مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۲ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

صفحه‌های ۱۹۹-۱۸۷

DOI: 10.22059/jwim.2022.323091.868

مقاله پژوهشی:

رویکرد حسابداری آب +WA در تحلیل منابع و مصارف منابع آب و بیلان هیدروکلیماتولوژی (منطقه موردمطالعه: حوضه آبریز پلاسجان)

زهرا رحیم‌زاده کیوی[۱]، سامان جوادی[۲*]، نعمت کریمی[۳]، سید مهدی هاشمی شاهدانی[۲]، حمید کاردان مقدم[۳]

۱. دانشجوی دکتری منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۶

چکیده

حسابداری آب به‌عنوان یکی از رویکردهای مهم جهت تدوین چرخه آب و تغییرات کمی در ابعاد مختلف است. بنابراین چارچوبی که بتواند چرخه هیدرولوژیکی را به‌صورت استاندارد کمی کند و هم‌چنین چارچوبی که فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه را به نحوی برآورد کند که جریان‌های مدیریت‌شده و قابل مدیریت، تعامل با کاربری اراضی را در برگیرد ضروری است. چارچوب +WA به‌عنوان یکی از روش‌های حسابداری آب با استفاده از سنجش از دور، ارزیابی پارامترهای مختلف را در سطح یک حوضه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. این مطالعه با هدف آنالیز پارامترهای بیلان هیدروکلیماتولوژی با استفاده از چارچوب +WA محاسبه کاربرگ‌های سه‌گانه منابع پایه، تبخیرو تعرق و برداشت منابع آب را موردبررسی قرار داد. با توجه به حجم جریان ورودی ۶۰۴ MCM مشخص شد که ۴۶۵/۵ MCM صرف تبخیروتعرق شده و با توجه به جریانات برگشتی منطقه، میزان ۳۸/۸ MCM صرف نفوذ و ۵۹/۷ MCM صرف رواناب منطقه می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از بیلان هیدروکلیماتولوژی با استفاده از چارچوب +WA نشان داد که با توجه به یکسان درنظرگرفتن میزان بارش، میزان تبخیروتعرق در این چارچوب نسبت به روش محاسباتی افزایش داشته و حدود ۷۴ درصد حجم خروجی از بیلان را تشکیل می‌دهد. میزان نفوذ و رواناب به‌دست‌آمده در این شرایط نسبت به روش محاسباتی کاهش دارد. نتایج به‌دست‌آمده از چارچوب حسابداری آب نشان داد که می‌توان با این رویکرد میزان عدم قطعیت پارامترهای ورودی به بیلان هیدروکلیماتولوژی را کاهش داد.

کلیدواژه‌ها: بیلان هیدروکلیماتولوژی، حسابداری آب، عدم قطعیت، کاربرگ.

WA + water accounting approach in the analysis of supply and demand of water resources and hydro-climatology balance (Case study: Plasjan basin)

Zahra Rahimzadeh[1], Saman Javadi[2*], Nemat Karimi[3], S. Mehdy Hashemi Shahedani[2], Hamid Kardan Moghaddam[3]

1. Ph.D. Student in Water Resources, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Abu Reihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Abu Reihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Water Research Institute of the Ministry of Energy, Tehran, Iran.

Received: May 03, 2021 Accepted: January 06, 2022

Abstract

Water accounting is one of the important approaches to formulate the water cycle and quantitative changes in various dimensions. Therefore, a framework that can quantify the hydrological cycle as standard, as well as a framework that estimates the hydrological processes of the basin in such a way that managed and manageable flows include land use interaction are essential. WA + framework as one of the water accounting methods using remote sensing analyzes the various parameters at the level of a basin. The aim of this study was to analyze the parameters of the hydro-climatological balance using the WA + framework to calculate the three sheets of resource base, evapotranspiration and withdrawal of water resources. According to the volume of 604 MCM inflow, it was determined that 465.5 MCM is used for evapotranspiration and according to the return flow of the basin, 38.8 MCM is used for infiltration and 59.7 MCM is used for runoff in the region. The results obtained from the hydro-climatological balance using the WA + framework showed that due to the same consideration of precipitation, the rate of evapotranspiration in this framework increases compared to the computational method and constitutes about 74% of the output volume of the balance. The amount of infiltration and runoff obtained in these conditions is less than the computational method. The results obtained from the water accounting framework showed that this approach can reduce the uncertainty of the input parameters to the hydro-climatology balance.

Keywords: Hydro-climatological balance, Sheets, Uncertainty, WA+.

* نویسنده مسئول Email: Javadis@ut.ac.ir

مقدمه

در راستای حفظ و توسعه پایدار منابع آب، نیاز به مدیریت بهینه این منابع وجود دارد. در این راستا، ارزیابی صحیح از منابع آب موجود و در دسترس و مصارف آن یکی از گام‌های مهم در راستای مدیریت منابع آب است (FAO, 2012). عدم شناخت مناسب از وضعیت منابع و مصارف آب، پیش‌بینی وضعیت منطقه را غیرممکن ساخته و میزان عدم قطعیت تصمیم گیری را افزایش می‌دهد. در این راستا به دلیل افزایش روزافزون جمعیت نیاز به تأمین منابع آب از حساسیت بالایی برخوردار است که ارزیابی کمی و محاسبات بیلان حوضه‌های آبریز، جهت نگرش سیستمی به این موضوع حائز اهمیت است. بیلان منابع آب با توجه به تنوع مکانی و زمانی فرایندهای هیدرولوژیکی، همواره با عدم قطعیت پارامترها همراه بوده و یکی از ابعاد این عدم قطعیت مربوط به متغیرهای ورودی است (Guerschman *et al*., 2009). لذا شناخت و ارزیابی مناسب متغیرهای ورودی در چرخه بیلان آب می‌تواند میزان عدم قطعیت نتایج بیلان را بهبود بخشد.

در حال حاضر ماهیت سیستم آماربرداری از منابع آب در کشور، آماربرداری هر پنج‌سال یکبار است. مطالعات انجام‌شده در این خصوص نشان می‌دهد که روند زمانی آماربرداری مطابق با استانداردهای روز دنیا است (Ministry of Power, 2020). اما با توجه به مشکلات اقتصادی در تأمین اعتبارات این بخش معمولاً این عملیات زمانبر (دو تا سه سال) بوده که این موضوع تبعات عدم درنظرگیری شرایط اقلیمی در سال‌های مختلف را با توجه به بهره‌برداری‌های مختلف نشان می‌دهد. لذا میزان عدم قطعیت متغیرهای برداشت آب زیاد است. از طرفی یکی از پارامترهای مهم در ارتباط با برداشت آب، میزان جریانات برگشتی است که عملاً اندازه‌گیری دقیقی برای محاسبه آن انجام نمی‌شود و معمولاً براساس تعریف یک ضریب برای هر نوع مصرف تعیین می‌گردد (Moazzenzadeh *et al*., 2013).

یکی از رویکردهای نوین در جهت کاهش عدم قطعیت متغیرهای بیلان منابع آب، استفاده از داده‌های سنجش از دور برای تخمین با دقت قابل قبول برخی متغیرها در سطح یک حوضه آبریز است (Dembélé *et al*., 2018). براین اساس استفاده از چارچوبی که بتواند درک روشنی از فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه داشته باشد وجریان‌های قابل کنترل و کنترل‌نشده آب، تعامل با کاربری اراضی و فرصت‌ها برای کاهش اثرات منفی و افزایش مزایای کمبود آب در جامعه را در برگیرد ضروری است (Kardan moghadam *et al*., 2020). چارچوب حسابداری آب با مطالعه سیستماتیک وضعیت فعلی و روند تأمین آب، تقاضا، دسترسی و مصرف می‌تواند به‌عنوان یک چارچوب مناسب در این راستا باشد (Delavar *et al*., 2020). یکی از انواع چارچوب‌های حسابداری آب با این هدف، سیستم حسابداری آب به‌علاوه WA+ است. Karimi *et al*. (2013) با توسعه سیستم حسابداری IWMI، سیستم WA+ را ارائه دادند که نسبت به IWMI جزئیات بیش‌تری را به همراه دارد. Dembele *et al*. (2018) مدیریت آب در حوضه Volta، را با استفاده از رویکرد WA+ موردبررسی قرار دادند. در این مطالعه با استفاده از شاخص‌های ارزیابی برای بخش‌های آب در دسترس، آب مصرف‌شده، آب قابل مصرف، آب مدیریت شده، آب قابل مدیریت، آب مفید یا غیر مفید و مصرفی یا غیر مصرفی تحلیل انجام گرفت. براین اساس ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر وضعیت منابع آب سنجیده شد. Delavar *et al*. (2020) پیوند حسابداری آب به‌علاوه را با مدل هیدرولوژیکی (SWAT) برای

تقویت چارچوب +WA و ارزیابی استراتژی‌های مدیریت آب از طریق یک چارچوب یکپارچه در منطقه طشک بختگان موردبررسی قرار دادند. نتایج حاصل از مدل تلفیقی SWAT-FARS نشان داد که میزان آب قابل مدیریت در حوضه ۲۳درصد کاهش یافته و میزان تبخیرتعرق نیز به مقدار ۵۳ درصد افزایش داشته است. بنابراین برای کاهش فشار بر حوضه، حذف کشت برنج و بهبود آبیاری تحت فشار به‌عنوان راه‌کار سازگاری پیشنهاد شده است. با توجه به نیازسنجی پژوهش موردنظر چارچوب حسابداری آب به‌علاوه Water Accounting Plus) معرفی شد.

رویکرد نوین حسابداری آب برای محاسبه متغیرهای بیلان منابع آب و ارزیابی آن‌ها برای اولین بار در کشور با درنظرگرفتن بخش‌های مختلف سیستم منابع آب و مصارف مورد ارزیابی قرار گرفته است. اهمیت استفاده از این چارچوب با توجه به مشکلات موجود در محاسبه مؤلفه‌های بیلان و معضلات آماربرداری سراسری به‌عنوان هدف اصلی این پژوهش مطرح است. با توجه به استفاده این رویکرد از محصولات تصاویر ماهواره‌ای، می‌توان از سیستم حسابداری +WA در حوضه‌های بدون آماربرداری نیز جهت ارزیابی میزان برداشت آب و تدقیق میزان آب برگشتی مصارف استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

روش پژوهش

به‌منظور محاسبه کاربرگ‌های چارچوب حسابداری آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پارامترهای تبخیر، تعرق و برگاب در سطح منطقه در کاربری‌های مختلف حوضه استخراج و آنالیز می‌شود. کاربری‌های اراضی منطقه براساس استاندارد تعریف‌شده در منطقه در چهار کلاس تقسیم‌بندی می‌شود. براساس میزان جریانات ورودی و خروجی در منطقه کاربرگ اول که مربوط به منابع و مصارف آب است تحلیل می‌شود. میزان تبخیر و تعرق و مصارف آب در قالب دو بخش آب سبز و آبی تفکیک می‌شود. پس از ارزیابی کاربرگ اول، تفکیک تبخیر از تعرق و میزان مصارف مفید و غیرمفید در حوضه تعیین می‌شود. در نهایت به‌منظور تعیین میزان بهره‌وری در کاربرگ سوم، براساس عملکرد محصولات در اراضی دیم و آبی و سطح زیرکشت براساس میزان تبخیر و تعرق تحلیل و آنالیز می‌شود. با توجه به نتایج آماربرداری سراسری مرحله سوم، کاربرگ مصارف آب با توجه به تفکیک مصارف طبقه‌بندی شده و با توجه به تبخیروتعرق مصرفی در منطقه، میزان آب برگشتی محاسبه می‌شود. با توجه به هدف این پژوهش، کاربرگ بهره‌وری آب (کاربرگ سوم) در این مقاله محاسبه و ارائه نشده است. در شکل (۱) روش پژوهش به‌صورت گام به گام نشان داده شده است.

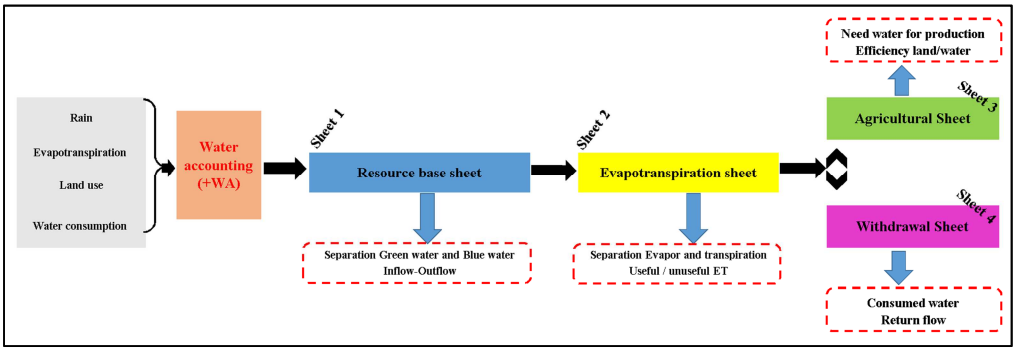


Figure 1. Flowchart of this study

چارچوب حسابداری آب به‌علاوه (+WA)

چارچوب حسابداری آب که توسط سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد و بانک توسعه آسیا به‌طور فزاینده‌ای مورد استفاده و پشتیبانی قرار می‌گیرد +WA (Water Accounting Plus) نامیده می‌شود (Bastiaanssen *et al*., 2007). این چارچوب تا حد زیادی از کار پیشگامانه حسابداری آب انجام‌شده توسط Molden الهام گرفته شده است، که از روش بیلان آب برای طبقه‌بندی ورودی و خروجی توسط کاربرگ‌های مختلف برای ارائه اطلاعات در مورد مقدار آب تخلیه‌شده توسط کاربری‌های اراضی مختلف در چارچوب +WA به‌گونه‌ای طراحی شده است که به‌طور عمده با سنجش از دور مدیریت محلی آب و روش‌های کشاورزی برای ارزیابی در دسترس‌بودن آب و مصرف آب در انواع کاربری‌های اراضی استفاده می‌شود. چهار کاربرگ مورد استفاده در این پژوهش به اختصار در جدول (۱) آورده شده است.

الف) کاربرگ منابع پایه شامل اطلاعاتی در مورد حجم آب از جمله ورودی و خروجی و نحوه مصرف آب و فرایندهای آن است.

ب) کاربرگ تبخیر و تعرق اطلاعاتی در مورد شرایط تبخیر و تعرق در حوضه فراهم می‌کند و نشان می‌دهد که کدام قسمت از فرایندهای تبخیروتعرق قابل مدیریت هستند (یعنی تبخیر و تعرق از اراضی اصلاح‌شده (دیم) و محصولات مسکونی، آبیاری، مخازن) و یا غیرقابل مدیریت (یعنی تبخیر و تعرق از کاربری محافظت‌شده شامل زمین‌های بوته‌ای، جنگل‌ها، یخچال‌های طبیعی، تالاب‌ها، چمنزارهای طبیعی).

ج) کاربرگ برداشت آب اطلاعاتی در مورد چگونگی جریان آب در زمین‌های آب مدیریت‌شده از جمله برداشت آب (به‌عنوان مثال مقدار آب مورداستفاده) از منابع آب سطحی و زیرزمینی برای آبیاری، مقدار آب مصرفی، تلفات آب و جریان‌های برگشتی ارائه می‌شود. جریان برگشتی آب غیرمصرفی است، یعنی تفاوت بین آب مورد استفاده و آب مصرف‌شده به‌عنوان مثال رواناب سطحی و نفوذ عمیق. آب غیرمصرفی هم شامل اجزای قابل بازیابی و هم غیر قابل بازیابی است.

در جدول (۲) متغیرهای اساسی در چارچوب+WA در کاربرگ‌های مختلف بیان شده است.

Table 1. Introducing WA + Framework sheets (Karimi *et al*., 2013)

Sheets	Targets	Hydrological processes
Resource base	It has an overview of exploitable water resources, manageable and unmanageable water, utilizable and non-utilizable water. Rainfall evapotranspiration and incremental evapotranspiration due to human activities is determined. This sheet shows the quantification of the hydrological cycle.	Precipitation - Evapotranspiration – Run off – Net inflow
Evapotranspiration	Calculation of evapotranspiration according to different land uses, division of beneficial non-beneficial uses, and division of beneficial consumption into agriculture, ecosystem and economy are the objectives of this sheet.	Evapotranspiration from the surface of soil and water, transpiration and interception
Withdrawal	Food Security - Allocation of irrigation water, reduction or development of irrigation lands, land use improvement, cultivation systems are the goals of this sheet.	Withdrawal, Consumption, Drainage, Return flow, Recharge, Water quality reduction

Table 2. Basic components in the WA+ framework

Sheets	Inflow	Outflow
Resource base	Precipitation Discharge flows Transitional flows between basins Recharge flows	Green water Evapotranspiration from Blue water Utilizable outflow Committed outflow Environmental flows Non utilizable flows Inter basin flow Groundwater flow
Evapotranspiration	Evapotranspiration Evaporation Transpiration Interception	Separation of beneficial and non-beneficial consumption
Withdrawal	Surface and groundwater withdrawal	Return flow Incremental ET

منطقه موردمطالعه

حوضه آبریز سد زاینده‌رود از دو بخش شمالی و جنوبی که تأمین‌کننده جریانات ورودی به سد است، تشکیل شده است. حوضه زاینده‌رود بخش ابتدایی حوضه آبریز درجه دو گاوخونی بوده که بیش‌تر حجم آب حوضه از این منطقه تأمین می‌شود. علاوه بر رواناب سطحی منطقه، تونل‌های انتقال آب از حوضه آبریز کارون نیز در تأمین آب این منطقه مؤثر است. بخش شمالی این حوضه، حوضه آبریز درجه پنج پلاسجان با مساحت ۱۸۵٤ کیلومترمربع است. سه محدوده مطالعاتی دامنه‌داران، چهل‌خانه و بوئین- میاندشت در آن قرار دارد. بهره‌برداری از منابع آب این حوضه از طریق بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و برداشت از رودخانه از طریق موتورپمپ‌ها انجام می‌شود. بررسی وضعیت بیلان منابع آب منطقه حاکی از وضعیت کسری مخزن منابع آب زیرزمینی است. این حوضه در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری شهر اصفهان قرار دارد. در شکل (۲) موقعیت حوضه آبریز پلاسجان نشان داده شده است.

بررسی وضعیت منابع آب در این حوضه نشان می‌دهد که ۲۱۸ میلیون‌مترمکعب آب مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد که از این حجم ۱۷۷ میلیون‌مترمکعب از منابع آب زیرزمینی و ٤۱ میلیون‌مترمکعب از منابع آب سطحی برداشت می‌شود. بیش‌تر مصارف آب در این حوضه در بخش کشاورزی بوده و حجم کم‌تر از ۱۰ میلیون‌مترمکعب برای مصارف شرب و صنعت مصرف می‌شود. بخش مرکزی این منطقه تحت تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بوده که در جدول (۳) تقسیم‌بندی اراضی از نظر کاربری نمایش داده شده است.

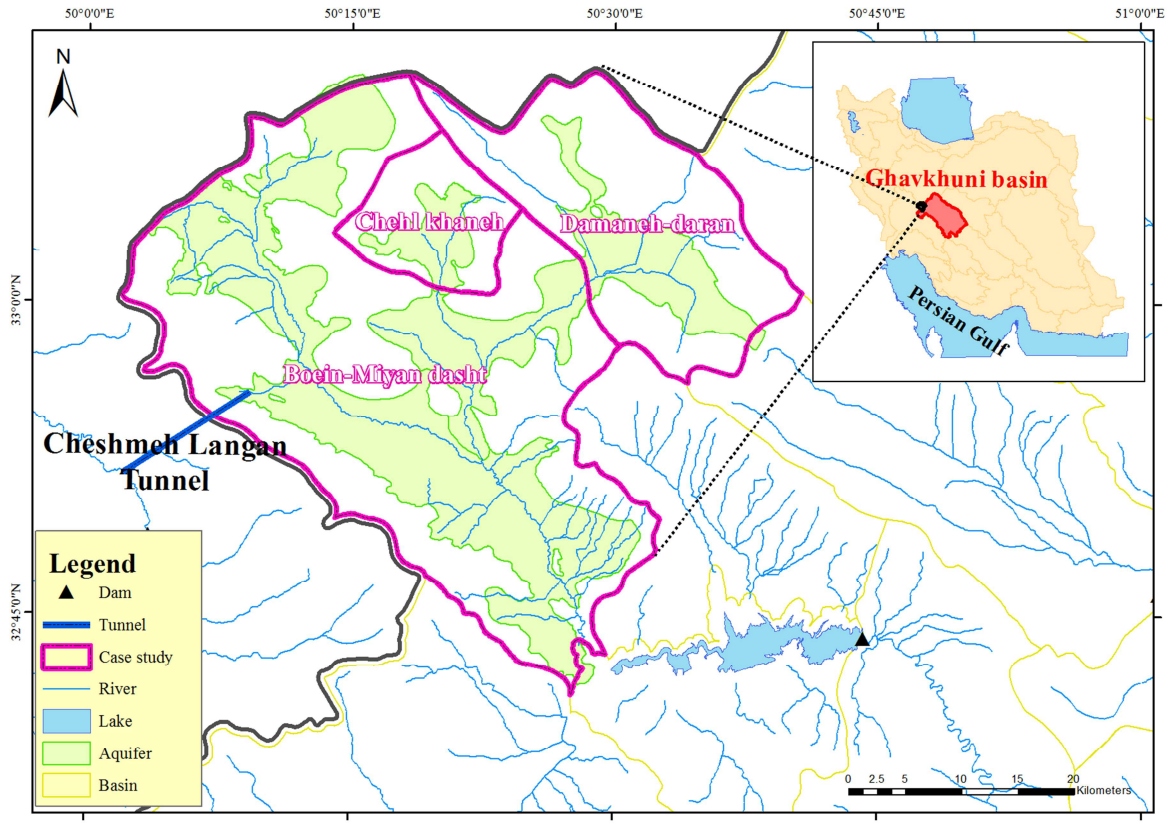


Figure 2. Geographical location of the study area

Table 3. Landuse classification

Land use	Class	Area-km^2	%	Land use	Class	Area-km^2	%
Bareland	ULU	28.3	1.6	DryFarming	MLU	313	17.8
Wetland	ULU	2.9	0.2	Fallow-Agri	MLU	63.8	3.6
Orchards	ULU	2.1	0.1	Orchard-Dry	MLU	23.2	1.3
Rangeland	ULU	912.4	52.0	Spring-Agri	MWU	144.3	8.2
City	MWU	30.8	1.8	Fall-Agri	MWU	170.3	9.7
Water	MWU	1.8	0.1	Fishpool	MWU	0.1	0.0
Dual-Agri	MWU	61.9	3.5				

اطلاعات مورد نیاز در چارچوب حسابداری +WA

چارچوب سیستم حسابداری آب +WA بر مبنای اطلاعات ماهواره‌ای و اطلاعات منابع و مصارف آب در سطح یک حوضه به‌کار برده می‌شود. اطلاعات ماهواره‌ای براساس محصولات استخراجی تبخیر، تعرق، برگاب و کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به دقت پایین بارش از تصاویر ماهواره‌ای GPM در منطقه، این پارامتر نیز براساس ایستگاه‌های هواشناسی منطقه استخراج شد. منابع و مصارف آب در حوضه براساس آخرین آماربرداری سراسری تعیین و مورداستفاده قرار گرفت. توضیحات تکمیلی در خصوص اطلاعات مورد استفاده در زیر ارائه شده است.

الف) بارندگی: متغیر بارش اصلی‌ترین متغیر در چرخه آب و هواشناسی و در مطالعات کشاورزی است (Kardan Moghadam and Roozbahani, 2015). با توجه به چارچوب +WA در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای برآورد این پارامتر، تصاویر ماهواره‌ای بارش از پایگاه داده GPM، TRMM و PERSIAN استخراج و پس از صحت‌سنجی با آمار ایستگاه حوضه مشخص شد دقت نتایج پایین بوده، لذا میزان بارش در محدوده مورد مطالعه با استفاده از داده‌های بارش ثبت‌شده در ایستگاه‌های سینوپتیک، باراسنجی، کلیماتولوژی و تبخیرسنجی استفاده و براساس منحنی‌های هم‌بارش حجم بارش ورودی به حوضه پلاسجان برآورد می‌شود. در شکل (۳) منحنی‌های همبارش که برای حوضه پلاسجان و اطراف آن ارائه شده است. با استفاده از روش سطح‌سنجی، حجم بارش در حوضه پلاسجان ٦٣٠ میلیون‌مترمکعب به‌عنوان حجم جریان ورودی محاسبه شد.

ب) وضعیت منابع و مصارف: آخرین آماربرداری از منابع آب حوضه آبریز که اطلاعات آن در منطقه موجود است مربوط به سال آبی ۹۷-۱۳۹٦ است. حجم کل مصارف آب در سطح حوضه ۲۱۸ میلیون مترمکعب است که از این میزان ۱۷۷ میلیون مترمکعب از منابع آب زیرزمینی و ٤١ میلیون مترمکعب از منابع آب سطحی برای مصارف شرب (۸/۲ MCM)، کشاورزی (MCM ۲۰۹/٤) و صنعت (۰/٤ MCM) بهره‌برداری می‌شود.

ج) کاربری اراضی و پوشش گیاهی (LULC): یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در سیستم حسابداری در تفکیک بخش‌های مفید و غیرمفید تبخیر و تعرق به‌کار برده می‌شود کاربری اراضی است که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شود. تصاویر ماهوراه‌ای و تلفیق آن با اطلاعات سازمان‌های مرتبط این قابلیت را دارد که نقشه-های دقیق مصرف‌کننده‌های زراعت آبی، زراعت دیم، باغات، مراتع و غیره را با قدرت تفکیک مکانی مناسب (یک متر) ارائه شود. کاربری اراضی در این سیستم حسابداری آب مقدار تبخیر تعرق را در چهار بخش کاربری اراضی تفکیک می‌کند. مصرف آب مدیریت‌شده (MWU)[1]، کاربری اراضی بهبود یافته (MLU)[2]، کاربری اراضی بهره‌برداری‌شده (ULU)[3]، کاربری اراضی حفاظت‌شده (CLU)[4] برای ارزیابی تخلیه قابل مدیریت و غیرقابل مدیریت مفید است (Karimi *et al*., 2103). کاربری مصرف آب مدیریت‌شده شامل کلاس‌هایی از

اراضی است که چرخه طبیعی آب در آن دستخوش تغییر شود مانند ایستگاه پمپاژ، زهکش، چاه، رودخانه و غیره. کاربری اراضی بهبودیافته شامل اراضی هستند که برای اهداف انسانی به‌کار گرفته شده و پوشش گیاهی می‌تواند مدیریت شود، اما در مدیریت آب نقشی ندارد. مانند جاده‌های بهبود یافته، باغ‌های خانگی و غیره. کاربری اراضی بهره‌برداری شامل کاربری‌هایی که خدمات اکوسیستم را ارائه می‌دهند است که دخالت اندکی توسط انسان در آن وجود دارد؛ مثل جنگل‌ها و غیره. کاربری اراضی حفاظت‌شده شامل کاربری‌هایی است که در برابر دخالت‌های انسان محافظت می‌شوند و انسان نقشی در مدیریت آب یا خاک آن ندارد. مانند اکوسیستم‌های طبیعی و غیره. شکل (۳) کاربری اراضی به تفکیک کلاس‌های سیستم حسابداری آب (+WA) ارائه شده است.

د) تبخیر تعرق و زیست‌توده: یکی از اجزای بیلان منابع آب، تبخیر و تعرق و تفکیک این دو بخش از هم است که به‌عنوان آب مصرفی بیان می‌شود. براین اساس تبخیر تعرق با استفاده از سنجش از دور و محصول WAPOR فائو در کاربری‌های اراضی موجود به‌دست می‌آید. با توجه به اینکه جهت محاسبه کاربرگ تبخیرتعرق و بهره‌وری نیاز به تفکیک تبخیر، تعرق و برگاب است لذا محصول WAPOR، زیست‌توده و عملکرد محصول را به‌طور مستقیم محاسبه می‌کند. محصول WAPOR می‌تواند تبخیر تعرق را حتی در شرایط بدون ابر نیز به‌دست آورد و از حیث پیوستگی زمانی تبخیر تعرق حائز اهمیت است. به‌منظور محاسبه تبخیر و تعرق در حوضه آبریز پلاسجان با توجه به صحت‌سنجی و واسنجی صورت‌گرفته در حوضه زاینده‌رود، محصول WAPOR فائو جهت تعیین تبخیر تعرق در کاربری‌های مختلف حوضه استفاده می‌شود.

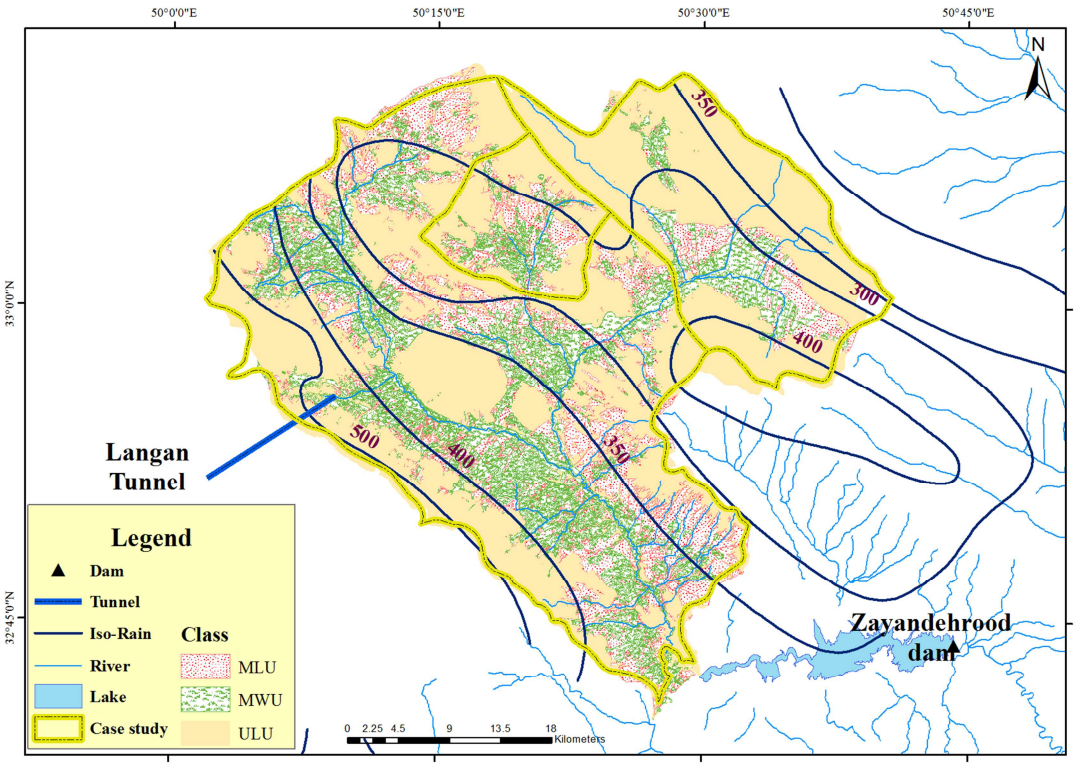


Figure 3. Land use of the basin and Iso-rain line

با توجه به کاربری اراضی استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای، سه نوع کاربری اراضی در منطقه مشخص و برای هرکدام براساس محصول WAPOR فائو میزان تبخیر، تعرق و برگاب در کاربرگ تبخیر و تعرق در سال ۲۰۱٦ در حوضه زاینده‌رود اعمال شد. بدین منظور ابتدا با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده توسط دستگاه Scintillometer، داده‌های برداشت‌شده از محصول WAPOR ارزیابی و اعتبارسنجی می‌شود، سپس مقادیر آن صحت‌سنجی و تصحیح می‌شود (Rahimpour *et al.*, 2018). طی بازدید میدانی نقاط مربوط به هفت کاربری و دو نوع کشت شناسایی و موقعیت‌سنجی شد که در این بازدیدها درمجموع ۱۳۵۹ محدوده به‌عنوان نمونه در ۹ کلاس تهیه شد که رابطه اصلاحی برای محاسبه تبخیروتعرق در سطح حوضه به‌صورت رابطه (۱) ارائه شده است (Rahimpour *et al.*, 2018).

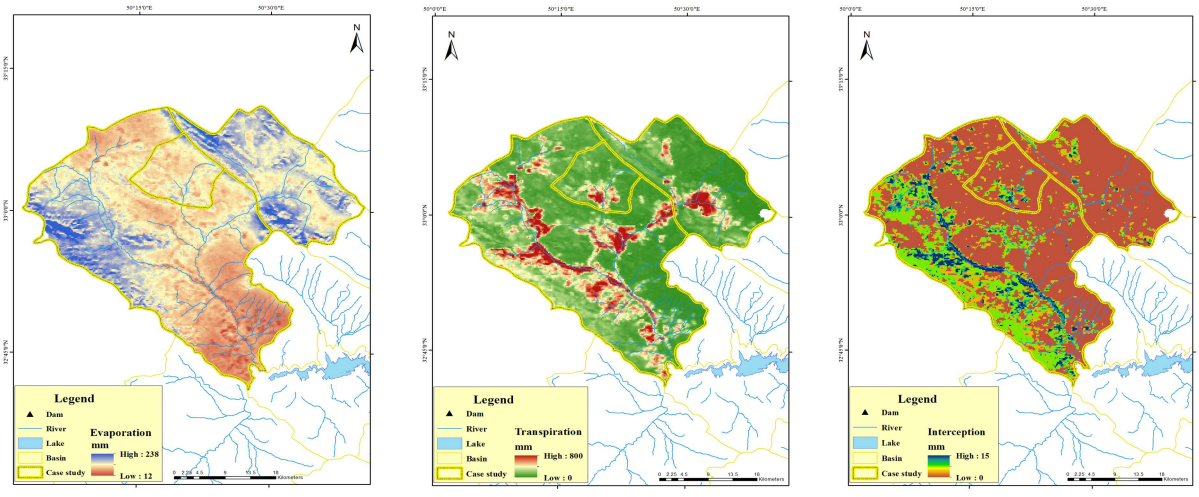
$$ET_{ev} = 1.1587.ET_m - 0.46 \quad (1)$$

در این رابطه ET_{ev} مقدار تبخیروتعرق اصلاح شده و ET_m نیز مقدار تبخیروتعرق محصول WAPOR فائو است. شکل (٤) محصولات استخراجی WAPOR برای تبخیر، تعرق و برگاب آورده شده است.

نتایج و بحث

کاربرگ منابع آب

کاربرگ منابع براساس حجم جریان ورودی به چرخه هیدرولوژی حوضه و تفکیک مصارف آب، میزان آب سبز و آب آبی را مورد آنالیز قرار داده و در نهایت کل حجم تبخیروتعرق محاسبه می‌شود. با توجه به منحنی‌های همبارش منطقه حجم ٥٦٤ MCM ناشی از بارش و ٤٠/٧ MCM جریان انتقالی از تونل چشمه لنگان، کل حجم جریان ورودی را تشکیل می‌دهد. با توجه به کسری ٥٦ MCM منابع آب حوضه، کل آب قابل ورودی به چرخه ٦٠٤/٧ MCM است که ٣٤٥ MCM ناشی از تبخیر از بارش و ١٢٠ MCM نیز ناشی از تبخیر از مصارف از چرخه خارج شده و در مجموع حجم ٤٦٥ MCM تبخیروتعرق حوضه محاسبه شد. با توجه به خروجی جریانات سطحی به‌طرف سد زاینده‌رود، حجم ٤١/٩ MCM به‌صورت جریانات سطحی خارج شده و وارد مخزن سد می‌شود. میزان جریان خروجی محاسبه‌شده در این کاربرگ با توجه به آمار ثبت‌شده در ایستگاه هیدرومتری اسکندری ارزیابی شده و اختلاف کم‌تر از ٣ میلیون‌مترمکعب را نشان داد. در شکل (٥) نتایج کاربرگ اول که منابع پایه است ارائه شده است.



a) Evaporation b) Transpiration c) Interception

Figure 4. Spatial maps required in the WA + framework

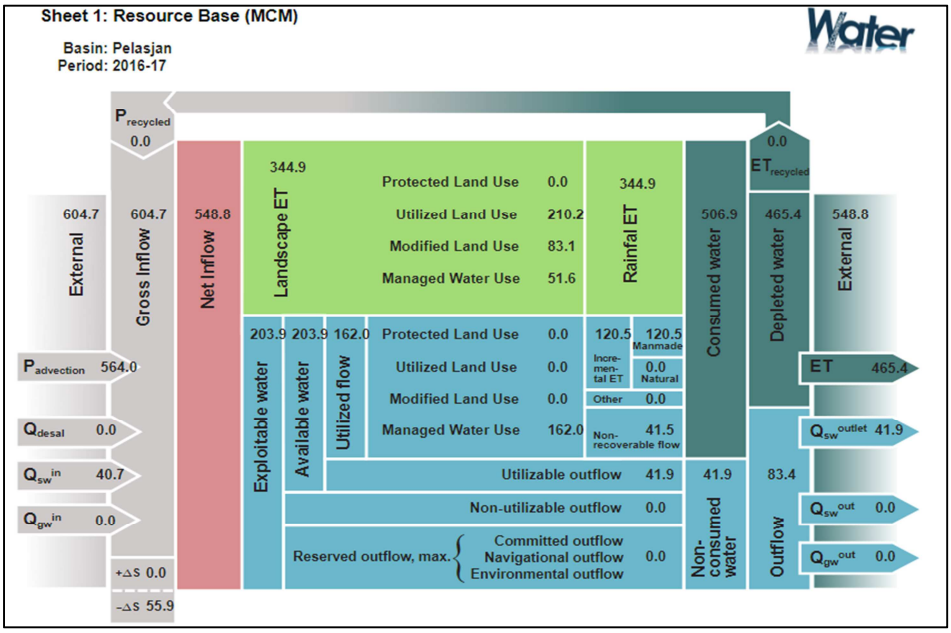


Figure 5. Resource base sheet - MCM

نتایج به‌دست‌آمده از کاربرگ منابع حاکی از این موضوع است که حجم MCM ۳٤٥ مربوط به آب سبز و MCM ۱۲۰ مربوط به آب آبی در سطح حوضه مصرف می‌شود. میزان تبخیروتعرق در سطح اراضی کشاورزی (MWU) حجم MCM ۱۷۲ به‌دست‌آمده است. این حجم آبی حاکی از بالابودن میزان سطح زیرکشت در این منطقه است.

کاربرگ تبخیر و تعرق

تبخیر تعرق واقعی با استفاده از در شکل (٦) نتایج به‌کار برده‌شده در این کاربرگ نمایش داده شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از کاربرگ اول مشخص شد که حجم تبخیروتعرق منطقه میزان MCM ٤٦٥/٥ است که با توجه به محصولات WAPOR مشخص شد که حجم MCM ۲۳٤ صرف تبخیر و MCM ۲۳۰ صرف تعرق در منطقه شده است. تفکیک میزان تبخیر نیز نشان داد که MCM ۱/۷ برگاب، MCM ۲۳۲ از خاک و MCM ۰/۵ از سطوح آبی تبخیر می‌شود.

نتایج استخراجی نشان داد که از حجم MCM ٤٦٥ میزان تبخیروتعرق در منطقه، میزان MCM ۲٦٤ به‌عنوان تبخیروتعرق مفید و MCM ۲۰۱ به‌عنوان تبخیروتعرق غیرمفید در منطقه تعیین شد.

کاربرگ برداشت آب

کاربرگ برداشت منابع آب با توجه به آماربرداری سراسری منابع و مصارف در منطقه تحلیل و تکمیل می‌شود. با توجه به آماربرداری مشخص شد که MCM ۲۱۸ صرف مصارف آب می‌شود که این حجم از دو منبع منابع آب سطحی MCM ٤۰/۸ و منابع آب زیرزمینی MCM ۱۷۲/۲ تأمین می‌شود. با توجه به تفکیک مصارف آب در سه بخش کشاورزی، شرب و صنعت و میزان تبخیروتعرق ناشی از برداشت که در کاربرگ اول به میزان MCM ۱۲۰/۵ تعیین شده، میزان جریانات برگشتی ناشی از مصارف تعیین می‌شود. محاسبات انجام‌شده نشان داد که حجم MCM ۹۷/۵ جریانات آب برگشتی وجود دارد. در شکل (۷) کاربرگ برداشت منابع آب در چارچوب WA+ ارائه شده است.

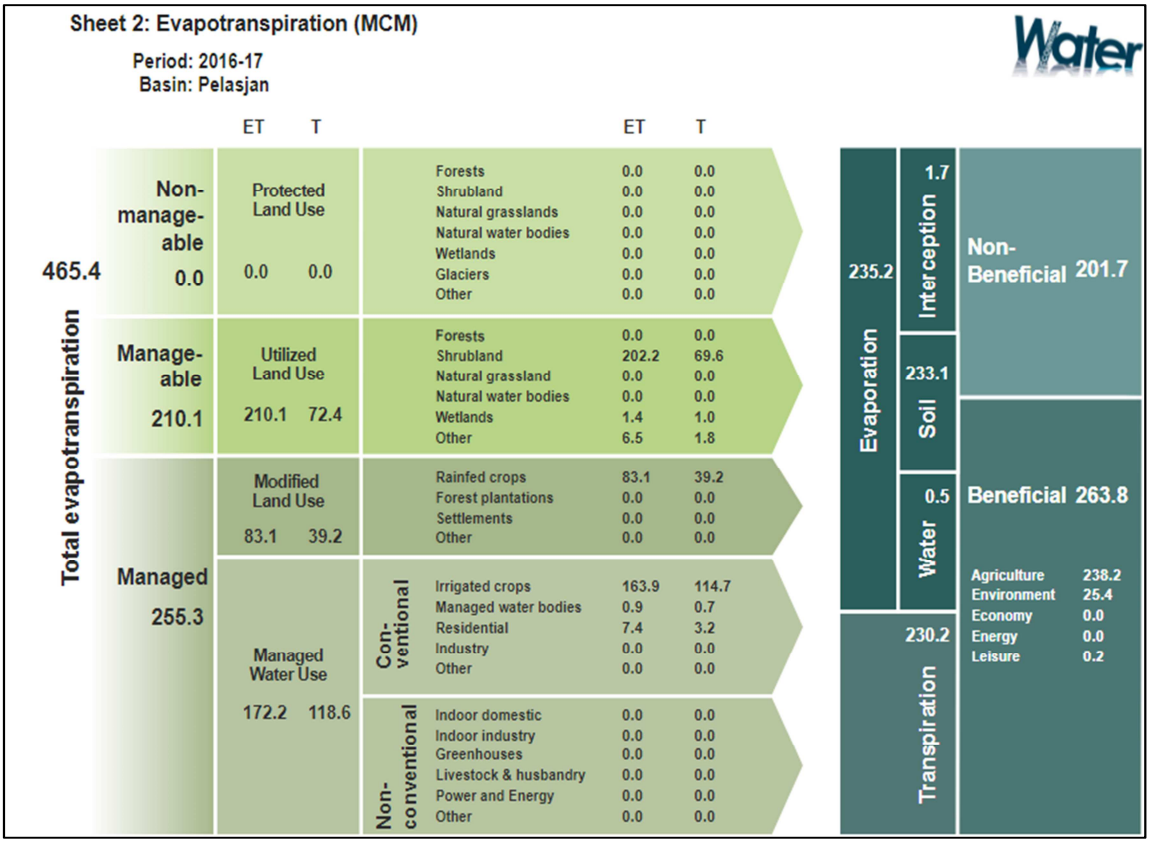


Figure 6. Evapotranspiration sheet

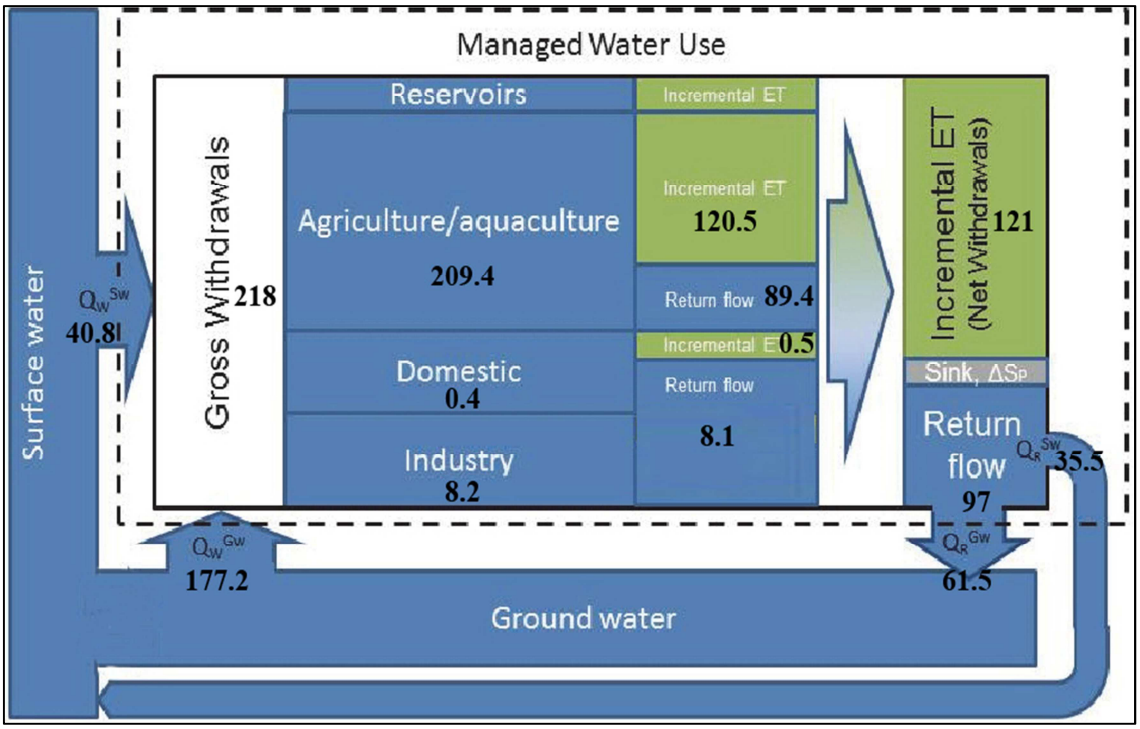


Figure 7. Withdrawal sheet

تفکیک حجم آب برگشتی در حوضه به دو بخش برگشتی به منابع آب سطحی و برگشتی به منابع آب زیرزمینی است که با توجه به مطالعات Hoehn (2009) در همین منطقه تحلیل شد (Ministry of Power, 2014). براساس طبقه‌بندی ارائه‌شده حجم آب تبادلی براساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$Q = C. L. D \quad (۲)$$

در این رابطه Q حجم آب نفوذیافته (m^3/day)، C ضریب انتقال (m/day)، L طول بخش زهکش‌کننده یا تغذیه‌کننده (m) و D عرض قسمت خیس‌شده (m) است. ضریب تبادل از مقدار کم‌تر از ۰/۰۵ تا بیش‌تر از ۵ برای تبادل کم تا زیاد تعریف می‌شود.

بررسی شبکه رودخانه‌ای منطقه نشان می‌دهد که طول رودخانه ۱۷۹۵۰ متر، عرض رودخانه ۵۵ متر و ضریب انتقال ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود (Ministry of Power, 2014). با توجه به مقادیر تعیین شده مشخص شد که حجم MCM ۳۵/۵ میزان جریان آب برگشتی به منابع آب سطحی و حجم MCM ٦١/٥ میزان آب برگشتی به منابع زیرزمینی است.

ارزیابی بیلان هیدروکلیماتولوژی

با توجه به محاسبات انجام‌شده و تعیین پارامترهای بیلان هیدروکلیماتولوژی، مقایسه‌ای بین آنها مطابق جدول (٤) انجام گرفت. با توجه به استفاده هر دو سیستم بیلان و +WA از میزان بارش ثابت، اختلاف بین سایر مقادیر رواناب، نفوذ و تبخیروتعرق ناشی از بارش محاسبه شده است.

Table 4. Comparison of Hydro-climatological Balance Parameters - MCM

Infiltration	Run off	ET	Rain	Water balance
112.8	95.8	355.3	564	Computational
38.8	59.7	465.5	564	WA+

بررسی مؤلفه‌های بیلان هیدروکلیماتولوژی نشان می‌دهد که میزان تبخیروتعرق با استفاده از سیستم +WA نسبت به بیلان افزایش داشته و در نتیجه آن میزان نفوذ و رواناب منطقه کاهش دارد. میزان کاهش رواناب منطقه نسبت به نفوذ بیش‌تر بوده که این موضوع در ارزیابی میزان جریانات ورودی به سد زاینده‌رود نیز تأثیرگذار است.

نتیجه‌گیری

یکی از ابزارهای مهم جهت تصمیم‌گیری در وضعیت منابع آب یک منطقه، بیلان است. داشتن اطلاعات قابل اعتماد از تغییرات مؤلفه‌های بیلان منابع آب برای مدیریت یکپارچه منابع آب ضروری است. با توجه به اهمیت بررسی منابع آب سبز و تفکیک آب برداشت‌شده و آب مصرف‌شده و تعامل با کاربری اراضی، نقش سیستم حسابداری آب در ارزیابی کمبود ذخیره، کمبود تخلیه مفید و پارامترهای بیلان منابع آب پررنگ‌تر می‌شود. با توجه به سیستم‌های حسابداری موجود که ورودی‌های موردنیاز اغلب در دسترس نمی‌باشد، نتایج به‌دست‌آمده از آن‌ها، تصمیم‌گیری را پیچیده می‌کند. هم‌چنین تفاوتی بین جریان آب مدیریت‌شده، قابل مدیریت و غیر قابل مدیریت قائل نیستند. از سوی دیگر با توجه به دیدگاه کلان در حسابداری آب، نمی‌توان از حساب‌های ملی برای طراحی اقتصادی در مقیاس پایین‌تر، مانند مقیاس حوضه استفاده کرد. بنابراین، در این مطالعه از سیستم حسابداری آب به‌علاوه استفاده شده‌است. این مطالعه با هدف استفاده از چارچوب +WA سعی در ارزیابی پارامترهای بیلان هیدروکلماتولوژی در حوضه آبریز پلاسجان که یکی از زیرحوضه‌های گاوخونی است آنالیز شده است. براین اساس متغیرهای بارش و برداشت از منابع آب براساس اطلاعات میدانی و متغیرهای تبخیر، تعرق و برگاب در سه نوع کاربری اراضی تعریف‌شده با

استفاده از محصولات WAPOR استخراج شد. نتایج نشان داد که با توجه به منحنی‌های هم‌بارش منطقه، حجم ٥٦٤ MCM براساس بارش و حجم ٤٠/٧ MCM براساس جریانات انتقالی وارد حوضه می‌شود. با توجه به تفکیک سه نوع کاربری مشخص شد، حجم ٤٦٥/٥ MCM تبخیروتعرق در حوضه ثبت شده که از این حجم ٢٦٤/٣ MCM از تبخیروتعرق به‌صورت مفید و حجم ٢٠١/١ MCM به‌صورت غیرمفید ناشی از تبخیر از خاک و برگاب مصرف می‌شود. تحلیل کاربرگ برداشت منابع آب با توجه به آماربرداری سراسری نشان داد که از حجم ٢١٨ MCM برداشت آب، حجم ٢٠٩/٤ MCM در بخش کشاورزی، ٠/٤ MCM در بخش صنعت و ٨/٢ MCM در بخش شرب مصرف می‌شود. با توجه به تبخیروتعرق ناشی از برداشت آب، که در کاربرگ منابع پایه محاسبه شده بود مشخص شد که حجم ٩٧ MCM جریانات برگشتی در منطقه وجود دارد. این میزان با توجه به ارزیابی جریانات نفوذیافته در منطقه مشخص شد که ٣٥/٥ MCM جریانات منتقل شده به جریانات سطحی و ٦١/٥ MCM به جریانات زیرزمینی وارد می‌شود. با توجه به محاسبات انجام‌گرفته ارزیابی بیلان هیدروکلیماتولوژی در دو شرایط محاسباتی بیلان منطقه و چارچوب +WA مورد آنالیز شد. نتایج نشان داد که میزان تبخیروتعرق در چارچوب +WA نسبت به چارچوب بیلان افزایش داشته ولی دو مؤلفه نفوذ و رواناب کاهش داشته است.

نتایج این مطالعه نشان‌داد که چارچوب +WA جهت ارزیابی بیلان هیدروکلیماتولوژی با توجه به استفاده از سنجش از دور با توجه به کمبود اطلاعات بسیار مناسب بوده و این چارچوب می‌تواند میزان عدم قطعیت پارامترهای مختلف بیلان منابع آب را در سطح یک حوضه کاهش دهد. از محدودیت‌های حسابداری آب به‌علاوه اینست که مدل عمومی که در برگیرنده متغیرهای کاربرگ‌های این سیستم باشد وجود ندارد. هم‌چنین داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در این سیستم دارای خطا هستند، زیرا فرایندهای هیدرولوژیکی را به‌صورت غیر مستقیم برآورد می‌کنند و باید تمهیداتی صورت گیرد تا نقش خطا در کاربرگ‌ها محاسبه شود. هم‌چنین با وجود عنوان حسابداری آب، حساب‌های مالی در آن دیده نشده است.

پی‌نوشت‌ها

1. Managed Water Use
2. Modified Land Use
3. Utilized Land Use
4. Conserved Land Use

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Bastiaanssen, W. G., Allen, R. G., Droogers, P., D'Urso, G., & Steduto, P. (2007). Twenty-five years modeling irrigated and drained soils: State of the art. *Agricultural Water Management*, *92*(3), 111-125.
2. Delavar, M., Morid, S., Morid, R., Farokhnia, A., Babaeian, F., Srinivasan, R., & Karimi, P. (2020). Basin-wide water accounting based on modified SWAT model and WA+ framework for better policy making. *Journal of Hydrology*, *585*, 124762.
3. Dembélé, M., Schaefli, B., Mariéthoz, G., Ceperley, N., & Zwart, S. (2018). Supporting water management in the Volta river basin with Water Accounting Plus.
4. FAO (2012) Coping with water scarcity; an action framework for agriculture and food security, *FAO water reports38*,*FAO*, Rome,2012, website:http://www.fao.org/3/i3015e/i3015e.pdf.
5. Guerschman, J. P., Van Dijk, A. I., Mattersdorf, G., Beringer, J., Hutley, L. B., Leuning, R., ... & Sherman, B. S. (2009). Scaling of potential evapotranspiration with MODIS data reproduces flux observations and catchment water balance observations across Australia. *Journal of hydrology*, *369*(1-2), 107-119.

6. Kardan Moghaddam, H., Javadi, S., & Rahimzadeh, Z. (2020). Evaluation of Aquifer Vulnerability Assessment Methods for Alluvial and Coastal Aquifers, Case Study in Astaneh-Koochesfahan Aquifer, Guilan, Iran. *Water and Irrigation Management*, *10*(2), 203-220.
7. Kardan Moghadam, H., & Roozbahani, A. (2015). Evaluation of Bayesian networks model in monthly groundwater level prediction (Case study: Birjand aquifer). *Water and Irrigation Management*, *5*(2), 139-151.
8. Karimi, P., Bastiaanssen, W.G. and Molden, D., 2013. Water Accounting Plus (WA+)–a water accounting procedure for complex river basins based on satellite measurements. *Hydrology and Earth System Sciences*, *17*(7), pp.2459-2472.
9. Moazzenzadeh, R., Arshad, S., Ghahraman, B. and Davari, K., 2013. Drought monitoring in unirrigated lands based on the remote sensing technique. *Water and Irrigation Management*, *2*(2), pp.39-52.
10. Ministry of Power. 2014. Report of Reduction program and balance groundwater. (In Persian)
11. Ministry of Power. 2020. The most important challenges and fundamental issues in preparing the balance sheet. (In Persian)
12. Rahimpour, M., Karimi, N., Rouzbahani, R., & Eftekhari, M. (2018). Validation and calibration of FAO WaPOR product (actual evapotranspiration) in Iran using in-situ measurements. *Iran-Water Resources Research*, 14(2), 254-263 (In Persian).
13. Todd, D. K., & Mays, L. W. (2004). Groundwater hydrology. *John Wiley & Sons.*