

مدل سازی عرضه و تقاضای منابع آب با بهره گیری از مفهوم خدمات بوم سازگان در حوضه آبریز مرزی سیروان

جهانبخش بالیست، بهرام ملک محمدی، حمیدرضا جعفری و احمد نوحه گر

دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۲۹۲-۲۷۹

Vol. 7(2), Summer 2021, 279-292

DOI: 10.22034/JEWE.2021.261473.1488

**Water Resources Supply and Demand Modeling
using the Concept of Ecosystem Services in Sirvan
Transboundary Basin**

Balist, J., Malekmohammadi, B., Jafari, H. R. and
Nohegar, A.



www.jewe.ir

OPEN  ACCESS

ارجاع به این مقاله:

بالیست، ج.، ملک محمدی، ب.، جعفری، ح. و نوحه گر، ا. (۱۴۰۰). مدل سازی عرضه و تقاضای منابع آب با بهره گیری از مفهوم خدمات بوم سازگان در حوضه آبریز مرزی سیروان. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۲، صفحات: ۲۷۹-۲۹۲.

Citing this paper: Balist, J., Malekmohammadi, B., Jafari, H. R. and Nohegar, A. (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

مقاله پژوهشی

مدل سازی عرضه و تقاضای منابع آب با بهره گیری از مفهوم خدمات بوم سازگان در حوضه آبریز مرزی سیروان

جهانبخش بالیست^۱، بهرام ملک محمدی^{۲*}، حمیدرضا جعفری^۳ و احمد نوحه گر^۲

^۱دانشجوی دکتری، گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳استاد، گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: malekb@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۱۲/۲۷]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۱۲/۱۰]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۹/۲۹]

چکیده

منابع آب همیشه به عنوان یک عامل محدودکننده در برنامه ریزی محیط زیست نقش دارد. شناخت وضعیت این منبع مهم می تواند تأثیر زیادی در برنامه ریزی صحیح استفاده از سرزمین را داشته باشد. هدف از این پژوهش برآورد میزان عرضه و تقاضای آب به عنوان یک خدمت بوم سازی و شناسایی مناطق دارای تنش آبی در سطح حوضه آبریز مرزی سیروان بود. این کار با بهره گیری از مفهوم خدمات بوم سازگان که تفکری نوین در علوم زمین است و با استفاده از داده های جغرافیایی، اقلیمی و تصاویر ماهواره ای قابل انجام است. در این راستا ابتدا تصاویر ماهواره ای لندست برای سال ۲۰۱۹ پس از انجام تصحیحات مختلف آماده سازی و نقشه کاربری اراضی تولید شد. سپس اطلاعات بارش، تبخیر و تعرق، عمق ریشه، ضرایب تبخیر و تعرق پوشش زمین و جدول های مربوطه آماده سازی و در محیط نرم افزار InVEST 3.8.9 مدل سازی شد. نتایج نشان داد که مقدار تولید آب در این حوضه $5380 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ است که زیرحوضه های ۵، ۱۱ و ۱ دارای بیشترین میزان تولید آب با ۱۴۲۶، ۹۰۶ و $631 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ ؛ و زیرحوضه شماره ۲ با $100 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ دارای کمترین تولید آب هستند. زیرحوضه شماره ۵ با $110 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ دارای بیشترین میزان مصرف و زیرحوضه شماره دو با $7 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ دارای کمترین میزان مصرف است. بر اساس محاسبات تولید و مصرف، زیرحوضه ۴ دارای بیشترین مشکلات در تأمین آب است.

واژه های کلیدی: برنامه ریزی استفاده از سرزمین؛ حوضه آبریز سیروان؛ خدمات بوم سازگان؛ منابع آب



۱- مقدمه

جوامع در سراسر جهان مدت‌هاست که با برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در میان جمعیت‌های رو به رشد و استفاده از منابع، رقابت بین کاربران و اخیراً تخریب گسترده محیط‌زیست و تغییرات آب و هوایی مواجه شده‌اند (Brown et al. 2015). تصمیمات منابع آب (و حوادث) می‌تواند اثراتی در مقیاس زمین‌شناسی مانند خشک شدن دریاچه چاد (Coe and Foley 2001)، ایجاد دریای سلطان در کالیفرنیا، تخریب دلتاهای رودخانه‌های عمده و تالاب‌ها (مانند کلرادو، زرد، تیرریس و فرات، Everglades) و تغییر جریان از طریق سدسازی رودخانه‌ها داشته باشد (Nilsson et al. 2005). حوضه‌های آبریز و رودخانه‌ها عوامل بوم‌شناسی حیاتی جهت تأمین خدمات بوم‌سازگان برای مصرف انسان و یکپارچگی بوم‌شناسی هستند (Landell-Mills and Porras 2002; Lalika et al. 2015). تأمین آب به دلیل نقش حیاتی برای استفاده‌های داخلی، تولید برق آبی، استفاده صنعتی، تولید دام و غیره خدمتی ضروری می‌باشد (De Groot et al. 2010; Lalika et al. 2015). جریان آب پایدار به شدت به سلامت و یکپارچگی حوضه‌های آبریز که خدمات از آن سرچشمه می‌گیرد، بستگی دارد. برای حفظ سلامت حوضه و جریان آب پایدار، مدیریت منابع آب یکپارچه (IWRM¹) (به عنوان مثال، وجود یک توسعه و مدیریت هماهنگ آب، زمین و منابع مرتبط) باید اجرا شود (Solanes and Gonzales-Jewitt 2002; McDonnel 2008). با مشکل کمبود آب، خدمات بوم‌سازگان هیدرولوژیکی به موضوعی داغ در مدیریت بوم‌سازگان تبدیل شده است (Chen et al. 2015). آب قابل تولید به عنوان جزئی کلیدی از خدمات بوم‌سازگان هیدرولوژیکی نقش مهمی در مدیریت بوم‌سازگان و تعادل هیدرولوژیکی ایفا می‌کند (Brauman 2015). اگرچه، عدم قطعیت‌های زیادی در برآورد آب قابل تولید وجود دارد، به ویژه تغییرات زیاد مکانی-زمانی در تولید آب می‌تواند تحت شرایط تغییر اقلیم قابل انتظار باشد (Piao et al. 2010)؛ بنابراین، برآورد دقیق و کمی‌سازی عوامل مؤثر بر آب قابل تولید نیازمند تصمیمات مناسب خدمات بوم‌سازگان مانند راهبرد بازسازی پوشش گیاهی و

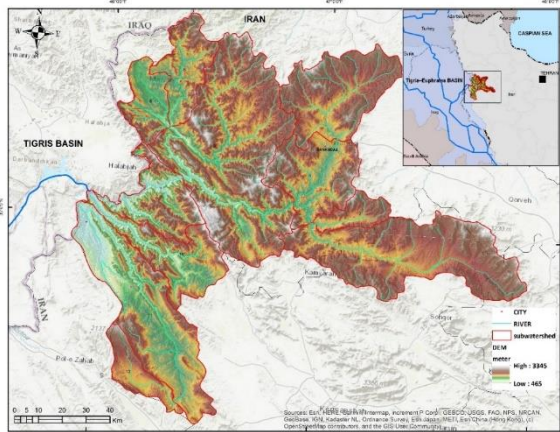
امنیت تقاضای آب سیستم اقتصادی-اجتماعی (Lu et al. 2013). آب قابل تولید بیش‌تر توسط بارش و تبخیر و تعرق کنترل می‌شود و تغییر کاربری اراضی ناشی از فعالیت‌های انسان نیز به طور غیرمستقیم روی آن اثر می‌گذارد (Bonan 2015). در مطالعات مختلفی اثرات پارامترهای اقلیمی و کاربری روی آب قابل تولید ارزیابی شده است که بیانگر همبستگی مثبت بین بارش و آب قابل تولید (Pessacg 2015) و روابط مختلف بین کاربری و آب قابل تولید است (Zhang et al. 2018). کاربری اراضی نمود تعامل بین انسان و طبیعت است و این تغییراتی که انسان در طبیعت ایجاد می‌کند، بر روی خدماتی که بوم‌ساز ارائه می‌کند تأثیر می‌گذارد (Kindu et al. 2016). یکی از ارزشمندترین خدمات بوم‌سازگان، تولید آب است (Brishbane 2007) که از سایر خدمات آسیب‌پذیرتر است (Tao et al. 2016). بر اساس تعاریف بوم‌سازگان بستگی به ویژگی‌های حوضه آبریز مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی، اقلیم و سایر پارامترها دارد (De Groot et al. 2010)؛ بنابراین، سنجش تغییرات در خدمات بوم‌سازگان تولید آب در واکنش به تغییرات کاربری اراضی، راهی مؤثر برای ارزیابی هزینه‌ها و منابع محیط زیستی برنامه‌ریزی کاربری اراضی است؛ بنابراین، مدل‌سازی خدمات بوم‌سازگان استحصال آب یک حوضه آبریز می‌تواند به مدیریت پایش و پیش‌بینی اثرات سیاست‌های توسعه اقتصادی و پیامدهای تغییرات کاربری اراضی در راستای برنامه‌ریزی مناسب مؤثر باشد (Lang et al. 2017). مطالعات مختلفی در رابطه با ارزیابی آب قابل تولید و حساسیت آن به تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی مانند بارش و کاربری اراضی انجام شده است. تعدادی از مطالعات در رابطه با ارزیابی حساسیت به تغییر اقلیم با تغییر در ورودی‌های بارش و دما به مدل صورت گرفته است (Lu et al. 2013; Kaczmarek 2020). برای مثال مدل تولید آب InVEST² در حوضه‌های مختلفی در انگلستان اعتبارسنجی و مدل توسط ورودی‌های مختلف آنالیز حساسیت شد (Redhead et al. 2016). مدل تولید آب براساس پارامترهای اقلیمی آنالیز حساسیت شده است (Yin et al. 2020; Rahimi et al. 2020). InVEST ابزار فضایی مناسبی از نوع مدل‌های منبع باز است

²Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs

¹Integrated Water Resources Management



میانگین بارش سالیانه ۹۳۵ mm و در شرق منطقه ۳۶۵ mm است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Fig. 1 Location of the study area

۲-۲- روش‌ها

در این پژوهش به منظور برآورد آب قابل تولید در سطح حوضه آبریز سیروان از مدل InVEST 3.8.9 استفاده شد. فرآیند پژوهش براساس شکل دو است. همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌شود، داده‌های مورد نیاز شامل کاربری اراضی، پارامترهای اقلیمی (بارش، تبخیر و تعرق)، آب قابل دسترس گیاه، عمق محدودکننده ریشه، ضریب تبخیر و تعرق پوشش‌های مختلف زمین و عمق ریشه است. نحوه ادغام و کاربرد این پارامترها در فلوچارت شکل (۲) نشان داده شده است.

۲-۲-۱- تهیه نقشه کاربری اراضی

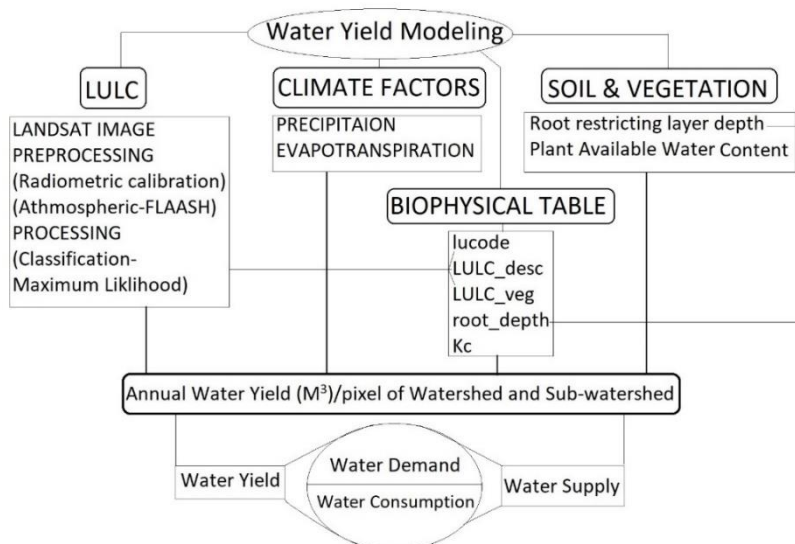
نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد (جدول یک). بدین منظور تصویر ماه جولای ۲۰۱۹ از سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ برای این کار انتخاب شده و پس از انجام تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک و زمین مرجع نمودن (Ye and Grimm 2013)، طبقه‌بندی تصویر با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال تشابه صورت گرفت (Shrestha et al. 2018).

که برای نقشه‌سازی و کمی‌سازی خدمات بوم‌سازگان منابع طبیعی استفاده می‌شود (Sharp et al. 2019). مطالعاتی نیز در زمینه اعتبارسنجی و اثربخشی مدل InVEST در برآورد خدمات بوم‌سازگان مختلف انجام شده است (Sallustio et al. 2017; Haiping et al. 2018). در این مطالعه تلاش بر این است که با استفاده از مدل تولید آب در محیط نرم‌افزار InVEST میزان آب قابل تولید حوضه آبریز مرزی سیروان که یکی از زیرحوضه‌های آبریز مرزی غرب است، به صورت کمی و مکانی برآورد گردد. همچنین میزان تقاضا برای آب برحسب نوع کاربری و میزان مصرف و تأمین آب برآورد شود. این حوضه علی‌رغم توان زیادی در تأمین آب، دارای مشکلات عدیده‌ای در زمینه مدیریت این منابع استراتژیک است و به تبع آن وضعیت اقتصادی-اجتماعی ساکنین این منطقه نیز ضعیف بوده و برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح این منبع می‌تواند در این زمینه مؤثر باشد. در این تحقیق سعی شده است که براساس شکاف بین عرضه و تقاضای خدمات بوم‌سازگان (آب)، مناطق دارای کمبود آب در منطقه را شناسایی نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سیروان با 13400 km^2 مساحت در استان کردستان و کرمانشاه در عرض شمالی 34° و $50'$ تا 35° و $05'$ و طول شرقی 45° و $59'$ تا 47° و $22'$ واقع شده است (Furat et al. 2015). این حوضه به عنوان زیرحوضه آبریز مرزی غرب دارای ۱۱ زیرحوضه است (شکل ۱). رودخانه سیروان که یونانیان قدیم به آن لیگوس می‌گفتند، یکی از رودخانه‌های نسبتاً مهم حوضه آبریز خلیج فارس است که آب-های مناطق وسیعی از غرب ایران را جمع نموده و پس از ورود به خاک عراق و پیوستن به رودخانه دجله، وارد خلیج فارس می‌گردد. این رودخانه در استان‌های کردستان و کرمانشاه جریان یافته و شهرهای سنندج، مریوان، پاوه، قصرشیرین، سرپل ذهاب، گیلان غرب، نوسود و جوانرود در حوضه آبریز آن قرار دارند. کم‌ترین ارتفاع از سطح دریا در این منطقه ۴۶۵ m و بیش‌ترین ارتفاع ۳۳۴۵ m است. میزان بارش در این منطقه از غرب به شرق کاهش یافته به طوری که در غرب منطقه



شکل ۲-مدل مفهومی پژوهش

Fig. 2 The conceptual model of research

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده و ویژگی‌های آن‌ها

Table 1 The used data and their characteristics

Table 1. The used data and their characteristics							
	Type	Data	unit	Resolution	Time scale	source	tool
Land use	Spatial-temporal	Land use 2019 Land sat 8-OLI	meter	30×30	2019	USGS.gov	ENVI 5.3 Arc GIS 10.6 InVEST 3.8.9
climate	Climatology and synoptic data	Reference evapotranspiration	mm	annual	2019	Meteorological Organization	
		Precipitation	mm				
Land data	Spatial	Root restricting layer depth	mm	30×30	2019	Harmonized world soil data	Arc GIS 10.6 InVEST 3.8.9
						FAO.org	
		Plant Available Water Content	0-1				
		Land use/land cover	Layer.ras			Processed satellite image	
		Watersheds	Layer.shp			National Cartographic Center	
		Subwatersheds	Layer.shp				
	Table format data	Lucode	1-7	LU/LC class	2019		Excel 2019
		LULC_desc	description				
		LULC_veg	0,1				
root_depth		mm	National studies				
		Kc	0-1.5			FAO.org	

منحنی بادیکو (Budyko curve) که عملکرد تجربی میزان تبخیر و تعرق واقعی نسبت به میزان تبخیر و تعرق بالقوه به بارش است (Emamifar et al. 2016). در این مدل، ابتدا میانگین آب قابل تولید سالیانه هر پیکسل ($Y(x)$) از منطقه بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Sharp et al. 2019).

۲-۲-۲-مدل تولید آب

مدل عملکرد آب با استفاده از نرم‌افزار InVEST 3.8.9 مدل سازی می‌شود. از این مدل برای ارزیابی تولید آب در مطالعات مختلفی در دنیا استفاده شده است (Rahimi et al. 2020; Hu et al. 2020; Yang et al. 2019). این مدل بر اساس

$AWC(x)$ میزان آبی که خاک برای استفاده گیاه نگهداری می کند را مشخص می کند. این پارامتر با ضرب ظرفیت آب قابل دسترس گیاه ($PAWC$) در عمق محدودکننده ریشه یا عمق ریشه گیاه به دست می آید که در رابطه (۵) آمده است (Yang et al. 2019).

$$AWC(x) = \text{Min}(\text{Rest.layer.depth.root}).PAWC \quad (5)$$

لایه عمق محدودکننده ریشه، عمقی است که ریشه نمی تواند به دلیل ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک به داخل خاک نفوذ کند. عمق ریشه گیاه معمولاً به عنوان عمقی تلقی می شود که ۹۵٪ زیست توده ریشه در آن وجود دارد. $PAWC$ اختلاف بین ظرفیت نگهداری آب خاک و نقطه پژمردگی گیاه می باشد (Yang et al. 2019).

پارامتر هیدرولوژیکی Z ثابت تجربی بین ۱ تا ۳۰ است که منعکس کننده الگوی بارش محلی، شدت بارش، تغییر اقلیمی فصلی و ویژگی توپوگرافی حوضه است. سه روش برای به دست آوردن پارامتر Z وجود دارد (Sharp et al. 2014):
۱- رابطه $N \times 0.2$ که N تعداد روزهای بارانی در سال است (Donohue et al. 2012)،
۲- استفاده از تخمین w جهانی (Xu et al. 2013)، و
۳- برآورد بعد از محاسبه داده های رواناب واقعی (Canqiang et al. 2012).

برای طبقه بدون پوشش لایه کاربری اراضی (مانند مناطق شهری، تالاب ها و ...)، تبخیر و تعرق واقعی $AET(x)$ به طور مستقیم از تبخیر و تعرق مرجع $ET_0(x)$ بر اساس رابطه (۶) به دست می آید.

$$AET(x) = \text{Min}(K_c(L_x).ET_0(x).P(x)) \quad (6)$$

که، $ET_0(x)$ تبخیر و تعرق مرجع و $K_c(L_x)$ فاکتور تبخیر ویژه کاربری اراضی است (جدول ۲).

جدول ۲- کاربری اراضی و ضریب تبخیر و تعرق آنها

Table 2. land use /land cover and their evapotranspiration coefficient

Row	Land use	Lu-code	k_c	Root depth (mm)	Vegetation	LU/LC (%)	Water demand (m ³ /yr./pixel)
1	Built-up	1	0.7	300	0	1.42	400
2	Water	2	1	0	0	0.45	0
3	Forest	3	0.95	200	1	12.41	0
4	Agriculture	4	0.9	150	1	15.61	200
5	Rangeland	5	0.8	30	1	52.14	0
6	Dry farming	6	0.4	20	1	14.65	0
7	Bare land	7	0.5	0	0	3.32	0
Reference	Author	Author	FAO.org	isric.org	Author	Author	Author

$$Y(x) = \left(1 - \frac{AET(x)}{P(x)}\right).P(x) \quad (1)$$

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 می شود و نسبت $\frac{AET(x)}{P(x)}$ هر طبقه به صورت مجزا محاسبه می شود. برای طبقه دارای پوشش این نسبت بر اساس منحنی بادیکو Zhang (2004) محاسبه می شود (رابطه ۲).

$$\frac{AET(x)}{P(x)} = 1 + \frac{PET(x)}{P(x)} - \left[1 + \left(\frac{PET(x)}{P(x)}\right)^w\right]^{\frac{1}{w}} \quad (2)$$

که، $PET(x)$ تبخیر و تعرق بالقوه سالیانه سلول x و $w(x)$ پارامتر غیر فیزیکی است که بستگی به ویژگی های طبیعی اقلیمی-خاکی سلول دارد. تبخیر و تعرق بالقوه، $PET(x)$ طبق رابطه (۳) تعریف می شود:

$$PET(x) = K_c(L_x).ET_0 \quad (3)$$

که، ET_0 پارامتر منعکس کننده شرایط اقلیمی منطقه براساس تبخیر و تعرق یک گیاه مرجع در منطقه است و $K_c(L_x)$ عمده تاً توسط ویژگی های پوشش گیاهی کاربری اراضی سلول موردنظر تعیین می شود (Ndiaye et al. 2020).

$W(x)$ یک پارامتر تجربی است که می تواند به وسیله یک رابطه خطی $\frac{AWC \cdot N}{P}$ ، که N تعداد اتفاقات در سال است، و A میزان آب قابل دسترس برای استفاده گیاه (mm) است. این رابطه خطی مانند رابطه (۴) است (Donohue et al. 2012).

$$w(x) = Z \frac{AWC(x)}{P(x)} + 1.25 \quad (4)$$

که، $AWC(x)$ آب قابل دسترس برای گیاه (mm) در سلول x است که بستگی به بافت خاک و عمق مؤثر ریشه دارد.



۳-۲-۲- تأمین واقعی^۱

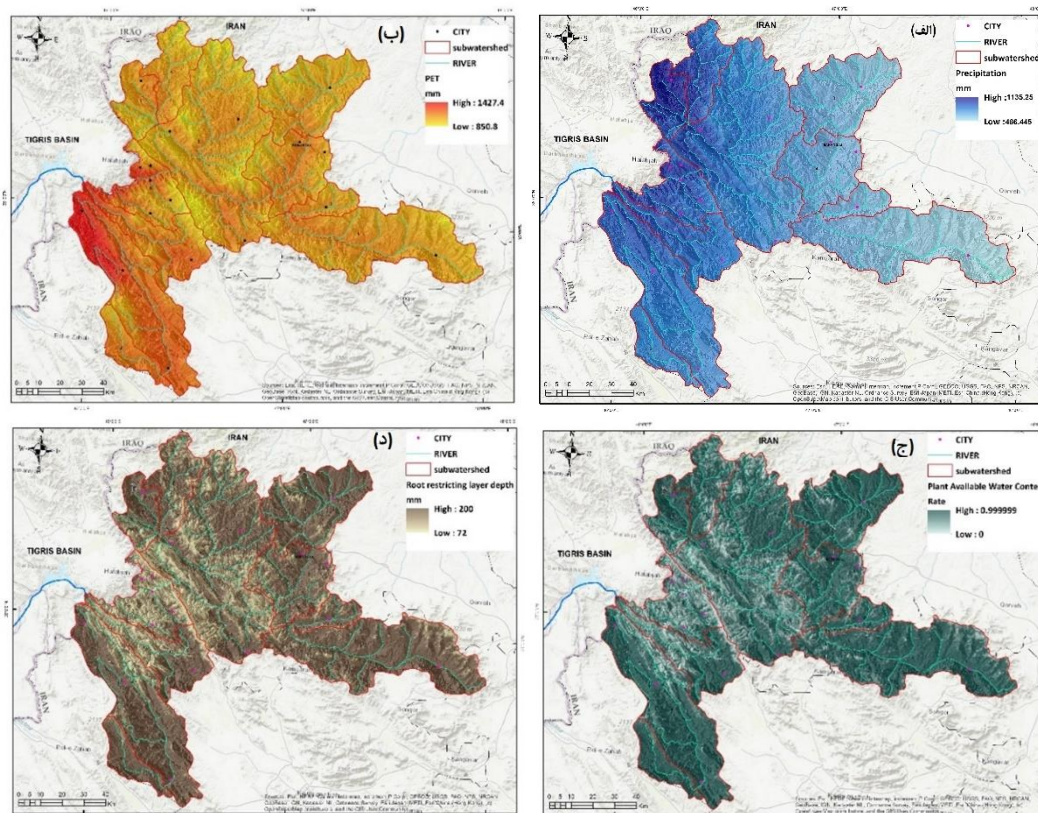
این امکان که ابزار کمبود آب نیز نامیده می‌شود، میزان جریان آب به یک حوضه براساس آب قابل تولید محاسبه شده و آب مصرفی در حوضه موردنظر را محاسبه می‌کند (رابطه ۷).

$$C = \frac{W-R}{n} \quad (7)$$

که C ، آب مصرفی بر اساس $(m^3/yr./pixel)$ ، W ، آب برداشتی $(m^3/yr.)$ ، R ، جریان برگشتی $(m^3/yr.)$ و n ، تعداد سلول‌های یک کاربری است.

۳- یافته‌ها و بحث

نتایج این پژوهش در زیر در قالب سه شکل و یک نمودار ارائه شد. در شکل (۳-الف) نقشه‌های بارش که به صورت رستری (بر مبنای سلول) نشان داده شده است.



شکل ۳- نقشه‌های الف بارش، ب تبخیر و تعرق، ج آب قابل دسترس گیاه، و د عمق محدودکننده ریشه

Fig. 3 Maps of a) precipitation, b) evapotranspiration, c) plant available water content and d) root restricting layer depth

باعث از بین رفتن بخش بزرگی از بارش می‌شود. بیشترین میزان تبخیر و تعرق در خروجی حوضه اتفاق افتاده که یکی از دلایل آن میزان درجه حرارت بالای این منطقه است. در نقشه بعدی (۳-ج) پارامتر آب قابل دسترس گیاه ارائه شده است. این پارامتر نشان‌دهنده میزان آبی است که قابل نگهداری در خاک بوده و برای استفاده گیاه قابل دسترس است. بخشی از آب حاصل از بارش، پس از نفوذ در لایه خاک نگاه داشته می‌شود که در صورت وجود پوشش گیاهی، بخشی از

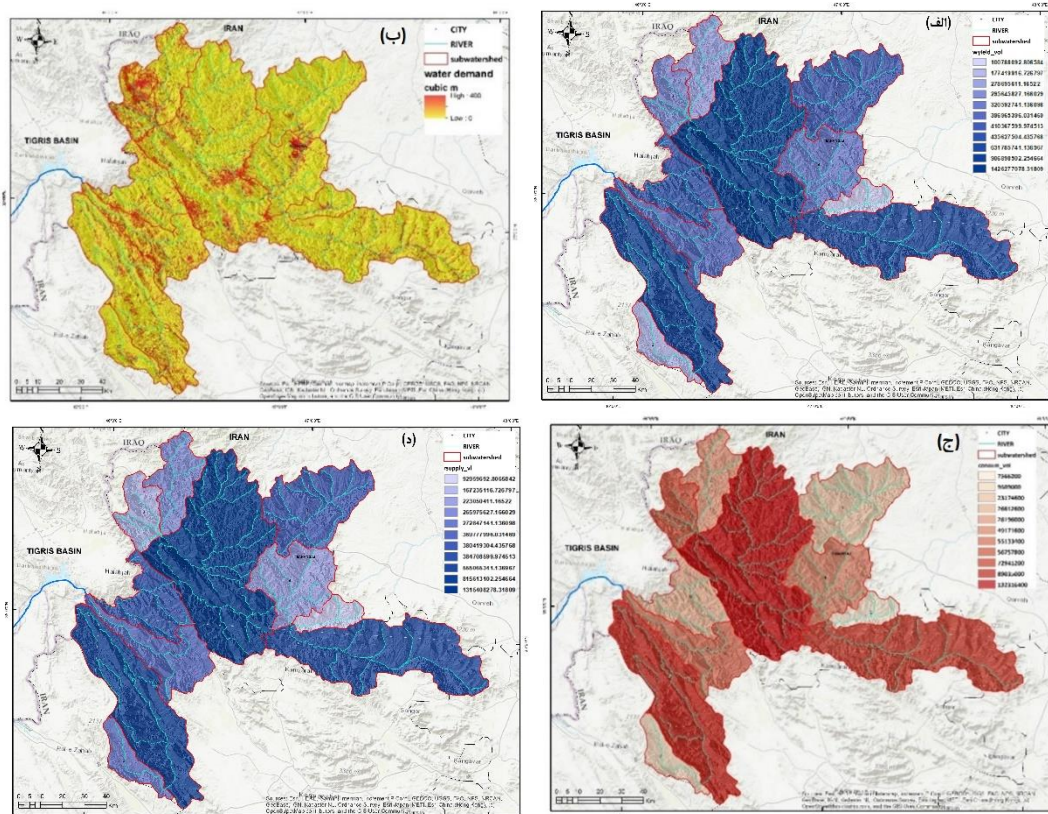
وضعیت بارش در منطقه مورد مطالعه از غرب به شرق کاهشی است و کمترین میزان بارش ۴۶۶ mm در شرقی‌ترین نقطه منطقه بوده و بیشترین میزان بارش در غرب منطقه ۱۱۳۵ mm است. بارش به عنوان اصلی‌ترین عامل تولید آب در هر منطقه‌ای نقشی بسیار حیاتی دارد. در نقشه دوم (۳-ب) پارامتر تبخیر و تعرق بالقوه نشان داده شده است که کمترین میزان آن ۸۵۰ و بیشترین میزان آن ۱۴۲۷ mm است. این پارامتر نیز نقش مهمی در تعیین میزان تولید آب دارد زیرا که

¹Realized Supply

گیاهان تا این عمق می توانند نفوذ کنند. با توجه به عمق خاک در گستره مورد مطالعه، در مناطق شرقی که شیب کم تر بوده و دشت های بیش تری وجود دارند و همچنین از نظر سنی پیرتر از مناطق غربی هستند، عمق خاک بیش تر بوده و بافت خاک نیز تکامل یافته تر است، بنابراین، توان نگهداشت آب نیز بیش تر است. بر اساس نقشه کاربری اراضی نیز زمین های کشاورزی در این مناطق بیش تر بوده و به دو صورت دیم و آبیاری مورد استفاده قرار می گیرند.

آن از طریق ریشه گیاه مورد استفاده گیاهان قرار می گیرد. به این میزان آب، آب قابل دسترس گیاه گفته می شود (Schaller et al. 2020)؛ که در این مدل به صورت کسری از صفر تا یک است؛ یعنی میزانی از آب قابل ذخیره در خاک که گیاه می تواند مصرف کند.

در نقشه آخر (۳-د)، عمق محدود کننده ریشه مشاهده می شود که با توجه به ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک ریشه



شکل ۴- نقشه های الف) تولید آب، ب) تقاضای آب، ج) مصرف آب و د) مازاد آب به تفکیک زیرحوضه

Fig. 4 Maps of a) water yield, b) water demand, c) water consumption, and d) realized supply water by sub-watersheds

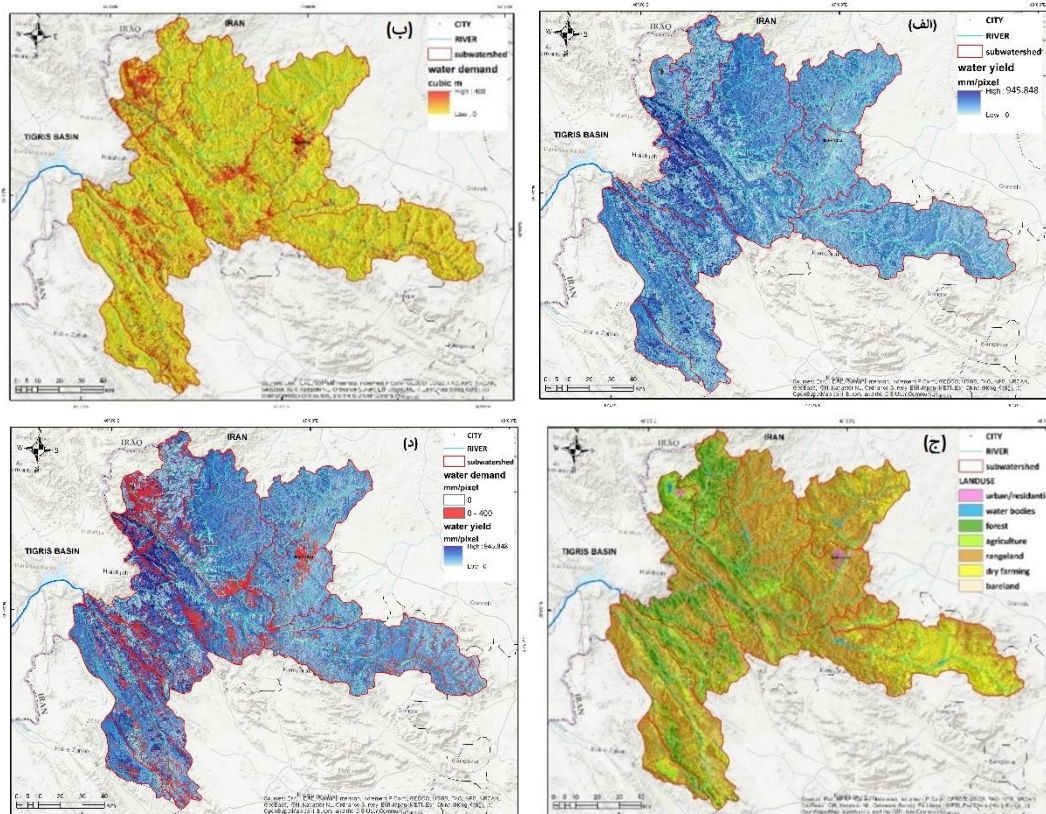
سلول (سلول یا پیکسل که واحد لایه های رستری است و هر لایه رستری از تعدادی ردیف و ستون تشکیل شده است و هر کدام از واحدها را سلول می گویند. در این تحقیق با توجه به ابعاد سلول های تصویر ماهواره ای که 30×30 متر می باشد، همه لایه های دیگر براساس این لایه تنظیم شده اند) نشان داده شده است که میزان تقاضای آب بر اساس کاربری اراضی که دربرگیرنده دو کلاس مسکونی و کشاورزی است را شامل می شود. این تقاضا بر اساس نیاز آبی اراضی تحت کشت آبی و

در شکل (۴-الف) نقشه تولید آب به تفکیک زیرحوضه براساس m^3/yr نشان داده شد. همان طور که ملاحظه می شود در ۱۱ زیرحوضه مقدار تولید آب متفاوت بوده و براساس پارامترهای مؤثر برآورد شد. نتایج نشان داده شده در این نقشه براساس کل تولید آب هر زیرحوضه است که با توجه به مساحت آن ها محاسبه شده است و به ترتیب زیرحوضه شماره پنج، ۱۱ و یک دارای بیش ترین میزان تولید آب با $906,1426$ و Mm^3/yr 631 و زیرحوضه شماره ۲ با 100 Mm^3/yr دارای کم ترین تولید آب هستند. در نقشه دوم تقاضای آب (۴-ب) بر مبنای

میزان مصرف و زیرحوضه شماره ۲ با $7 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ دارای کم-ترین میزان مصرف است. در نقشه چهارم (۴-د) میزان مازاد آب در هر زیرحوضه نشان داده شده است. براین اساس مقدار آبی که از کم کردن آب مصرفی از آب قابل تولید به دست آمده است به عنوان آب مازاد شناخته می شود که می توان بر اساس نیازهای محیط زیستی و سایر استفاده ها برای آن برنامه ریزی نمود.

مصرف شهروندان و صنایع می باشد که براساس سرانه استانی و نیاز آبی گونه های کشت شده برآورد شده است (جدول ۲).

در نقشه سوم (۴-ج)، میزان مصرف آب نشان داده است. بر اساس مصرف آب توسط بخش های مختلف کاربری اراضی و مسکونی (جدول ۲)، میزان آن در هر زیرحوضه نشان داده شده است که زیرحوضه شماره ۵ با $110 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ دارای بیش ترین



شکل ۵- نقشه تولید آب، تقاضای آب، کاربری اراضی و تولید-تقاضای آب بر مبنای سلول

Fig. 5 Map of water yield, water demand, land use and water yield/ demand based on cells

و تقاضا کم است یا عکس آن نقاطی که عرضه کم و تقاضا زیاد است، استفاده نمود و در برنامه ریزی ها لحاظ کرد. در نقشه سوم (۵-ج)، کاربری اراضی منطقه که دارای هفت طبقه است، نشان داده شده است. این کاربری ها در میزان مصرف آب و ضریب تبخیر و تعرق اثرگذار هستند. اطلاعات این لایه هم به صورت مکانی از لایه رستری که دارای کدهای مربوط به خود است و هم از جدول بیوفیزیکی و جدول تقاضا براساس کدهای آن، (میزان مصرف و ضریب تبخیر و تعرق)، گرفته می شود (جدول ۲) (شکل ۵-د). حاصل آماری سه نقشه تولید، مصرف و مازاد، در جدول (۳) نشان داده شده است. همان طور که

در شکل (۵-الف)، تولید آب را براساس سلول نشان می دهد که در هر سلول که مساحتی برابر 900 m^2 دارد، چقدر آب تولید می شود. تفاوت این نقشه رستری با تولید بر اساس زیرحوضه ها در این است که موقعیت پتانسیل تولید آب در هر نقطه ای از حوضه را نشان می دهد که می تواند جزئیات بیش-تری در برنامه ریزی منابع آب را فراهم نماید. در نقشه دوم (۵-ب)، تقاضای آب نشان داده شده است که در نقشه چهارم (۵-د) برآیند تولید و تقاضا آمده است که نشان دهنده هم پوشانی و عدم هم پوشانی این دو فاکتور تعیین کننده است. از این نقشه می توان در شناسایی نقاط داغ یا نقاطی که عرضه وجود دارد

مشاهده می‌شود، میزان مازاد با میزان تولید منهای میزان مصرف برابر است.

جدول ۳- تولید آب، مصرف آب و مازاد آب به تفکیک زیرحوضه

Table 3 water yield, water consumption and realized supply water by sub-watersheds

Sub-watershed id	Area	Water yield (million m ³ /yr)	Water yield (m ³ /pixel)	Consumption (1000m ³ /yr)	Consumption (m ³ /pixel)	Supply (1000m ³ /yr)	Supply (m ³ /pixel)	Precipitation (mm)
1	2231	632	283	76720	30	555065	252	551
2	313	101	321	7828	22	92960	298	601
3	1317	410	311	25659	17	384709	293	589
4	1018	321	314	47746	42	272847	272	642
5	3351	1426	425	110869	29	1315408	395	782
6	664	296	444	29670	40	265976	404	900
8	492	279	566	55645	101	223050	464	1042
9	779	397	508	27187	31	369778	477	923
10	922	436	472	55208	53	380419	418	870
11	1941	907	467	91285	42	815613	424	833
12	390	177	454	10185	23	167235	430	784

بررسی به صورت میانگین سالیانه و با فرمت رستری آماده شوند. ابعاد سلول آن‌ها نیز باید در کل ورودی‌ها برابر و متناسب با مقیاس منطقه مورد مطالعه باشد. یکی دیگر از ورودی‌های بسیار مهم، کاربری اراضی می‌باشد که با توجه به اینکه در تعیین مصرف آب و نهایتاً میزان تنش آبی دخیل است، باید از دقت خیلی زیادی برخوردار باشد. طبقات مهمی که در این لایه وجود دارند شامل طبقه مسکونی یا شهری و طبقه کشاورزی آبی می‌باشند که اطلاعات مصرف آب این دو طبقه باید براساس سرانه مصرف منطقه‌ای و مصرف گونه‌های درختی و گیاهی مختلف کشت شده در منطقه باشد. میزان مصرف به صورت یک جدول که برای هر کاربری یک رقم مصرفی براساس مترمکعب بر سلول در سال وارد مدل می‌شود. رقم مصرف پیچیدگی‌هایی دارد که باید براساس ابعاد سلول تصویر ماهواره‌ای که لایه کاربری از آن استخراج شده است، تعیین شود. تعیین این رقم در بخش کشاورزی آسان‌تر از بخش مسکونی است. بخش‌های غربی منطقه مورد مطالعه دارای بارش دو برابری نسبت به شرق منطقه هستند و تبخیر و تعرق در بخش جنوب غربی منطقه بیشتر از سایر مناطق است. براساس این دو پارامتر بایستی میزان تولید آب در غرب منطقه بیشتر باشد، اما با توجه به اینکه فاکتور عمق خاک در شمال غرب منطقه (زیرحوضه هشت) زیاد است، باعث پایین بودن آب تولیدی در این منطقه شده است. براساس نتایجی که از این مدل گرفته شده، مقدار $5381 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ آب می‌تواند

برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب به‌ویژه در مناطق خشک، همیشه یک چالش بزرگ بوده است. در دهه‌های اخیر و با رشد جمعیت انسان، تقاضا برای این منبع به‌طور مداوم در حال افزایش بوده است. از طرف دیگر، عوامل نظیر تغییرات اقلیمی نیز بر روی میزان عرضه این منبع تأثیر گذاشته‌اند و این شرایط را پیچیده‌تر نموده و به تبع آن منجر به بزرگ‌تر شدن چالش برنامه‌ریزی شده است. شناخت وضعیت موجود از اهمیت زیادی در امر برنامه‌ریزی برخوردار می‌باشد. از آنجا که پارامترهای زیادی در شناخت وضعیت موجود دخیل هستند، تلاش برای دستیابی به مدل‌ها و روش‌های دقیق‌تر پیوسته در جریان است. به‌کارگیری صحیح پارامترهای مذکور نیز از اهمیت زیادی برخوردار است چراکه رسیدن به نتایج درست به آن‌ها وابسته است. بخشی از روش‌ها و مدل‌های موجود به صورت مکانی یا جغرافیایی قابلیت شناخت وضعیت موجود را در اختیار کاربران قرار می‌دهند. از جمله این مدل‌ها SWAT^1 (Petpongpan et al. (2020); Brouzinyne et al. (2020);) و WEAP^2 (Gao et al. (2017) Akoko et al. (2020) مدل InVEST (Yin et al. (2020); Yang et al. (2020) که همه این مدل‌ها دارای قابلیت‌ها و محدودیت‌هایی هستند. دقت ورودی‌های هر کدام از مدل‌ها بسیار حائز اهمیت است. در مدل InVEST ، ورودی‌های بارش، تبخیر و تعرق، عمق محدودکننده ریشه، آب قابل دسترس گیاه (شکل ۳)، هر کدام پیچیدگی‌های خاص خود را دارند که باید برای سال مورد

²Water Evaluation and Planning system

¹Soil and Water Assessment Tool



مذکور استفاده کرد. تحقیقات توسط Rahimi et al (2020). خدمت بوم‌سازگان تولید آب را برای تالاب شادگان ارزیابی کرده است که میزان تولید سالیانه $26 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ بود. Chacko et al. (2019)، برای حوضه Periyar Tiger در هند حجم $2 \times 10^3 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ را برآورد کردند. Yin et al. (2020) برای پنج حوضه در شمال چین مقادیر 17×10^3 ، 6×10^3 ، 6×10^3 و $4 \times 10^3 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ تولید آب را با مدل InVEST برآورد کردند. براساس نتایج تولید و تقاضای هر زیرحوضه می‌توان به وضعیت این منبع استراتژیک پی برد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به‌منظور برآورد دقیق و برنامه‌ریزی منابع آب حوضه آبریز سیروان واقع در مرزهای غربی کشور، همچنین شناسایی مناطق عرضه‌کننده و مصرف‌کننده و درنهایت برآورد کمبود یا مازاد این منبع استراتژیک با استفاده از تکنیک‌های فضایی و مدل‌سازی بهره گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان داد:

۱- مدل‌سازی عرضه و تقاضای خدمات بوم‌سازگان (تولید آب)، در حوضه آبریز سیروان بر اساس مدل InVEST برابر $5381 \text{ Mm}^3/\text{yr}$ است که مجموع تولید آب در ۱۱ زیرحوضه است.

۲- همچنین بر اساس این مدل‌سازی، بیش‌ترین مقدار تولید آب در زیرحوضه‌های ۵، ۱۱ و ۱ و کم‌ترین میزان تولید در زیرحوضه شماره ۲ است و بیش‌ترین میزان مصرف آب در زیرحوضه شماره ۵ و کم‌ترین در زیرحوضه شماره ۷ است.

۳- با مقایسه میزان تولید و مصرف آب در هر زیرحوضه و براساس مساحت آن‌ها، مشخص شد که بیش‌ترین میزان تنش آبی در زیرحوضه ۴ است.

۴- با استفاده از این مدل و نتایج آن می‌توان در راستای حل مشکلات مدیریت منابع آب و شناخت مناطق دارای تنش آبی بهره گرفت و در برنامه‌ریزی‌های منابع آب و محیط‌زیست از آن استفاده کرد.

از محدودیت‌های استفاده از این مدل، دسترسی به داده‌های مناسب است. برای ادامه روند پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌-

در این حوضه با مساحت 13400 km^2 تولید شود که حاصل مجموعه عوامل اقلیمی (بارش، تبخیر و تعرق و ضریب تبخیر و تعرق) و زمینی (عمق خاک، مقدار آب در دسترس گیاه، عمق محدودکننده ریشه و کاربری اراضی) است. کاربری اراضی شامل $1/42$ اراضی ساخته‌شده، $0/45$ بدنه‌های آبی، $12/41$ اراضی جنگلی، $15/61$ کشاورزی، $52/14$ مرتع، $14/65$ اراضی کشاورزی دیم و $3/22$ اراضی بایر است. در این حوضه، تعداد ۱۱ زیرحوضه وجود دارد که نتایج در سطح آن‌ها نیز بررسی شده است. براین‌اساس، برنامه‌ریزی برای استفاده از منابع آب به‌عنوان یک منبع طبیعی و خدمتی که بوم‌ساز در اختیار انسان قرار می‌دهد، فراهم می‌شود. زیرحوضه‌های شماره ۵، ۱۱ و ۱ دارای بیش‌ترین پتانسیل تولید آب در این حوضه بوده که دارای بیش‌ترین آب مازاد نیز هستند. این زیرحوضه‌ها دارای بیش‌ترین مساحت در میان زیرحوضه‌ها هستند؛ بنابراین از نظر تولید مطلق در رتبه اول تا سوم قرارگرفته‌اند؛ اما بر اساس نقشه رستری تولید زیرحوضه‌های ۹، ۸ و ۱۰ با 566 ، 508 و $472 \text{ m}^3/\text{pixel}$ دارای بیش‌ترین تولید آب نقطه‌ای هستند. در این تولید مساحت حوضه اثر ندارد و بر مبنای پارامترهای اقلیمی است. از نظر میزان مصرف در سطح زیرحوضه‌ها، زیرحوضه‌های ۵، ۱۱ و ۱ با توجه به مساحت آن‌ها دارای بیش‌ترین مصرف هستند و زیرحوضه‌های ۸، ۱۰ و ۴ دارای بیش‌ترین میزان مصرف هستند که به نوع کاربری آن‌ها برمی‌گردد. در زیرحوضه ۸، شهر مریوان و زمین‌های کشاورزی واقع‌شده است. در زیرحوضه ۱۰، شهر جوانرود و زمین‌های کشاورزی قرارگرفته است و در زیرحوضه ۴ شهر سنندج واقع‌شده است. از نظر وسعت و جمعیت، شهر سنندج از مریوان و جوانرود بزرگ‌تر است و دلیل اینکه میزان مصرف زیرحوضه ۴ در رده سوم قرارگرفته است، وجود زمین‌های زراعی آبی بیش‌تر در زیرحوضه‌های ۱۰ و ۸ است. مازاد آب وقتی با توجه به مساحت زیرحوضه‌ها بررسی شود همانند میزان تولید و مصرف در زیرحوضه‌های ۵، ۱۱ و ۱ دارای بیش‌ترین مازاد آب هستند اما در مقیاس سلولی، زیرحوضه‌های ۹، ۱۵ و ۵ دارای بیش‌ترین مازاد هستند که به تولید و مصرف بدون توجه به مساحت زیرحوضه‌ها برمی‌گردد؛ بنابراین، قابلیت برنامه‌ریزی و استفاده از این آب مازاد در زمینه‌های کشاورزی و صنعت وجود دارد و با توجه به وضعیت اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی منطقه، می‌توان از این ظرفیت در راستای رفع مشکلات منطقه



سپاسگزاری

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به دلیل حمایت مالی از این پژوهش تقدیر و تشکر می‌نماید.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال است.

گردد که روند تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های اقلیمی، در گذشته مورد مدل سازی و بررسی قرار گیرد و وضعیت این منبع استراتژیک و تغییرات آن در آینده نیز پیش‌بینی شود.

References

- Akoko, G., Kato, T. and Tu, L. H. (2020). Evaluation of irrigation water resources availability and climate change impacts—A Case Study of Mwea Irrigation Scheme, Kenya. *Water*, 12, 2330.
- Bonan, G. (2015). *Ecological Climatology: Concepts and Applications*; Cambridge University Press: Cambridge, UK. 68pp.
- Brauman, K. A. (2015). Hydrologic ecosystem services: Linking ecohydrologic processes to human well-being in water research and watershed management. *Water*, 2, 345–358.
- Brisbane Declaration. (2007). The Brisbane Declaration: Environmental flows are essential for freshwater ecosystem health and human well-being. In 10th International River Symposium, Brisbane, 3-6.
- Brouziyne, Y., Abouabdillah, A., Chehbouni, A., Hanich, L., Bergaoui, K., McDonnell, R. and Benaabidate, L. (2020). Assessing hydrological vulnerability to future droughts in a mediterranean watershed: combined indices-based and distributed modeling approaches. *Water*, 12, 2333.
- Brown, C. M., Lund, J. R., Cai, X., Reed, P. M., Zagana, E. A., Ostfeld, A., Hall, J., Characklis, G. W., Yu, W. and Brekke, L. (2015). The future of water resources systems analysis: Toward a scientific framework for sustainable water management. *Water Resour. Res.* 51 (8), 6110–6124. doi.org/10.1002/2015WR017114.
- Canqiang, Z., Wenhua, L., Biao, Z. and Moucheng, L. (2012). Water yield of Xitiaoxi River Basin based on INVEST modeling. *J. Resour. Ecol.*, 3(1), 50-54. DOI:10.5814/j.issn.1674764x.2012.01.008.
- Chen, Y., Wang, K., Lin, Y., Shi, W., Song, Y. and He, X. (2015). Balancing green and grain trade. *Nat. Geosci.* 8, 739–741.
- Coe, M. T. and Foley J. A. (2001), Human and natural impacts on the water resources of the Lake Chad basin, *J. Geophys. Res.* 106(D4), 3349–3356.
- De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. and Willemen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecol. Complex.*, 7(3), 260-272. doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006.
- Donohue, R. J., Roderick, M. L. and McVicar, T. R. (2012). Roots, storms and soil pores: Incorporating key ecohydrological processes into Budyko's hydrological model. *J. Hydrol.*, 436, 35-50. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.033.
- Emamifar, S., Davari, K., Ansari, H., Ghahraman, B., Hosseini, S., Nasser, M. (2016). Uncertainty assessment DWB model by using GLUE method (Case study: Andrabi and Farvbrman catchments). *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 6(1), 125-143.
- Furat, A. M., Al-Faraj. and Scholz, M. (2015). Impact of upstream anthropogenic river regulation on downstream water availability in transboundary river watersheds. *Int. J. Wat Resour. Develop.*, 31(1), 28-49, DOI: 10.1080/07900627.2014.924395.
- Gheewala, S., Silalertusksa, T., Nilsalab, P., Mungkung, R., Perret, S. R. and Chaiyawannakarn N. (2014). Water footprint and impact of water consumption for food, feed, fuel crops production in Thailand. *Water*, 6, 1698–1718.



- Haiping, L., Yanan, Q. and Yunying, Q. (2018). Use a spatial analysis model to assess habitat quality in Lashihai watershed. *J. Resour. Ecol.*, 9(6), 622–632.
- Hu, W., Li, G., Gao, Z., Jia, G., Wang, Z. and Li, Y. (2020). Assessment of the impact of the Poplar Ecological Retreat Project on water conservation in the Dongting Lake wetland region using the InVEST model. *Sci. Tot. Environ.*, 733, 139423. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139423.
- Jewitt, G. (2020). Can integrated water resources management sustain the provision of ecosystem goods and services? *Phys. Chem. Earth*, 27, 887–895.
- Gao J., Christensen, P. and Li, W. (2017). Application of the WEAP model in strategic environmental assessment: Experiences from a case study in an arid/semi-arid area in China. *J. Environ. Manag.*, 198, 363–371. doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.068.
- Kindu, M., Schneider, T., Teketay, D. and Knoke, T. (2016). Changes of ecosystem service values in response to land use/land cover dynamics in Munessa– Shashemene landscape of the Ethiopian highlands. *Sci. Tot. Environ.*, 547, 137–147. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.127.
- Landell-Mills, N. and Porras, I. (2002). Silver bullets or fools' gold? a global review of markets for forest environmental services and their impact on the poor. International Institute for Environment and Development, London, UK.
- Lang, Y., Song, W., and Deng, X. (2017). Projected land use changes impacts on water yields in the karst mountain areas of China. *Phys. Chem. Ear.*, 104, 66–75. DOI:10.1016/j.pce.2017.11.001.
- Li, Y., Piao, S., Li, L. Z. X., Chen, A., Wang, X., Ciais, P., Huang, L., Lian, X., Peng, S. and Zeng, Z. (2018). Divergent hydrological response to large-scale afforestation and vegetation greening in China. *Sci. Adv.*, 4(5), eaar4182.
- Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood, E. F. and Burges, S. J. (1994). A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. *J. Geoph. Res. Atm.*, 99(14), 14415–14428. DOI: 10.1029/94JD00483.
- Lu, N., Sun, G., Feng, X. M., and Fu, B. J. (2013). Water yield responses to climate change and variability across the North-South Transect of Eastern China (NSTEC). *J. Hydrol.*, 481, 96–105.
- Lalika, M. C. S., Meire, P., Ngaga, Y. M. and Chang'a, L. (2015). Understanding watershed dynamics and impacts of climate change and variability in the Pangani River Basin, Tanzania, *Ecohydrol. Hydrobio.*, 15, 26–38. doi.org/10.1016/j.ecohyd.2014.11.002.
- 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.
- Ndiaye, P.M., Bodian, A., Diop, L., Deme, A., Dezetter, A., Djaman, K., Ogilvie, A. 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
- Nilsson, C., Reidy, C. A., Dynesius, M. and Revenga C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the World's large river systems. *Sci.*, 308, 405–408. doi:10.1126/science.1107887.
- Pessacg, N., Flaherty, S., Brandizi, L., Solman, S. and Pascual, M. (2015). Getting water right: A case study in water yield modelling based on precipitation data. *Sci. Tot. Environ.*, 537, 225–234. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.148.
- Petpongpan, C., Ekkawatpanit, C. and Kositgittiwong, D. (2020). Climate Change Impact on Surface Water and Groundwater Recharge in Northern Thailand. *Water*, 12, 1029.
- Yariyan, P., Avand, M., Abbaspour, R. A., Karami, M. and Tiefenbachere, J. P. (2020). GIS-based spatial modeling of snow avalanches using four novel ensemble models. *Sci. Tot. Environ.*, 745(25), 141008. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141008.



- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J., Zhou, L., Liu, H., Ma, Y. and Ding, Y. (2010). The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nat.*, 467, 43–51.
- Rahimi, L., Malekmohammadi, B. and Yavari, A. R. (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).
- Redhead, J. W., Stratford, C., Sharps, K., Jones, L., Ziv, G., Clarke, D., Oliver, T. H., Bullock, J. M. (2016). Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale. *Sci. Tot. Environ.*, 569–570, 1418–1426.
- Sallustio, L., De Toni, A., Strollo, A., Di Febbraro, M., Gissi, E., Casella, L., Geneletti, D., Munafò, M., Vizzarri M. and Marchetti M. (2017). Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy. *J. Environ. Manage.*, 201, 129–137.
- Schaller, J., Cramer, A., Carminati, A. and Zarebandkouki M. (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>
- Sharp, R., Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A. and 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.
- Sharp, R., Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N. and Vigerstol, K. (2014). InVEST user's guide. The Natural Capital Project. Stanford. 161pp.
- Shrestha, M., Leigh, L. and Helder, D. (2018). Classification of north Africa for use as an extended pseudo invariant calibration sites (EPICS) for radiometric calibration and stability monitoring of optical satellite sensors. *Remote Sens.*, 11, 875.
- Solanes, M. and Gonzales-Villareal, F. (1999). The Dublin principles for water as reflected in a comparative assessment of institutional and legal arrangements for integrated water resources management. Global water partnership technical advisory committee Background Paper No. 3 48 pp.
- Tao, J. I. N., Xiaoyu Q. and Liyan, H. (2016). Changes in grain production and the optimal spatial allocation of water resources in China. *J. Resour. Ecol.*, 7(1), 28–35. DOI: 10.5814/j.issn.1674-764X.2016.01.004.
- Yang, X., Chen, R., Meadows, M. E., Ji, G. and Xu J. (2020). Modelling water yield with the InVEST model in a data scarce region of northwest China. *Water Suppl.*, 20(3), 1035–1045. [doi: https://doi.org/10.2166/ws.2020.026](https://doi.org/10.2166/ws.2020.026)
- Xu, X., Liu, W., Scanlon, B. R., Zhang, L. and Pan, M. (2013). Local and global factors controlling water-energy balances within the Budyko framework. *Geophys. Res. Lett.*, 40(23), 6123–6129. [doi:10.1002/2013GL058324](https://doi.org/10.1002/2013GL058324), 2013.
- Yang, D., Liu, W., Tang, L., Chen, L., Li, X. and Xu, X. (2019). Estimation of water provision service for monsoon catchments of South China: Applicability of the InVEST model, *Landscape Urban Plan.*, 182, 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.011>.
- Ye, L. and Grimm, N. B. (2013). Modelling potential impacts of climate change on water and nitrate export from a mid-sized, semiarid watershed in the US Southwest. *Climatic Change*, 120(1–2), 419–431.
- Yin, G., Wang, X., Zhang, X., Fu, Y., Hao, F. and Hu, Q. (2020). InVEST model-based estimation of water yield in north China and its sensitivities to climate variables. *Water*, 12, 1692.
- Zhang, L., Hickel, K., Dawes, W. R., Chiew, F. H., Western, A. W. and Briggs, P. R. (2004). A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration. *Water Resour. Res.*, 40(2), W02502. <https://doi.org/10.1029/2003WR002710>.
- Zhang, L., Cheng, L., Chiew, F. and Fu, B. (2018). Understanding the impacts of climate and landuse change on water yield. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 33, 167–174.



Research Paper

Water Resources Supply and Demand Modeling using the Concept of Ecosystem Services in Sirvan Transboundary Basin**Jahanbakhsh balist¹, Bahram Malekmohammadi^{2*}, Hamid Reza Jafari³, Ahmad Nohegar³**¹Ph.D. Scholar, Department of Environment, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran²Assoc. Professor, Department of Environment, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran³Professor, Department of Environment, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran***Corresponding author:** malekb@ut.ac.ir**Received:** December 19, 2020**Revised:** February 28, 2021**Accepted:** March 17, 2021**Abstract**

Water resources have always been a limiting factor in environmental planning. Understanding the status of this critical resource can have a significant impact on proper land use planning. This study aimed to estimate the water supply and demand as an ecosystem service and to identify areas with water stress in the Sirvan transboundary basin. This goal could be achieved using the concept of ecosystem services, which is new thinking in the earth sciences, and using geographical, climatic data, and satellite images. After relative corrections, Landsat satellite images for 2019 were prepared, and the LULC map was produced. Then precipitation, evapotranspiration, and root depth layers were created. The latest inputs, including the Evapotranspiration coefficients of the land cover and related tables, were prepared and modeled in the InVEST 3.8.9 software environment. The results showed that the amount of water yield in this watershed is 5,381 million m³/yr, where the sub-basin 5, 11, and 1 have the highest water yield with 1426, 906, and 621 million m³/yr. and sub-basin 2 with 100 million m³/yr have the lowest water yield. The sub-basin 5 with 110 million m³/yr has the highest consumption, and the sub-basin 2 with 7 Mm³/yr has the lowest consumption. Sub-basin 4, where the city of Sanandaj is located, has the highest water stress.

Keywords: Ecosystem Services; InVEST; Land Use Planning; Sirvan Watershed; Water Resources.