیستم به طور همزمان قابل توجه باشد، یا به بررسی خدمات هیدرولوژیک با حداقل داده موجود علاقه‌مند باشیم، نرم‌افزارهای تخصصی خدمات اکوسیستم InVEST و ARIES مناسب‌ترین گزینه است. نرم‌افزار InVEST بر پایه GIS است و از لایه کاربری سرزمین و اطلاعات مدیریت سرزمین به همراه شرایط محیط زیستی، به عنوان داده‌های ورودی توابع تولید خدمات اکوسیستم استفاده و آن را به صورت مکانی پیش‌بینی می‌کند. ARIES نرم‌افزاری بر پایه وب است که بررسی همکنشی میان خدمات اکوسیستم را برای کاربر ممکن می‌سازد و از شبکه تحلیل بیزین به منظور آشکارسازی روابط میان داده‌های ورودی و خدمات اکوسیستم استفاده می‌کند. نرم‌افزار ARIES در سطوح مختلفی از جزئیات به کار می‌رود. در ابتدایی‌ترین سطح این نرم‌افزار، به داده‌های ورودی بسیار کمتری نسبت به نرم‌افزار InVEST نیاز است؛ بنابراین، برای تصمیم‌گیران مناطق با داده‌های پایه بسیار اندک مناسب است و می‌توان با استفاده از داده‌های پیش‌فرض ذخیره شده در مدل، از آن برای یک ارزیابی سریع با فقدان قطعیت بالا استفاده کرد. اما در بخش خروجی‌های مدل، InVEST شاخص‌های بیشتری را نسبت به ARIES ارائه می‌دهد. نرم‌افزار InVEST، ابزار فضایی مناسبی از نوع مدل‌های منبع باز است که از آن برای نقشه‌سازی و کمی‌سازی خدمات بوم‌سازگان منابع طبیعی استفاده می‌شود (Sharp et al, 2019). این نرم‌افزار از داده‌های زیست محیطی استفاده می‌کند تا چگونگی تغییرات در اکوسیستم‌ها و تأثیر آنها را بر مزایایی که به مردم می‌رسد، برآورد کند (InVEST Guide). به دلیل کارایی زیاد و سادگی، از این مدل در مطالعات زیادی استفاده شده‌است که در اینجا چند نمونه ذکر می‌شود.

در پژوهش Sallustio و Haiping (2018)، مطالعاتی در زمینه اعتبارسنجی و اثربخشی مدل InVEST در برآورد خدمات بوم‌سازگان مختلف انجام شد. Perrine و همکاران (2019) برای مدیریت آبخیزداری منطقه‌ای در برزیل، به مطالعه ارزش اطلاعات هیدرولوژیکی پرداختند. در این تحقیق، ارزش مدل‌سازی و پایش هیدرولوژیکی با توجه به دو بعد بررسی شد؛ نخست، اعتبار علمی و استفاده از دانش تولید شده در طراحی، سپس اجرا و ارزیابی برنامه‌های مدیریت آبخیز. روش کار، استفاده ترکیبی از شیوه‌هایی است برای بررسی اینکه چگونه در دسترس بودن داده‌ها و مدل‌های بهبودیافته، اعتبار ایجاد می‌کند و اطلاعات مفیدتری را برای تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌سازد. این روش‌های ترکیبی شامل روش‌های مصاحبه، گروه‌های متمرکز و مدل‌سازی هیدرولوژیک در سطوح مختلف در دسترس بودن داده‌ها است و نشان می‌دهد که اطلاعات هیدرولوژیکی در واقع برای طراحی دقیق استفاده نشده، بلکه با افزایش اعتبار علمی به حملیت گسترده از برنامه کمک کرده‌است. همچنین پیچیدگی مدل و در دسترس بودن داده‌ها، اعتبار اطلاعات هیدرولوژیکی را بهبود بخشیده، اما بر تصمیمات واقعی مربوط به طراحی برنامه تأثیری نداشته‌است.

Ougougdal و همکاران (2020) با استفاده از مدل SDR-InVEST، به ترسیم مناطق آسیب‌پذیر در برابر فرسایش آبی در یک منطقه کوهستانی مراکش پرداختند. این مطالعه، سطح فرسایش را کمی‌سازی و توزیع فضایی آن

را در حوضه با استفاده از نسبت تحویل رسوب (SDR) مدل InVEST ترسیم می‌کند. SDR با استفاده از بارندگی، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، مدیریت پوشش و شیوه‌های کشت به‌عنوان مجموعه‌ای از متغیرهای ورودی از پیش تعریف شده، تولید و تحویل رسوب زمینی را در سطح حوضه نقشه‌برداری می‌کند. نتایج حوضه آبخیز با توجه به شدت بارندگی متوسط در سال، برای شروع جدا شدن و انتقال ذرات خاک توسط رواناب و مساحت حوضه دارای پوشش گیاهی نشان داده‌است که در مجموع، حوضه آبخیز مورد مطالعه در حال از دست دادن خاک خود در اثر فرسایش است که درصدی بسیار بالاتر از آستانه قابل تحمل را نشان می‌دهد. همچنین عوامل اولیه فرسایش خاک در این حوضه آبخیز، به ماهیت تهاجمی بارندگی محلی و حساسیت ذاتی خاک بازمی‌گردد که به دلیل توپوگرافی و ویژگی‌های ذاتی حوضه است.

Yin و همکاران (2020)، تولید آب مبتنی بر مدل InVEST در شمال چین و حساسیت آن به متغیرهای آب و هوایی را برآورد کردند. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل پنج حوضه بزرگ است که داده‌های ورودی برای اجرای ماژول تولید آب شامل داده‌های هواشناسی، کاربری زمین، عمق خاک، آب در دسترس گیاه، حوضه‌های آبخیز، و جدول بیوفیزیکی، تهیه و در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ اجرا شد. نتایج نشان داد که مدل InVEST در تخمین بازده آب به خوبی عمل می‌کند و بنابراین، می‌تواند با موفقیت در سراسر منطقه مورد مطالعه اجرا شود. میزان کل تولید آب و میانگین آن، تعیین و مشخص شد. میانگین آب سالانه به شدت با دما، بارش، کاربری زمین و میانگین بارش سالانه مرتبط است. بارش سالانه با شرایط دمایی جنگل‌ها و مراتع ارتباط نزدیکی دارد و نوسان دما، بر میانگین تولید آب جنگل در مناطق مرطوب تأثیر مثبتی دارد و تأثیر بارش بیشتر بر تولید آب مرتع در مناطق گرم‌تر بوده است. در ادامه نیز برای بهبود ظرفیت تولید آب، برنامه‌های پوشش گیاهی مناسب‌تری پیشنهاد شده‌است.

Guo و همکاران (2021)، به مطالعه تأثیر تغییرات آب و هوایی آینده و سناریوهای مدیریت زمین بر خدمات اکوسیستم مرتبط با آب تا سال ۲۰۳۰ در منطقه‌ای در چین پرداختند. در این تحقیق، تولید آب سالانه و تصفیه آن برای سال ۲۰۳۰ بر اساس سناریوهای اقلیمی، پوشش و کاربری، با استفاده از مدل InVEST انجام شد. چهار سناریو شامل شهرنشینی سریع، حفاظت از زمین‌های کشاورزی، حفاظت از محیط زیست و سناریوی بازگرداندن زمین کشاورزی، تعیین و با سال ۲۰۱۵ به عنوان سال پایه مقایسه شد. سپس با توجه به میزان تولید آب در هر سناریو، به تجزیه و تحلیل نتایج و مقایسه آنها با یکدیگر پرداخته شد. نتایج نشان داد که تغییر آب و هوا نسبت به پوشش و کاربری، بر تولید آب تأثیری بیشتر دارد؛ در حالی که تغییر پوشش و کاربری بر تصفیه آب تأثیر بیشتری دارد.

در ایران نیز از InVEST برای ارزیابی خدمات اکوسیستم استفاده شد که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های Zarandian و همکاران (2017) اشاره کرد که با استفاده از این ابزار و با توجه به تهدیدات انسان در منطقه حفاظت شده سرولات و جواهردشت، مدل‌سازی در سه سناریو، تجارت معمول، منطقه‌بندی مبتنی بر حفاظت و مشارکتی مدل‌سازی شد. این پژوهش نشان می‌دهد که سناریوی منطقه‌بندی مشارکتی به بهترین وجه در سیاست‌گذاری مؤثر کمک می‌کند. Asadolahi و همکاران (2017) در مطالعه‌ای با رویکرد مبتنی بر خدمات اکوسیستم (ES) و ابزار InVEST برای حوضه آبخیز گرگان‌رود، در شمال شرق ایران مجموعه‌ای از پنج خدمت اکوسیستمی شامل حفظ خاک، کیفیت زیستگاه (به عنوان معیاری برای تنوع زیستی)، بازده آب، عرضه غذا و ذخیره کربن را بررسی کردند.

سپس با تجزیه و تحلیل ارزش‌ها و ویژگی‌های مختلف زمین مشخص کردند که در کدام کاربری و در چه مکان‌هایی بیشتر می‌توان به ارائه مجموعه خدمات اکوسیستم پرداخت.

Haghdadi (2018) به بررسی حوضه آبخیز دلیچای واقع در استان تهران پرداخت. او پس از تهیه داده‌های مورد نیاز این مدل، این داده‌ها را در نرم‌افزار InVEST 3.3.2 وارد کرد و به وسیله آن، به نقشه‌سازی میزان تولید آب پرداخت. در نهایت، نتایج پس از کالیبراسیون میزان تولید رواناب در کل این حوضه به طور سالانه تعیین شد. نتایج مربوط به کاربری‌های مختلف بیانگر این است که بیشترین میزان تولید رواناب، مربوط به زمین‌های بایر بود و پس از آن، بیشترین مقدار به کاربری مناطق مسکونی و مرتع اختصاص داشت. همچنین عوامل فیزیوگرافی و اقلیمی، بر میزان تولید رواناب در سطح حوضه آبخیز تأثیر فراوانی داشت که می‌توان از بین این عوامل، ارتفاع و بارش را تأثیرگذارترین آنها دانست. در مطالعه‌ای دیگر Shafizadeh (2020) با استفاده از مدل InVEST، به مدل‌سازی خدمات تولیدی اکوسیستم (تولید آب) در حوضه آبخیز طالقان میانی پرداخت. ابتدا نقشه‌های ورودی مدل تهیه و نقشه‌های مقدار حجم آب قابل تولید در هر زیرحوضه برآورد شد. سپس بر اساس محاسبات انجام شده توسط مدل، تولید آب در مجموع حوضه آبخیز طالقان تعیین شد.

Balist (2021)، به برآورد میزان عرضه و تقاضای آب در سطح حوضه آبریز مرزی سیروان پرداخت. این امر با استفاده از مفهوم خدمات بوم‌سازگان و داده‌های جغرافیایی، اقلیمی و تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. در این راستا ابتدا نقشه کاربری اراضی تولید شد، سپس اطلاعات مربوط به آن آماده‌سازی و در محیط نرم‌افزار InVEST 3.8.9 مدل‌سازی شد. نتایج، بیانگر مقدار تولید آب در این حوضه به تفکیک زیرحوضه‌ها برای شناسایی نقاط بحرانی است. Nikooy (2021) در پژوهشی به بررسی نقش خدمت اکوسیستمی تولید آب در حوضه دریاچه ارومیه در برآورد چارچوب حسابداری آب پلاس پرداخت. ابتدا با استفاده از داده‌های هیدرولوژی و تصاویر ماهواره‌ای، کاربری منابع آب از چارچوب $WA+$ محاسبه و در گام بعدی به منظور کمی‌سازی خدمت تولید آب، از نرم‌افزار InVEST استفاده شد. InVEST بیانگر میزان نتایج $WA+$ و کل ورودی آب حوضه دریاچه ارومیه در حسابداری $WA+$ و سهم خدمت اکوسیستمی تولید آب در این حوضه بود. سپس تعیین کرد که با دانستن سهم کم اکوسیستم‌ها در یک حوضه، می‌توان به برنامه‌ریزی بهتر در زمینه مدیریت منابع آبی و حفظ ارزش‌های اکوسیستم پرداخت.

Zabihi (2021) با هدف اجرای مدل خدمات بوم‌سازگان، به نسبت تحویل رسوب InVEST و اولویت‌بندی زیرآبخیزهای تالار در استان مازندران از نظر هدر رفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب پرداخت. بدین منظور، عوامل ورودی تهیه و برای اجرا به مدل مذکور معرفی شد. سپس بر اساس نتایج، مقدار هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب در مقیاس سالانه به دست آمد و زیر آبخیزها بر اساس این نتایج تجزیه و تحلیل شد. Darvishi (2021) با هدف تحلیل فضایی تنش‌های گیاهی و فرسایش مرتبط با بافت خاک و اقلیم مبتنی بر سنجش از دور و روش‌های تجربی، در ابتدا محاسبات با بررسی داده‌های ماهواره‌ای را انجام داد. سپس با استفاده از پارامترهای مؤثر در تنش گیاهی، آنالیزی گیاهی در هر پیکسل بر اساس توزیع Z انجام و در مرحله بعد با پارامترهای مؤثر در تنش گیاهی همچون رطوبت، تبخیر و تعرق، دما و بارش با بازه زمانی ۲۶ ساله، بررسی سری زمانی‌ها به روش منکندال

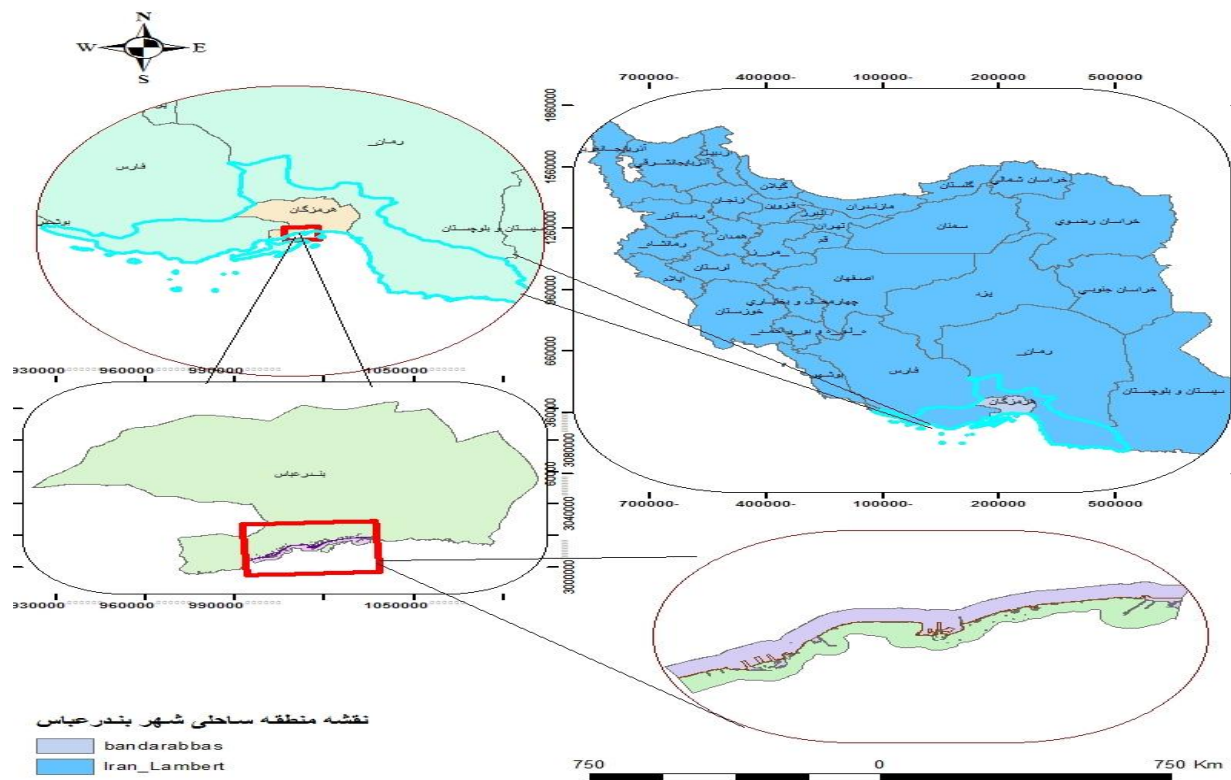
انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد به علت عدم رعایت مسائل چرای دام، تغییرات کاربری و از بین رفتن پوشش مرتعی، فشرده شدن حتی به بروز هرز آب‌ها و شسته شدن خاک سطح مراتع منجر شده و تشدید آن به نحوی بود که دامنه‌ها به طور کل تخریب و فرسایش‌های شیاری بسیار شدیدی در اکثر نقاط نمایان گردید. سپس با بررسی تصاویر ماهواره‌ای، همبستگی معناداری بین پوشش گیاهی و میزان بارندگی نشان داده شد.

در پژوهش حاضر، به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مختلف آبخیز شهر بندرعباس از نظر خدمت هیدرولوژیکی تولید آب با استفاده از مدل خدمات بوم‌سازگان InVEST پرداخته شد. باید توجه داشت که ویژگی‌های زیست‌محیطی و سیاسی حوضه‌های آبخیز کشور بسیار متفاوت است؛ در نتیجه، ابتکارات مدیریت آبخیز به طور گسترده‌ای در اندازه و دامنه متفاوت است. بنابراین، اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مختلف آبخیز منطقه مورد مطالعه از نظر خدمت هیدرولوژیکی تولید آب امری مفید است. در این مطالعه میزان آب قابل تولید حوضه آبخیز شهر بندرعباس، به صورت کمی و مکانی در مقیاس سالانه و بازه زمانی سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ برآورد شد تا براساس میزان عرضه، مناطق بحرانی‌تر از نظر کمبود آب در منطقه شناسایی شود و به وسیله آن، تصمیمات مدیریتی مناسب‌تری در راستای توان منطقه صورت گیرد.

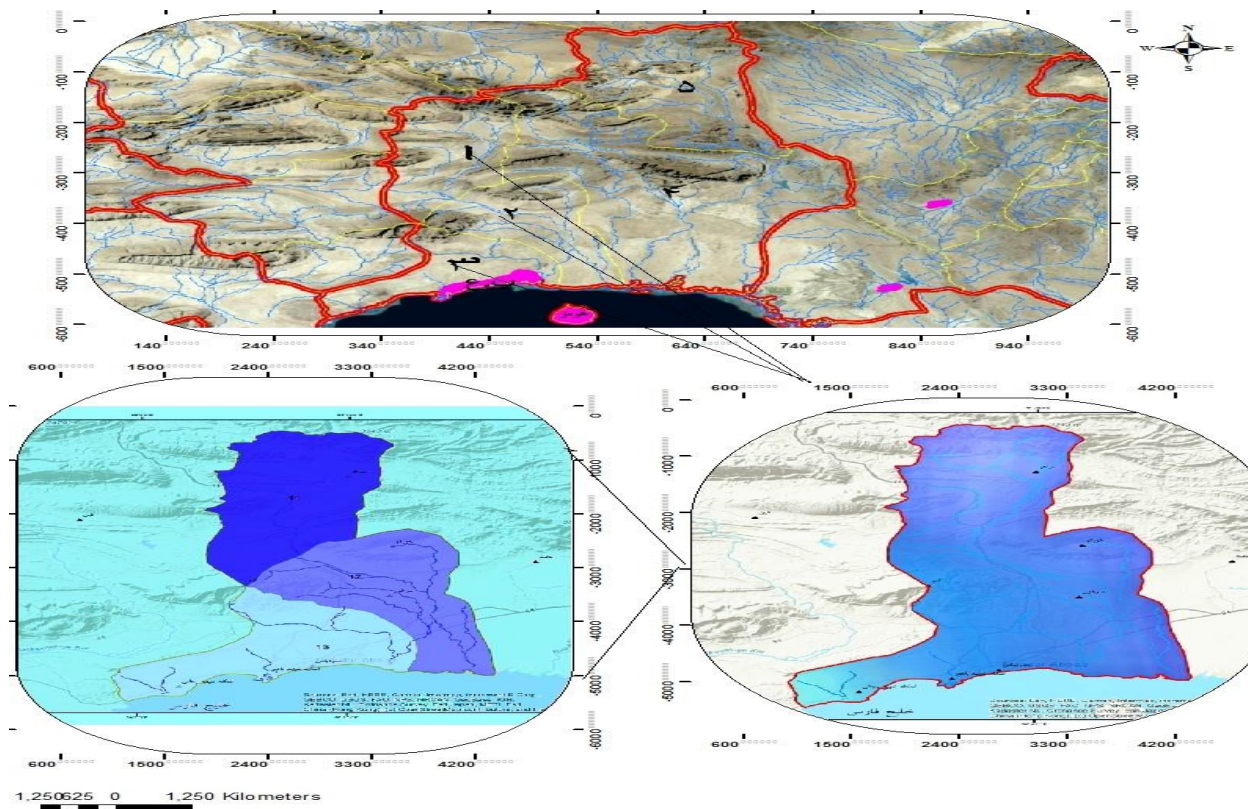
۲- منطقه مورد مطالعه

شهر بندرعباس به عنوان مرکز استان هرمزگان، در مختصات ۵۶ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی، ۲۷ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ده متری از سطح دریا قرار دارد. منطقه مورد مطالعه، نوار ساحلی شهر بندرعباس از منطقه بوستانو (غرب) تا فرودگاه بندرعباس (شرق) به طول خط ساحلی ۶۹ کیلومتر است. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین برای جامعیت بخشیدن به تحقیق، کوچک‌ترین واحد هیدرولوژی در منطقه یا زیرحوضه آبخیز — که محدوده شهر بندرعباس در آن واقع شده باشد — انتخاب شد که در شکل ۲، نشان داده شده است. حوضه آبخیزی که به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده، شامل سه زیرحوضه است که مساحت کل آن برابر با ۲۷۲۸۰۶ هکتار (۲۷۲۸ کیلومتر مربع) است.

برای تهیه نقشه کاربری، از طبقه‌بندی نظارت‌شده در محیط نرم‌افزار ENVI استفاده شد که پس از بررسی‌های میدانی صورت گرفته، به تعیین نقاط و طبقه‌بندی تصویر برای پنج طبقه مناطق انسان‌ساخت، سطوح آبی، کشاورزی، بایر و مرتع پرداخته شد. سپس مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی تولید آب برای سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ انجام شد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲: زیر حوضه آبریز پوشش دهنده منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش

در این تحقیق با هدف ترسیم آینده احتمالی از منطقه مورد مطالعه، از مدل تولید آب از مجموعه مدل‌های InVEST 3.8.9 استفاده شد. این فرایند شامل دو مرحله کلی است؛ ابتدا پردازش و آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای، سپس مدل‌سازی تولید آب با مدل InVEST. از تصاویر ماهواره‌ای لندست (۵ و ۸) برای تهیه تصاویر نقشه‌برداری منطقه مورد مطالعه استفاده شد (جدول ۱). این تصاویر پس از اجرای تصحیحات رادیومتریک، اتمسفریک و زمین مرجع کردن (با روش Ye and Grimm, 2013) و طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم حداکثر احتمال تشابه (با روش Shrestha et al, 2018) به دست آمد.

۳-۱- طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم حداکثر احتمال تشابه

یکی از روش‌های متداول طبقه‌بندی نظارت‌شده، الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال است. این الگوریتم، پیکسل مجهول را به کلاسی اختصاص می‌دهد که محتمل‌ترین کلاس برای آن پیکسل است. این روش مبتنی بر این فرض است که توزیع داده‌های آموزشی هر کلاس، به صورت نرمال می‌باشد (Jensen, 2005). این شیوه که متداول‌ترین شیوه طبقه‌بندی نظارت‌شده در سنجش از دور است، در مرحله اول بر اساس نمونه‌های تعلیمی طبقات، میانگین و جدول کواریانس برای باندهای مورد استفاده در طبقه‌بندی محاسبه می‌شود و در مرحله دوم، به میزان احتمال تعلق پیکسل‌ها به هر یک از طبقه‌ها می‌پردازد و بر اساس بالاترین میزان احتمال، عمل طبقه‌بندی و اختصاص پیکسل‌ها به طبقات مختلف صورت می‌گیرد. معادله ۱ روش حداکثر احتمال به شرح زیر است (ERDAS, 1999):

$$D = \ln(a_c) - [0.5 \ln(|Cov_c|)] - [0.5(X - M_c)^T (Cov_c^{-1})(X - M_c)] \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه، D فاصله وزنی (احتمال)، C کلاس مخصوص، X بردار اندازه‌گیری پیکسل موردنظر، M_c مرکز بردار کلاس C ، a_c درصد احتمالی پیکسل موردنظر عضو کلاس، Cov_c^{-1} معکوس ماتریس کواریانس پیکسل‌ها در کلاس c و T تابع تقدم و تأخر (ماتریس الجبرا) است.

۳-۲- ارزیابی دقت طبقه‌بندی ضریب کاپا

پس از طبقه‌بندی تصاویر، تعیین پوشش‌ها و کاربری اراضی منطقه، بایستی دقت نتایج خاص بررسی شود. این امر معمولاً با مقایسه نقشه مرجع (نقشه واقعیت زمینی) یا تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، یا نقشه حاصل از روش‌های مختلف طبقه‌بندی و تولید ماتریس خطا انجام می‌شود.

برای این کار، روش دیگری نیز وجود دارد که می‌توان از طبقه‌بندی انجام شده، آستانه مشخصی از احتمال درستی طبقه‌بندی را در نظر گرفت. سپس یک نمونه‌گیری تصادفی را در محیط نرم‌افزار Envi 5.3 به وجود آورد و صحت طبقه‌بندی را با آن سنجید.

ضریب کاپا، روشی است که برای ارزیابی طبقه‌بندی به کار می‌رود و در آن از تمامی عناصر ماتریس خطا برای محاسبه دقت استفاده می‌شود. این ضریب، طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند؛ به این معنی که مقدار کاپا، دقت طبقه‌بندی را نسبت به حالتی به دست می‌آورد که تصویری به صورت کاملاً تصادفی

طبقه‌بندی شود. این کار را به این صورت می‌توان معنی کرد که پس از حذف تأثیر شانس در طبقه‌بندی، مقدار تطابق با واقعیت زمینی محاسبه خواهد شد. از ضریب کاپا به منظور خلاصه کردن اطلاعات ایجاد شده به وسیله ماتریس خطا استفاده می‌شود. این ضریب با استفاده از معادله زیر به دست می‌آید:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه، x_{ii} ورودی‌های قطری ماتریس خطا، x_{i+} تعداد کل مشاهدات در سطر i ام، x_{+i} تعداد کل مشاهدات در ستون i ام و N تعداد کل مشاهدات در تصویر است. ارزش یک معیار کاپا، مطابقت کامل بین اطلاعات حاصل از طبقه‌بندی و اطلاعات واقعیت زمینی را نشان می‌دهد (Mother, 1999).

جدول ۱: پردازش و آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای

ردیف	تصویر	سنجنده	رزولوشن	سال
۱	لندست ۵	TM	۳۰ متر	۲۰۰۰
۲	لندست ۸	OLI	۳۰ متر	۲۰۲۰

۳-۳-۳. مدل تولید آب

داده‌های مورد نیاز به همراه چگونگی تولید آنها در جدول زیر آورده شده‌است.

جدول ۲: ورودی‌های مدل تولید آب InVEST و ویژگی‌های اجزای مدل‌ها

نوع	داده‌ها	واحد	وضوح	مقیاس زمانی	منبع	ابزار
کاربری مکانی	کاربری زمین ۲۰۰۰	متر	۳۰ *	۲۰۰۰	Usgs.gov	Arc GIS 10.6
زمین	Land sat 5-etm		۳۰	-		InVEST 3.8.9
زمانی	کاربری زمین ۲۰۲۰			۲۰۲۰		ENVI 5.3
	Land sat 8-OLI					
اقليم شناسی و داده‌های سینوپتیک	تبخیر و تعرق بارش	میلی‌متر	سالانه	۲۰۰۰	سازمان هواشناسی	
				-		
				۲۰۲۰		
داده‌های فضایی	عمق لایه محدودکننده ریشه	میلی‌متر	۳۰ *	۲۰۰۰	داده‌های خاک هماهنگ	Arc GIS 10.6
زمین	آب قابل دسترس گیاه	۰.۱	۳۰	-	جهانی،	InVEST 3.8.9
	پوشش و کاربری زمین	لایه .ras		۲۰۲۰	FAO.org	
	حوضه آبخیز	لایه .shp			تصاویر ماهواره‌ای	
	زیرحوضه‌ها	لایه .shp			پردازش شده و مراکز نقشه‌برداری	

Excel 2019	مطالعات ملی FAO.org	۲۰۲۰	LU/ LC class	۷-۱ توصیفی ۰.۱ میلیمتر ۱.۵-۰	Lucode LULC_desc LULC_veg عمق - ریشه Kc	فرمت جدول داده‌ها
---------------	------------------------	------	--------------------	--	---	-------------------------

مدل عملکرد آب (InVEST 3.8.9)، بر اساس منحنی بایدکو^۱ — که عملکرد تجربی میزان تبخیر و تعرق واقعی نسبت به میزان تبخیر و تعرق بالقوه به بارش است — می‌باشد. در این مدل، ابتدا میانگین آب قابل تولید سالیانه هر پیکسل ($Y(x)$) از منطقه، بر اساس رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Sharp et al, 2019):

$$Y(x) = \left(1 - \frac{AET(x)}{P(x)}\right) \cdot P(x) \quad \text{رابطه ۳}$$

که $AET(x)$ میانگین تبخیر و تعرق واقعی سالیانه سلول x و $P(x)$ میانگین بارش سالیانه همان سلول است. در مدل تولید آب InVEST، لایه کاربری اراضی به دو طبقه دارای پوشش گیاهی و فاقد پوشش گیاهی تقسیم و نسبت $\frac{AET(x)}{P(x)}$ هر طبقه به صورت مجزا محاسبه می‌شود. در طبقه دارای پوشش، این نسبت بر اساس منحنی بادیکو Fu (1981) و Zhang (2004) محاسبه می‌شود (رابطه ۴):

$$\frac{AET(x)}{P(x)} = 1 + \frac{PET(x)}{P(x)} - \left[1 + \left(\frac{PET(x)}{P(x)}\right)^w\right]^{\frac{1}{w}} \quad \text{رابطه ۴}$$

که $PET(x)$ تبخیر و تعرق بالقوه سالیانه سلول x ، و $w(x)$ پارامتر غیر فیزیکی است که به ویژگی‌های طبیعی اقلیمی - خاکی سلول بستگی دارد. تبخیر و تعرق بالقوه $PET(x)$ طبق رابطه ۵ تعریف می‌شود:

$$PET(x) = K_c(L_x) \cdot ET_0(x) \quad \text{رابطه ۵}$$

در این معادله، $ET_0(x)$ پارامتر منعکس‌کننده شرایط اقلیمی منطقه بر اساس تبخیر و تعرق یک گیاه مرجع در منطقه است و $K_c(L_x)$ عمدتاً توسط ویژگی‌های پوشش گیاهی کاربری اراضی سلول مورد نظر تعیین می‌شود (Ndiaye et al, 2020).

$W(x)$ پارامتری تجربی است که می‌تواند به وسیله یک معادله خطی $\frac{AWC \cdot N}{p}$ حاصل شود که N تعداد اتفاقات در سال و AWC میزان آب قابل دسترس برای استفاده گیاه (میلی‌متر) است. این معادله خطی، مانند معادله ۶ است (Donohue et al, 2012):

¹ Budyko curve

$$w(x) = Z \frac{AWC(x)}{P(x)} + 1.25 \quad \text{رابطه ۶}$$

در اینجا $AWC(x)$ ، آب قابل دسترس برای گیاه (میلی‌متر) در سلول x است که به بافت خاک و عمق مؤثر ریشه بستگی دارد. $AWC(x)$ ، میزان آبی را که خاک برای استفاده گیاه در خود نگه می‌دارد، مشخص می‌کند. این پارامتر، با ضرب ظرفیت آب قابل دسترس گیاه ($PAWC$) در عمق محدودکننده ریشه یا عمق ریشه گیاه به دست می‌آید که در رابطه ۷ ذکر شده است (Yang et al, 2019):

$$AWC(x) = \text{Min}(\text{Rest. layer. depth. root. depth}). PAWC \quad \text{رابطه ۷}$$

لایه عمق محدودکننده ریشه، عمقی است که ریشه نمی‌تواند به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به درون آن نفوذ کند. عمق ریشه گیاه معمولاً به عنوان عمقی تلقی می‌شود که ۹۵ درصد زیست توده ریشه در آن وجود دارد. $PAWC$ نیز اختلاف بین ظرفیت نگهداری آب خاک و نقطه پژمردگی گیاه است (Yang et al, 2019):

پارامتر هیدرولوژیکی Z ثابت تجربی، بین یک تا سی است که الگوی بارش محلی، شدت بارش، تغییر اقلیمی فصلی و ویژگی توپوگرافی حوضه را نشان می‌دهد. برای به دست آوردن این پارامتر، سه روش وجود دارد (Sharp et al, 2014): معادله $N \cdot 0.2$ که N بیانگر تعداد روزهای بارانی در سال است (Donohue et al, 2012)، استفاده از تخمین w جهانی (Linag et al, 1994 & Xu et al, 2013) و برآورد بعد از محاسبه داده‌های رواناب واقعی (Pessacg et al, 2012 & Canqiang et al, 2015).

در طبقه بدون پوشش لایه کاربری اراضی (مانند مناطق شهری، تالاب‌ها و ...)، تبخیر و تعرق واقعی $AET(x)$ به طور مستقیم از تبخیر و تعرق مرجع $ET_0(x)$ بر اساس رابطه ۸ به دست می‌آید:

$$AET(x) = \text{Min}(K_c(L_x). ET_0(x), P(x)) \quad \text{رابطه ۸}$$

در این رابطه، $ET_0(x)$ تبخیر و تعرق مرجع و $K_c(L_x)$ شاخص تبخیر ویژه کاربری اراضی است که در جدول شماره ۳ آورده شده است.

جدول ۳: کاربری اراضی و ضریب تبخیر و تعرق آنها

ردیف	کاربری	LU کد	Kc	عمق ریشه (mm)	گیاهی	LU/LC (%)
۱	ساخته شده	۱	۰.۷	۲۰۰۰	۰	۱.۴۲
۲	آب	۲	۱	۰	۰	۰.۴۵
۳	کشاورزی	۳	۰.۹	۱۰۰۰	۱	۱۵.۶۱
۴	بایر	۴	۰.۵	۰	۰	۱۴.۶۵
۵	مرتع	۵	۰.۸	۳۰۰	۱	۵۲.۱۴
منابع	نویسنده	نویسنده	FAO. org	isric. org	نویسنده	نویسنده

۴-۳- ورودی‌های مدل

- جدول بیوفیزیکی

یکی از ورودی‌های مدل استحصال آب، جدول بیوفیزیکی است که اجزای آن در جدول ۳ ذکر شده‌است. در این جدول، برای هر کاربری یک کد در نظر گرفته می‌شود که اطلاعات توصیفی را به لایه کاربری در مدل متصل می‌کند. این اطلاعات شامل نوع کاربری، ضریب تبخیر و تعرق برای هر کاربری، عمق ریشه در هر کاربری به طور متوسط بر اساس میلی‌متر و داشتن پوشش گیاهی یا فقدان آن است که با کد صفر و یک مشخص می‌شود.

- فاکتور فصلی بارش

این شاخص، بیانگر پراکنش بارش‌ها در طول سال است؛ بدین معنی که نشان می‌دهد تعداد بارش‌ها در طول سال چه توزیعی دارند. این شاخص از طریق رابطه ۹ محاسبه می‌شود:

$$N \times 0.2$$

رابطه ۹

که N به معنی تعداد بارش‌ها در طول سال است.

محدوده این فاکتور در مدل تولید آب از ۱-۳۰ است؛ هر چه تعداد بارش‌ها بیشتر باشد این عدد نیز بیشتر خواهد شد. تعداد بارش‌ها در منطقه مورد نظر به طور میانگین ۲۵ تا ۳۰ در نظر گرفته شد؛ بدین معنی که در طول سال در منطقه مورد مطالعه، ۲۵ تا ۳۰ اتفاق بارندگی وجود داشته‌است.

$$30 \times 0.2 = 6$$

بارش به عنوان مهم‌ترین عامل تولید آب، نقش مؤثری در این مدل‌سازی دارد. در شکل‌های زیر، نقشه بارش سالانه در منطقه نشان داده شده‌است. بارش‌ها در منطقه به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک زمین و شرایط اقلیمی حاکم بر آن، کم است و در دهه اخیر نیز به دلایل مختلف از جمله تغییرات اقلیمی، از میزان این بارش‌ها کاسته شده‌است.

- تبخیر و تعرق

تبخیر و تعرق یکی از اجزای مهم بیلان آب است. پیشرفت روزافزون تکنولوژی سنجش از دور، امکان برآورد تبخیر و تعرق واقعی و مقدار پتانسیل آن را در سطح وسیعی فراهم کرده‌است. در مدل InVEST، عملکرد تجربی میزان تبخیر و تعرق واقعی نسبت به میزان تبخیر و تعرق بالقوه به بارش مد نظر است که $AET(x)$ ، میانگین تبخیر و تعرق واقعی سالیانه سلول x و $PET(x)$ ، تبخیر و تعرق بالقوه سالیانه سلول x است.

- آب قابل دسترس گیاه

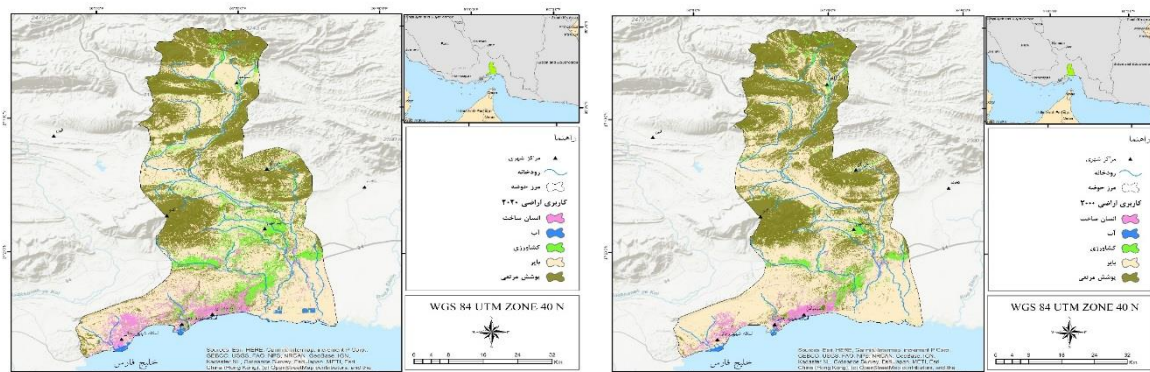
در اینجا $AWC(x)$ ، آب قابل دسترس برای گیاه (میلی‌متر) در سلول x است که به بافت خاک و عمق مؤثر ریشه بستگی دارد. $AWC(x)$ ، میزان آبی را که خاک برای استفاده گیاه در خود نگه می‌دارد، مشخص می‌کند. این پارامتر، با ضرب ظرفیت آب قابل دسترس گیاه ($PAWC$) در عمق محدودکننده ریشه یا عمق ریشه گیاه به دست می‌آید.

- عمق محدود کننده ریشه

لایه عمق محدود کننده ریشه، عمقی است که ریشه نمی‌تواند به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به درون آن نفوذ کند. عمق ریشه گیاه معمولاً به عنوان عمقی تلقی می‌شود که ۹۵ درصد زیست توده ریشه در آن وجود دارد. PAWC نیز اختلاف بین ظرفیت نگهداری آب خاک و نقطه پژمردگی گیاه است.

۴- یافته‌ها (نتایج)

حوضه آبریزی که به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده، شامل سه زیرحوضه است و مساحتی برابر با ۲۷۲۸۰۶ هکتار دارد. در این بخش، کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه به پنج طبقه مناطق انسان‌ساخت، سطوح آبی، کشاورزی، بایر و مرتع تقسیم و مدل‌سازی ابتدا در سال ۲۰۰۰ به عنوان سال پایه، سپس سال ۲۰۲۰ انجام شد که نتایج در زیر آمده‌است.



شکل ۳: کاربری اراضی سال ۲۰۲۰

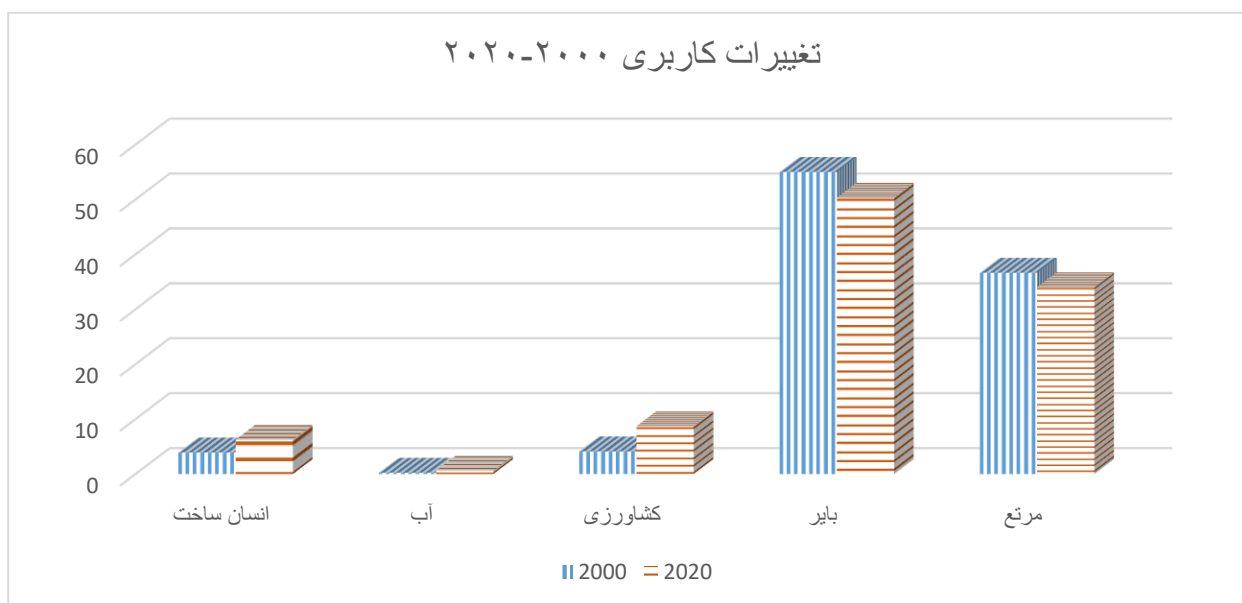
شکل ۴: کاربری اراضی سال ۲۰۰۰

همان گونه که در جدول زیر دیده می‌شود، در سال ۲۰۰۰ مساحت طبقه انسان‌ساخت ۱۰۷۲۱ هکتار، آب ۶۷۱ هکتار، کشاورزی ۱۱۲۸۵ هکتار، اراضی بایر ۱۵۰۱۲۳ هکتار و پوشش مرتعی ۱۰۰۰۰۳ هکتار است. درصد هر یک از کاربری‌های منطقه به ترتیب ۳۰۹، ۰۲۴، ۴۰۱، ۵۵ و ۳۶۶ است. اما در سال ۲۰۲۰ کاربری طبقه انسان‌ساخت ۱۷۰۸۵ هکتار، آب ۱۷۰۷ هکتار، کشاورزی ۲۳۷۶۵ هکتار، بایر ۱۳۷۳۸۰ هکتار و پوشش مرتعی ۹۲۸۶۵ هکتار است. درصد هر یک از کاربری‌های منطقه نیز به ترتیب برابر با ۶/۲، ۰/۶۲، ۸/۷، ۵۰ و ۳۴ درصد است.

جدول ۴: مساحت و درصد هر یک از کاربری‌ها در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰

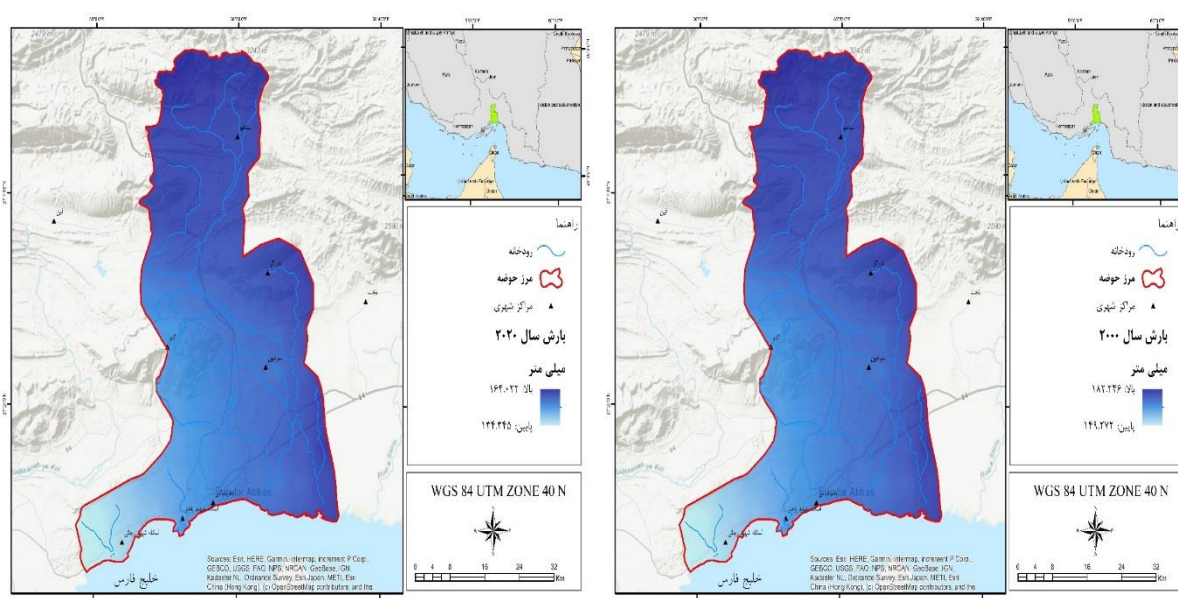
سال	مساحت	انسان‌ساخت	سطوح آب	کشاورزی	بایر	مرتع
۲۰۰۰	درصد	۳۰۹۳۰	۰۰۲۴۶	۴۰۱۳۶	۱۵۰۱۲۳۰۴۲	۱۰۰۰۰۳۰۵۹
۲۰۲۰	درصد	۶۰۲۶۲	۰۰۶۲۵	۸۰۷۱۱	۱۳۷۳۸۰۰۵	۹۲۸۶۵۰۶۹

در نمودار زیر تغییرات کاربری‌های مختلف از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان داده شده‌است.



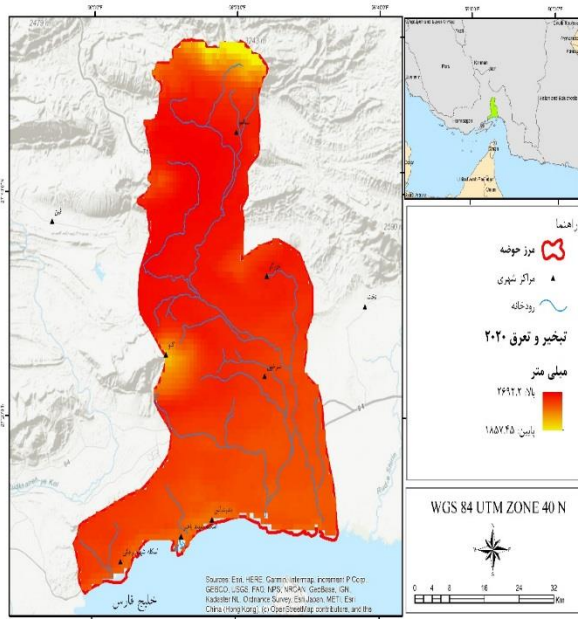
شکل ۵: تغییرات کاربری ۲۰۲۰-۲۰۰۰

همان طور که مشاهده می‌شود، در سال ۲۰۲۰ کاربری‌های انسان ساخت، آب و کشاورزی افزایش و کاربری‌های مرتع و بایر کاهش داشت. وضعیت بارش در منطقه مورد مطالعه نیز از سمت جنوب به شمال افزایشی است که در هر دو دوره، مشابه و در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده‌است. همچنین در شکل‌های ۸ و ۹، پارامتر تبخیر بالقوه نشان داده شده است. این پارامتر در تعیین میزان تولید آب نقش مهمی دارد؛ زیرا به از بین رفتن بخش بزرگی از بارش منجر می‌شود. میزان این پارامتر در قسمت‌های شمالی منطقه مورد مطالعه بیش از قسمت‌های جنوبی است؛ چون درجه حرارت در قسمت‌های شمالی بیشتر است و در بخش‌های جنوبی به دلیل نزدیکی به دریا و تأثیرپذیری از رطوبت بسیار بالا، درجه حرارت کمی کاهش می‌یابد.

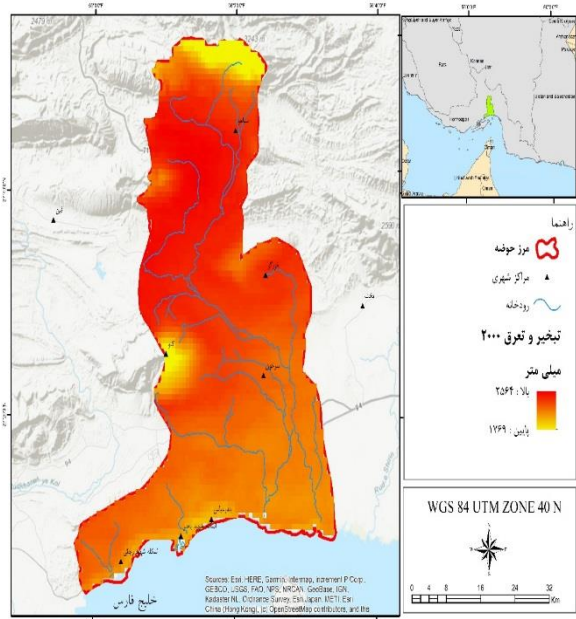


شکل ۷: نقشه بارش سال ۲۰۰۰

شکل ۶: نقشه بارش سال ۲۰۲۰

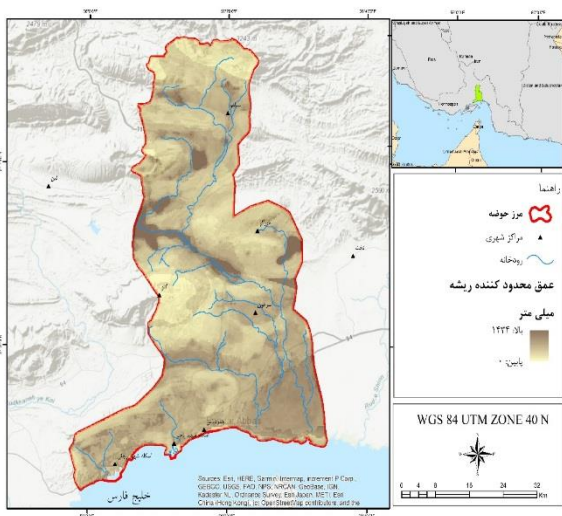


شکل ۹: تبخیر و تعرق سال ۲۰۲۰

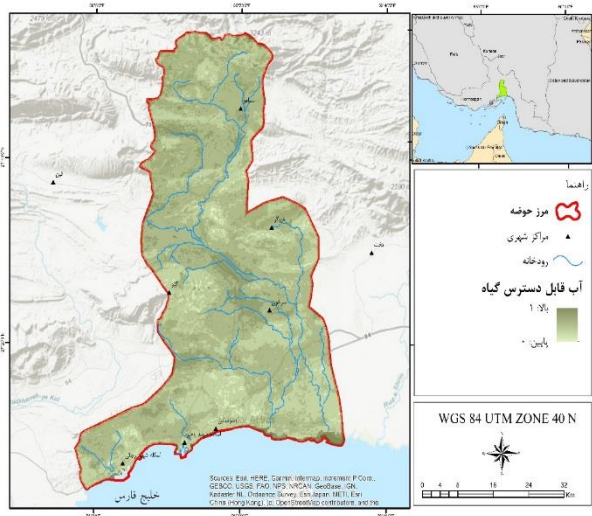


شکل ۸: تبخیر و تعرق سال ۲۰۲۰

وضعیت آب قابل دسترس گیاه در شکل ۱۰ ارائه شده است. این مفهوم بیانگر میزان آبی است که می‌توان برای استفاده گیاه در خاک حفظ کرد؛ چون بخشی از آب حاصل از بارش پس از نفوذ در لایه خاک، حفظ و در صورت وجود پوشش گیاهی، بخشی از آن توسط ریشه گیاه جذب می‌شود (Schaller et al, 2020). میزان این آب در مدل InVEST به صورت کسری از صفر تا یک است؛ یعنی آب ذخیره شده در خاک که گیاه می‌تواند آن را مصرف کند. پارامتر بعد که در شکل ۱۱ نشان داده شده، عمق محدودکننده ریشه است که با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ریشه گیاه می‌تواند تا این عمق نفوذ کند. در محدوده مطالعه در بخش‌های شمالی به دلیل کوهستانی بودن این نواحی، شیب بیش از سایر نواحی است و عمق محدودکننده ریشه در این مناطق نیز کمتر از بخش‌های دیگر است.



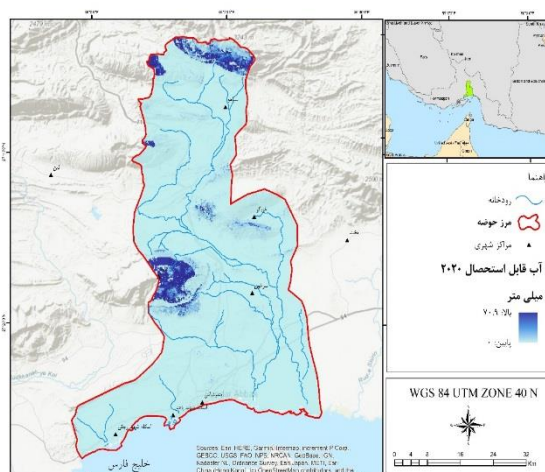
شکل ۱۱: آب قابل دسترس گیاه



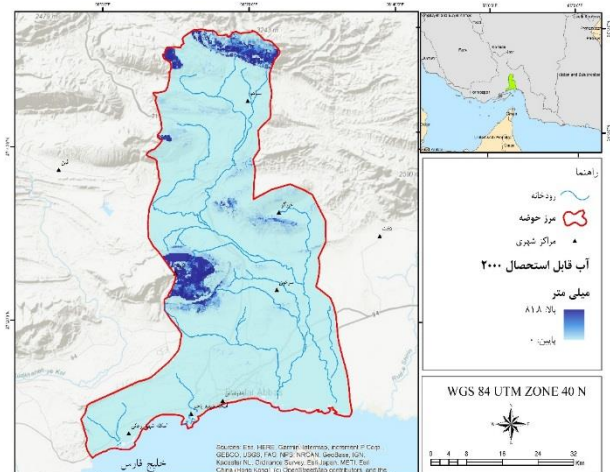
شکل ۱۰: عمق محدودکننده ریشه

میزان تولید آب

در شکل‌های ۱۲ و ۱۳، میزان تولید آب بر مبنای میلی‌متر بر واحد سلول در کل منطقه مورد مطالعه نشان داده شده‌است. این نقشه‌ها بیانگر میزان تولید آبی است که در سطح هر سلول بر مبنای داده‌های ورودی قابل تولید می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میزان تولید آب از حداکثری ۸۱ میلی‌متر در سال ۲۰۰۰ به ۷۰ میلی‌متر در سال ۲۰۲۰ رسیده‌است.



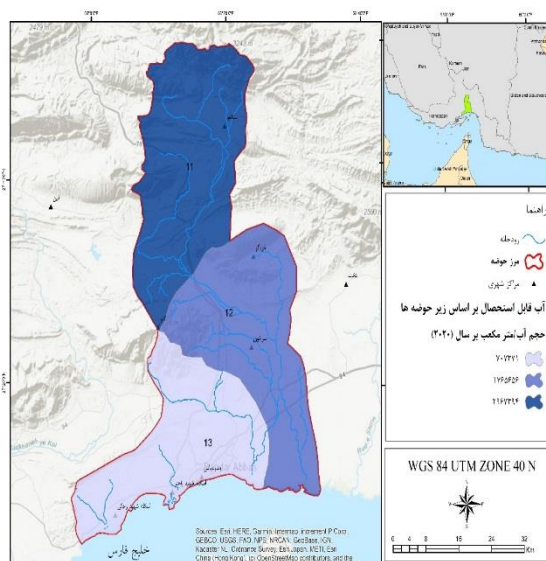
شکل ۱۳: تولید آب بر پایه سلول در سال ۲۰۰۰



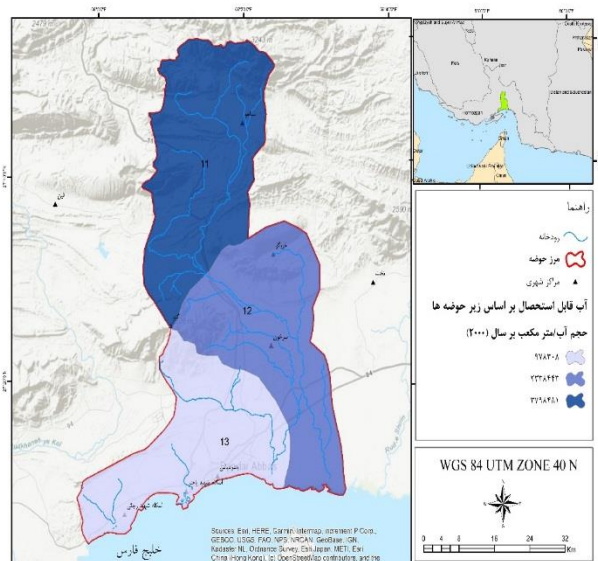
شکل ۱۲: تولید آب بر پایه سلول در سال ۲۰۲۰

تولید آب در سطح زیرحوضه‌ها

خروجی‌های مدل تولید آب برای سه زیرحوضه، در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ بر اساس m^3/yr نشان داده شده‌است. نتایج تولید آب هر زیرحوضه با توجه به مساحت آنها محاسبه شد که در سال ۲۰۰۰ در زیرحوضه یک ۳۷۹۸۴۸۷، زیرحوضه دو ۲۳۳۸۴۴۳ و زیرحوضه سه ۹۷۸۳۰۸ متر مکعب و در سال ۲۰۲۰ در زیرحوضه یک ۲۹۶۷۳۹۴، زیرحوضه دو ۱۷۶۵۶۵۶ و زیرحوضه سه ۷۰۷۳۷۱ متر مکعب بود.

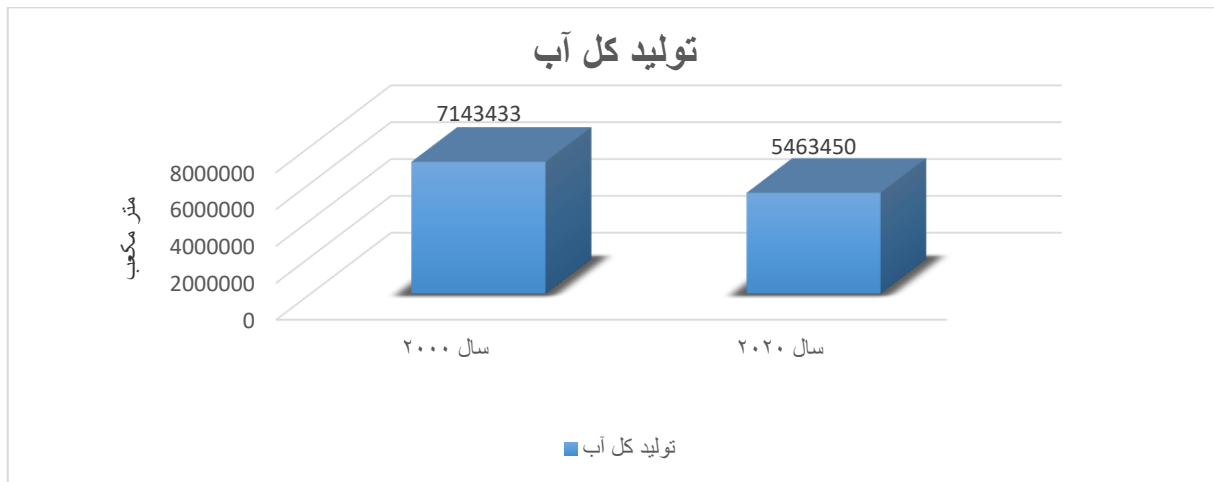


شکل ۱۵: تولید آب بر پایه زیرحوضه در سال ۲۰۰۰



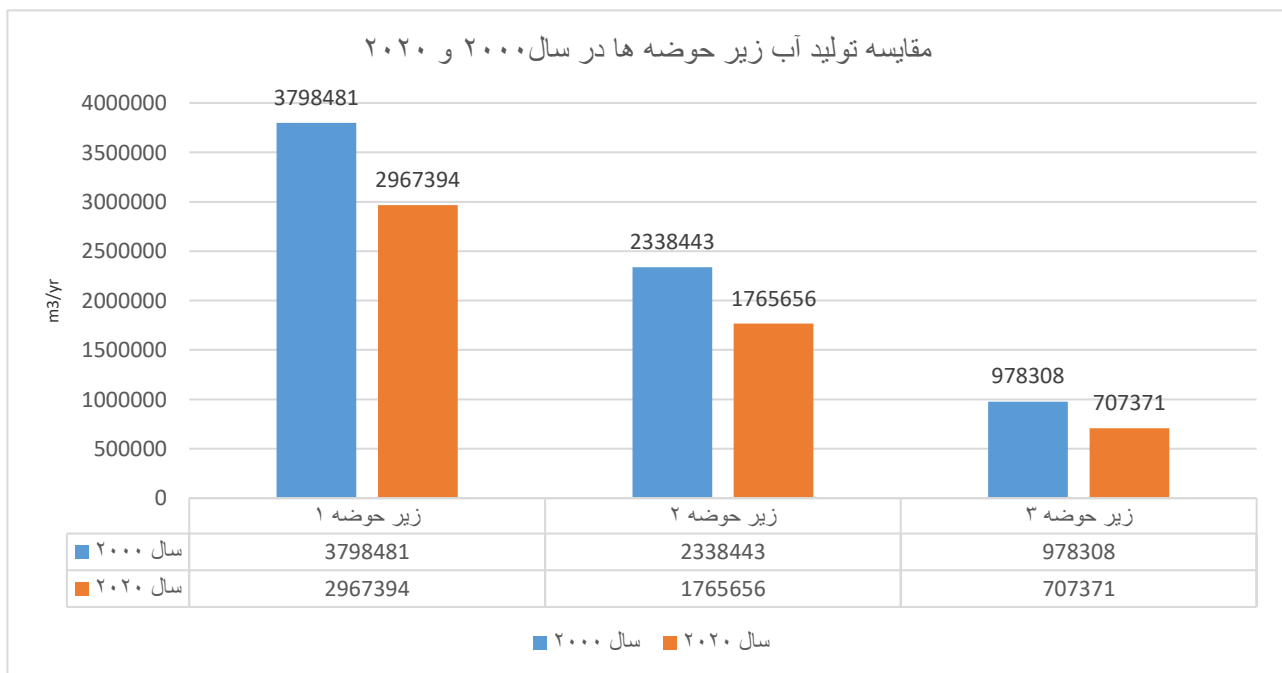
شکل ۱۴: تولید آب بر پایه زیرحوضه در سال ۲۰۲۰

همان طور که در شکل ۱۶ ملاحظه می‌شود، میزان تولید آب در کل منطقه مورد مطالعه از ۷۱۴۳۴۳۳ متر مکعب به ۵۴۶۳۴۵۰ متر مکعب در سال ۲۰۲۰ کاهش یافت که کاهش ۲۳ درصدی است.



شکل ۱۶: نمودار تولید آب کل در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰

این نتایج در سطح زیرحوضه‌ها هم قابل مشاهده است؛ به طوری که در سال ۲۰۲۰ تولید آب در زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۲۱، ۲۴ و ۲۷ درصد کاهش نشان داد که در شکل ۱۷ ذکر شده است.



شکل ۱۷: نمودار تولید آب زیرحوضه‌ها در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با مقایسه شرایط پوشش کاربری دو دوره مطالعه مشخص شد که در شرایط پایه در سال ۲۰۰۰ از مجموع ۲۷۲۸۰۶ هکتار اراضی محدوده بررسی شده، مساحت طبقه انسان‌ساخت ۱۰۷۲۱ هکتار، سطوح آب ۶۷۱ هکتار، کشاورزی ۱۱۲۸۵ هکتار، اراضی بایر ۱۵۰۱۲۳ هکتار و پوشش مرتعی ۱۰۰۰۰۳ هکتار است. درصد هر یک از کاربری‌های منطقه به ترتیب

۳۰۹، ۰۰۲۴، ۴۰۱، ۵۵ و ۳۶٫۶ درصد است و در سال ۲۰۲۰ این درصد کاربری‌ها به ترتیب به ۶۰۲، ۰۰۶۲، ۸۰۷، ۵۰ و ۳۴ درصد تبدیل و مشاهده شد که کاربری‌های انسان‌ساخت، سطوح آب و کشاورزی، افزایش و کاربری‌های مرتع و بایر کاهش یافت.

با مقایسه نقشه‌های بارش، وضعیت بارش در منطقه مورد مطالعه از جنوب به شمال افزایشی است و کمترین میزان بارش در قسمت جنوب غربی و بیشترین میزان آن در قسمت‌های شمال و شرقی محدوده مطالعه است و وضعیت بارش‌ها برای هر دو دوره بررسی تقریباً مشابه است.

با مقایسه نقشه‌های وضعیت تبخیر و تعرق مشخص شد که بیشترین میزان تبخیر و تعرق در زیر حوضه یک و قسمت شمالی زیر حوضه دو است که از دلایل آن، میزان درجه حرارت بالا، دوری از دریا و رطوبت کمتر نسبت به سایر نواحی می‌باشد. همچنین در زیرحوضه سه و قسمت جنوبی زیرحوضه دو — که نزدیک‌ترین مناطق به ساحل است — میزان تبخیر و تعرق کمتر است؛ چون رطوبت بسیار بالای مناطق ساحلی نسبت به سایر نواحی باعث می‌شود درجه حرارت اندکی کاهش یابد. هر چند باید در نظر داشت که در بخش‌های کوچکی در قسمت شمالی زیرحوضه یک و دو — که مناطق کوهستانی هستند — میزان تبخیر و تعرق کاهش شدیدتری دارد. این وضعیت‌ها در هر دو دوره بررسی مشابه است.

بررسی نقشه آب قابل دسترس گیاه با توجه به نقشه پوشش و کاربری نشان می‌دهد که در قسمت‌های کاربری کشاورزی، مرتع و انسان‌ساخت، این پارامتر از سایر کاربری‌ها بیشتر است که این به وجود خاک حاصلخیزتر، خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک و وضعیت توپوگرافی منطقه بازمی‌گردد. در این رابطه، Schaller و همکاران (2020) نیز بر این موضوع تأکید کردند.

تجزیه و تحلیل نقشه عمق محدودکننده ریشه نشان می‌دهد که عمق محدودکننده ریشه در قسمت‌های شمالی زیرحوضه یک و شمالی زیرحوضه دو — که مناطقی کوهستانی است — پایین‌تر از سایر نواحی است؛ زیرا شیب زیاد است و دشت‌ها کم. همچنین بیشترین عمق محدودکننده ریشه در زیرحوضه سه و قسمت‌های جنوبی زیرحوضه دو وجود دارد که این امر به وجود دشت‌ها، شیب کم مناطق و بافت خاک بازمی‌گردد.

مدل تولید آب InVest، حجم تولید آب توسط اکوسیستم را در کل حوضه برآورد کرد که در سال ۲۰۰۰ بیش از هفت میلیون متر مکعب و در سال ۲۰۲۰ بیش از پنج میلیون متر مکعب در سال بود و بیانگر کاهش ۲۳ درصدی است. همچنین نقشه تولید آب به تفکیک زیرحوضه نیز نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۰، مقدار تولید آب در زیرحوضه سه حدود یک میلیون متر مکعب، در زیرحوضه دو بیش از دو میلیون و در زیرحوضه یک بیش از سه میلیون متر مکعب است و در سال ۲۰۲۰، مقدار تولید آب در زیرحوضه سه بیش از هفتصد هزار، در زیرحوضه دو حدود دو میلیون و در زیرحوضه یک حدود سه میلیون متر مکعب است که کاهش در تمام زیرحوضه‌ها در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. از میان زیرحوضه‌ها، زیرحوضه یک بیشترین و زیرحوضه سه کمترین میزان تولید را دارد و این امر، در هر دو دوره مطالعه مشابه است.

با توجه به نتایج به دست آمده، منطقه مورد مطالعه براساس تولید آب و مساحت حوضه دارای تنش آبی شدید است و از این میان، زیرحوضه سه که شهر بندرعباس در آن واقع شده، بحرانی‌ترین وضعیت را دارد. با توجه به اهمیت

فراهم‌سازی آب و مشکلات موجود در زمینه تأمین آب برای مردم ساکن در منطقه و با توجه به تنش شدید آبی در کل حوضه و سایر شاخص‌های تغییرات اقلیم، تغییر نوع بارش، گرم شدن زمین، افزایش تبخیر، افزایش جمعیت، نیاز به تصمیم‌گیری و سرمایه‌گذاری در بخش تأمین، انتقال، افزایش راندمان آب در همه بخش‌های مصرفی و همکاری عمومی مردم به خصوص در بخش کشاورزی امری ضروری است. بررسی سایر محققان (Lang et al, 2017) نیز بیانگر این است که با مدل‌سازی خدمات تولیدی اکوسیستم (تولید آب) در حوضه آبخیز، می‌توان از طریق برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مناسب توسط دولت‌مردان، سیاست‌های توسعه اقتصادی و تغییرات کاربری اراضی را تحت نظارت قرار داد.

همچنین تحلیل نتایج دیگر محققان نشان می‌دهد که عامل فرسایندگی باران شدید، به وقوع بیشینه هدر رفت خاک و تولید رسوب منجر می‌شود. Mullan و همکاران (2012) نشان دادند که تغییر اقلیم بر فرسایش و هدر رفت خاک تأثیر بسیار زیادی دارد. از طرفی، Shiono و همکاران (2013) تأکید کردند در بین پارامترهایی که از تغییر اقلیم تأثیر می‌پذیرند، بارش و در پی آن قدرت فرسایندگی باران بیشترین تأثیرپذیری را دارد. این عامل یکی از متغیرهای اساسی در مدل‌های مربوط به فرسایش خاک است؛ به طوری که در معادله جهانی فرسایش خاک تحت عنوان عامل فرسایندگی باران به کار می‌رود (klike et al, 2010).

این شاخص یعنی شدت و ماهیت تهاجمی بارندگی محلی در منطقه مورد مطالعه و نقش آن برای شروع جدا شدن و انتقال ذرات خاک توسط رواناب و در نظر داشتن نتایج مطالعه یعنی کم شدن میزان کلی بارش‌ها در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ — که بر حساسیت ذاتی خاک و مستعدتر کردن آن برای فرسایش تأثیر می‌گذارد — اهمیت پرداختن به این مسئله را دو چندان می‌کند. در این رابطه Chuenchum و همکاران (2020) به نقش مهم عامل فرسایندگی باران در هدر رفت خاک و تولید رسوب اشاره کرده‌اند. همچنین مستعدتر شدن خاک منطقه برای فرسایش، به دلیل فقدان پوشش گیاهی مناسب و بارندگی کم منطقه است که این نتیجه با بررسی‌های دیگر محققان (Darvishi, 2021) — که بیان کرده‌اند بین پوشش گیاهی و میزان بارندگی همبستگی معناداری وجود دارد — همخوانی دارد. علاوه بر این، کاربری اراضی غالب‌بایر در منطقه مورد مطالعه نیز به هدر رفت خاک منجر می‌شود. در همین مورد Abbasi و همکاران (2017)، به افزایش قابل ملاحظه تولید رسوب در کاربری‌های با پوشش گیاهی اندک نسبت به کاربری با پوشش گیاهی غنی اشاره کرده‌اند. به طور کلی، نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر کاهش میزان تولید آب منطقه مورد مطالعه و ارتباط آن با فرسایش خاک و کاربری اراضی است که می‌توان از آن به عنوان نگهداشت حفظ محیط زیست استفاده کرد.

منابع

1. Abbasi, M.; Najafinejad, A.; Sheikh, V. B.; & M. Azim Mohseni, 2017. Investigating land use and slope effects on soil properties, runoff and sediment using rainfall simulator case study of Kechik watershed in Golestan Province, *Environ. Erosion Res. J.*, 6(4), 104-124 [in Persian].
2. Asadolahi, Z.; Salmanmahiny, A.; & Y. Sakieh, 2017. Hyrcanian forests conservation based on ecosystem services approach, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017.
3. Balist, J.; Malekmohammadi, B.; Jafari, H. R.; & A. Nohegar, 2021. Water resources supply and demand modeling using the concept of ecosystem services in Sirvan transboundary basin, *Water Eng*, 7(2), 279–292. DOI: 10.22034/JEWE.2021.261473.1488.

4. Bonan, G., 2015. Ecological Climatology: Concepts and Applications; Cambridge University Press: Cambridge, UK. 68pp
- McDonnel, R. A. (2008). Challenges for integrated water resources management: how do we provide the knowledge to support truly integrated thinking?, *Int. J. Water Resour. Develop*, 24(1), 131-143.
5. Chuenchum, P.; Xu, M.; & W. Tang, 2020. Predicted trends of soil erosion and sediment yield from future land use and climate change scenarios in the Lancang–Mekong River by using the modified RUSLE model, *ISWCR*, 8(3), 213-227.
6. Darvishi, Y.; Oshnooei Nooshabadi, M.; & A. Farangi, 2021. Spatial Analysis of Plant Stresses and Erosion Related to Soil and Climate Textu (Case Study: Maraveh Tappeh City), *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, [DOR: 20. 1001. 1.22517812. 1400. 11. 4. 3. 7].
7. De Groot, R. S.; Alkemade, R.; Braat, L.; Hein, L.; & L. Willemen, 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making, *Ecological complexity*, 7(3), 260-272.
8. Egoh, B.; Reyers, B.; Rouget, M.; Richardson, D.; Le maître, D. C.; & A. S. Van Jaarsveld, 2008. Mapping Ecosystem Services for Planning and Mmnagement, *Agriculture Ecosystems & Environment*, 127(1-2), 135-140.
9. Geneletti, D., 2012. Integrating Ecosystem Services in Land Use Planning: Concepts and Applications. Journal of Working Papers Center for International Development at Harvard University Ranganathan, Janet; Lucas, Nicolas; Irwin.
10. Grêt-Regamey, A.; Hanna Brunner, S.; & F. Kienast, 2012. Mountain Ecosystem Services: Who Cares? Mt. Res. Dev., 32, 23-34
- Vorstius, A. C. & C. J. Spray, 2015. A comparison of ecosystem services mapping tools for their potential to support planning and decision-making on a local scale, *Ecosyst. Serv*, 15, 75-83.
11. Haiping, L.; Yanan, Q.; & Q. Yuning, 2018. Use a spatial analysis model to assess habitat quality in Lashihai watershed, *J. Resour. Ecol*, 9(6), 622-632.
12. Haghdadi, M.; Heshmati, GH. A.; & M. S. Azimi, 2018. Assessment of water yield service on the basis of InVEST tool (Case study: Delichai watershed), *J. of Water and Soil Conservation*, 25(4), 2018 <http://jwsc.gau.ac.ir> DOI: 10.22069/jwsc.2018.14361.2910.
13. Jensen, J., 2005. Introductory digital image processing: A remote sensing perspective (3rd.ed). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 526 pp.
14. Klike, A., & J. Eitzinger., (2010). Impact of climate change on soil erosion and the efficiency of soil conservation practices in Austria. *Agriculture Science*. 148, 529-541.
15. Lang, Y.; Song, W.; & X. Deng, 2017. Projected land use changes impact on water yields in the karst mountain areas of China, *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C.
16. Mather, A. S., 1999. Land Use and Cover Change, *Land Use Policy*, 16, 143.
17. Mullan, D.; Favis-Mortlock, D.; & R. Fealy, 2012. Addressing key limitations associated with modelling soil erosion under the impacts of future climate change, *Agricultural and Forest Meteorology*, 156, 18-30.
18. Ndiaye, P. M.; Bodian, A.; Diop, L.; Deme, A.; Dezetter, A.; Djaman, K.; & A. Ogilvie, 2020. Trend and Sensitivity Analysis of Reference Evapotranspiration in the Senegal River Basin Using NASA Meteorological Data. *Water* 2020, 12, 1957. <https://doi.org/10.3390/w12071957>.
19. Nikooy, A.; Pourebrahim, SH.; Jabbarian Amiri, B.; & D. R. Arab, 2021. Investigating the Role of Water Yield Ecosystem Service in WA + Resource Base Sheet (Case of Urmia Lake Basin), 8(1), 1-319.
20. Nkwonta, O. I.; Dzwaitiro, B.; Otieno, F. A. O.; & J. A. Adeyemo, 2017. A review on water resources yield model, *South African journal of chemical engineering*, 23, 107-115.
21. Ougougdal, H. A.; Khebiza, M. Y.; Messouli, M.; bounoua, I.; & A. Karmaou, 2020. Delineation of vulnerable areas to water erosion in a mountain region using SDR-InVEST model: A case study of the Ourika watershed, Morocco, *Scientific African*, 10 (2020) e00646.

22. Perrine, H.; Leah L. B.; Alexandra, G. P.; Eileen, A.; Jonathan, R. B.; Bethel, S.; André, T. C.; Claudio, K.; Everton, B.; & A. B. Kate, 2019. The value of hydrologic information for watershed management programs: The case of Camboriú, Brazil, *Science of the Total Environment*, 705, 135871.
23. Rahimi, L.; Malekmohammadi, B.; & A. R. Yavari, 2020. Assessing and modeling the impacts of wetland land cover changes on water provision and habitat quality ecosystem services, *Nat. Resour. Res*, 29, 3701- 3718. [10.1007/s11053-020-09667-7](https://doi.org/10.1007/s11053-020-09667-7).
24. Ranganathan, J.; Raudsepp-Hearne, C.; Lucas, N.; Irwin, F.; Zurek, M.; Bennett, K.; Ash, N.; & P. West, 2008. Ecosystem Services: Guide for Decision Makers, *Publisher; world Resources Institute*, ISBN 978-1-56973-669-2.
25. Redhead, J. W.; Stratford, C.; Sharps, K.; Jones, L.; Ziv, G.; Clarke, D.; Oliver, T. H.; & J. M. Bullock, 2016. Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale, *Science of the Total Environment*, 569, 1418-1426.
26. Reid, W. V.; Mooney, H. A.; Cropper, A.; Capistrano, D.; Carpenter, S. R.; Chopra, K.; Dasgupta, P.; Dietz, T. et al, 2005. A Report of the Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
27. Sallustio, L.; De Toni, A.; Strollo, A.; Di Febbraro, M.; Gissi, E.; Casella, L.; Geneletti, D.; Munafò, M.; Vizzarri, M.; & M. Marchetti, 2017. Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy, *J. Environ. Manage*, 201, 129-137.
28. Schaller, J.; Cramer, A.; Carminati, A.; & M. Zarebandkouki, 2020. Biogenic amorphous silica as main driver for plant available water in soils, *Sci Rep*, 10, 2424. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59437>.
29. Shafizadeh, M., & M. A. Zare Chahouki, 2020. Modeling Ecosystem Production Services (Water Production) in Taleghan Middel Watershed, 7, 411-419.
30. Sharp, R.; Tallis, H. T.; Ricketts, T.; Guerry, A. D.; Wood, S. A.; & R. Chaplin-Kramer, R. 2019. InVEST 3.7.0 Users Guide. The Natural Capital Project. Stanford University, University of Minnesota, the Nature Conservancy, And World Wildlife Fund.
31. Shiono, T.; Ogawa, S.; Miyamoto, T.; & K. Kameyama, 2013. Expected impacts of climate change on rainfall erosivity of farmlands in Japan, *Ecological engineering*, 61, 678-689.
32. Vigerstol, K. L., & J. E. Aukema., (2011). A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *J. Environ. Manage*. 92(10), 2403-2409.
33. Yin, G.; Wang, X.; Zhang, X.; Fu, Y.; Hao, F.; & Q. Hu, 2020. InVEST model-based estimation of water yield in north China and its sensitivities to climate variables, *Water*, 12, 1692.
34. Yang, X.; Chen, R.; Meadows, M. E.; Ji, G.; & J. Xu, 2020. Modelling water yield with the invest model in a data scarce region of northwest china, *Water Supply*, 20(3), 1035- 1045.
35. Zabihi, M.; Moradi, H.; Khaledi Darvishan, A.; & M. Gholamalifard, 2021. Application of InVEST ecosystem services model to prioritize sub-watersheds of Talar in term of soil erosion, sediment retention and yield, *Environ. Water Eng*, 7(2), 293-303. DOI: 10.22034/jewe. 2020. 257980. 1470.
36. Zarandian, A.; Baral, H.; Stork, N. E.; Ling, M. A.; Yavari, A. R.; Jafari, H. R.; & H. Amirnejad, 2017. Modeling of ecosystem services informs spatial planning in lands adjacent to the Sarvelat and Javaherdasht protected area in northern Iran Land Use Policy, 61, 487-500. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.12.003>.

Application of InVEST Water Supply Ecosystem Service Model to Predict Water Erosion in Bandar Abbas Basin

Javid Jahandari: *Ph.D. Candidate, Department of Environmental Management, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Iran*

Rokhshad Hejazi¹: *Assistant Professor, Department of Environmental Management, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Iran*

Seyed Ali Jozi: *Professor, Department of Environmental Management, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Iran*

Abbas Moradi: *Assistant Professor, Department of Geographical Science, Hormozgan University, Iran*

Article History (Received: 2021/12/21

Accepted: 2022/07/5)



20.1001.1.22517812.1401.12.4.5.6

Extended abstract

1- Introduction

Instead of focusing on how development affects ecosystems, the ecosystem service approach focuses on how ecosystems affect development. By quantifying the water production service in a basin, it is possible to determine the amount of water production in different uses of the land and use this information to apply better management decisions in line with the potential of the region. The provision of this service depends on the characteristics of the watershed such as topography, vegetation and land use, climate and other parameters governing the provision of services. Various tools and models have been developed to study these services to help authorities make appropriate decisions for ecosystem management. These tools are divided into two general categories, traditional hydrological tools and ecosystem service tools, which are service-specific tools. InVEST tools focus on the final services of the ecosystem and map the services and in this research has been used to serve the water production of the study area.

2- Methodology

The study area of the coastal strip of Bandar Abbas from Bustano (west) to Bandar Abbas airport (east) is 69 km along the coastline. Therefore, to make the research comprehensive, the smallest hydrology unit in the area or catchment area where this area of Bandar Abbas city is located was selected. In this research, the water production model from the model set, InVEST 3.8.9 was used with the aim of plotting the possible future of the study area. This process consists of two general steps, first processing and preparation of satellite images, then modeling water production with InVEST model. Landsat satellite images (5 and 8) were used to prepare mapping images of the study area and after performing radiometric, atmospheric and ground reference corrections (by Ye and Grimm method, 2013) And the classification of the images was achieved with the maximum likelihood similarity algorithm (by Shrestha et al method. 2018).

3- Results

The watershed area that has been selected as the study area includes three sub-basins with a total area of 272,806 hectares. In this section, the land use of the study area was divided into 5 categories: water, urban, agricultural, arid and grassland. And modeling was done first in the year 2000 as the base year of comparison for subsequent years and then in 2020. In the year 2000, the area of human-made floor is 10721 hectares, water is 671 hectares, agriculture is 11285 hectares, arid lands are 150123 hectares and grassland cover is 100003 hectares. The percentages of each land use are 3.9, 0.24, 4.1, 55 and 36.6,

* Corresponding Author, Rokhshad47@yahoo.com¹

respectively. These figures for 2020 are: human-made land uses with 6.2% and water, agriculture, arid and grassland land uses with 0.62, 8.7, 50 and 34%, respectively. It can be seen that human-made, water and agricultural uses have increased and pasture and wasteland uses have decreased. Examination of the water production map shows that it increased from a maximum of 81 mm in 2000 to 70 mm in 2020. Also, by comparing the maps, the amount of water production in the study area had decreased from 7.143.433 cubic meters to 5.463.450 cubic meters in 2020, which indicates a decrease of 23%. The results are also visible at the sub-basin level. In 2020, the reduction of water production in sub-basins 12, 11 and 13 demonstrated a decrease of 24, 21 and 27%, respectively.

4- Discussion & Conclusions

Comparing the land use cover of the base conditions in 2000 and 2020 revealed that man-made, water and agricultural land uses have increased and grassland and arid land uses have decreased. Comparing the rainfall maps indicated that the rainfall situation in the study area is increasing from south to north and the lowest rainfall in the southwestern part and the highest rainfall in the northern and eastern parts of the study area and for both periods of rainfall status are almost the similar. The InVEST water production model estimated the ecosystem water production volume in the whole basin to be more than 7 million cubic meters in 2000 and more than 5 million cubic meters in 2020, which represents a decrease of 23%. The map of water production by sub-basin shows a decrease in all sub-basins in 2020 compared to 2000, and among sub-basins, sub-basin has the highest and one lowest production, and this is the same in both periods.

According to the obtained results, the study area has severe water stress based on water production and basin area. In addition, by considering the importance of water and taking into account other factors such as climate change, rainfall reduction, change in rainfall type, global warming, increase in evaporation, and population increase, we need to decide and invest in supply, transmission, and increase of water efficiency. This is an important endeavor considering the factors changing the type of rainfall, which means the intensity and aggressive nature of local rainfall in the study area and its role to start the separation and transfer of soil particles by runoff. The results of the present study also shows lower overall rainfall in 2020 compared to the year 2000, which affects the inherent sensitivity of the soil and makes it more susceptible to erosion, which, in turn, doubles the importance of addressing this issue.

Due to the fact that water production in the whole basin has severe water stress, and the overall decrease in rainfall in 2020 compared to 2000, this situation will have a greater impact on the inherent sensitivity of the soil and predisposes it to erosion. This is an important issue considering the intensity factor and the aggressive nature of local rainfall in the study area and its role in initiating the separation and transfer of soil particles by runoff which exposes the study area to more severe water erosion. Also, considering the spatial pattern of precipitation changes in the northern parts of the watershed, this area will be more erodible, and due to the impact of wind erosion on water erosion, the results of investigations for this section are useful to help study wind erosion and increase fine dust.

Key Words: Bandar Abbas watershed, Ecosystem services, InVEST software, Water production, Water erosion.