نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۲، بهمن - اسفند ۱۳۹۷، ص. ۱۳۸۰-۱۳۶۲

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 12, Feb.-Mar. 2019, p. 1362-1380

توسعه مدل SWAT-LU برای بررسی و شبیه‌سازی علل افت تراز دریاچه ارومیه و ارزیابی اثربخشی راه‌کارهای مطرح در احیای آن
بخش سوم: تحلیل حسابداری آب و ارزیابی راه‌کارهای احیای دریاچه ارومیه

اشکان فرخ‌نیا[۱]، سعید مرید[۲*]، مجید دلاور[۳]، کریم عباسپور[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۹

چکیده

روند سریع خشک‌شدن دریاچه ارومیه طی دو دهه اخیر موجب بروز نگرانی‌های فراوانی گردیده است. در این بین، برای احیای دریاچه ارومیه راه‌کارهایی مطرح می‌باشد که عمدتا بار مالی بسیار زیادی را متوجه منابع بودجه عمومی کشور خواهند نمود. اما تحلیل اینکه این قبیل اقدامات چگونه، به چه میزان و در چه شرایطی موجب بهبود وضعیت دریاچه ارومیه خواهند شد، به اندازه کافی مورد توجه قرار نداشته است. در مقاله حاضر، تلاش گردیده تا با استفاده از مدل جامع توسعه یافته در این تحقیق (SWAT-LU) و به‌کارگیری رویکرد سیستم حسابداری آب (WA+)، تحلیل دقیق‌تری از ظرفیت تعدادی از راه‌کارهای مد نظر در صرفه‌جویی مصارف آب در حوضه و افزایش جریان آب به دریاچه ارومیه صورت گیرد. بدین منظور، شبیه‌سازی اثر اقدامات مورد نظر بر مولفه‌های مختلف بیلان آب حوضه در قالب گزارش‌های مختلف حسابداری آب ارزیابی شد و اثرات جانبی این اقدامات نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحلیل‌ها نشان داد که، برخی از اقدامات مد نظر (مانند توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار) تاثیر چندانی بر صرفه‌جویی واقعی آب در مقیاس حوضه آبریز ندارند و چه بسا بستر را برای افزایش مصرف نیز تسهیل نمایند. این نتایج، لزوم توجه به موضوع مقیاس در برنامه‌ریزی‌ها را نشان داد و گویای آن بود که چگونه نتایج در مقیاس مزرعه می‌تواند با مقیاس حوضه آبریز متفاوت باشد.

واژه‌های کلیدی: دریاچه ارومیه، حسابداری آب، راندمان آبیاری، صرفه‌جویی واقعی آب

مقدمه

افت شدید تراز آب دریاچه ارومیه و روند خشک شدن سریع آن در سال‌های گذشته موجب بروز نگرانی‌های جدی از دیدگاه‌های مختلف اکولوژیک، اجتماعی و اقتصادی در منطقه شمال غرب کشور شده است. از همین رو، موضوع احیای دریاچه ارومیه مطرح گردیده و برای این منظور راهکارهای مختلفی مورد بحث قرار گرفته است. گزینه‌های مد نظر از منابع آبی داخل حوضه، در سه گروه کلی شامل: کاهش تلفات آب در فرآیند انتقال آب به پیکره آبی دریاچه، تغییر الگوی کشت و همچنین کاهش سطح زیر کشت اراضی فاریاب می‌باشند.

برای بررسی ظرفیت چنین اقداماتی در صرفه‌جویی آب به نفع دریاچه، نیاز به یک چارچوب استاندارد برای گزارش و تفسیر اطلاعات بیلان آبی در مقیاس حوضه آبریز می‌باشد (Karimi et al., 2013b). بعضا از مولفه‌های موثر بر بیلان منابع آب استنباطات متفاوت و حتی اشتباهی صورت می‌گیرد (Perry., 2007). یکی از چالش‌برانگیزترین آن‌ها معادل قرار دادن "مصرف آب[۵]" با "برداشت آب[۶]" و یا "کاهش تامین آب[۷]" با "کاهش آب مصرفی[۸]" است (Karimi et al., 2012). چنین سوءبرداشت‌هایی می‌تواند اثرات زیان‌آور در مدیریت حوضه آبریز داشته باشد و حتی موجب تشدید تنش‌های آبی گردد (De Vries et al., 2010). به عنوان مثال، بررسی انجام شده توسط

۱- عضو هیات علمی، پژوهشکده منابع آب، موسسه تحقیقات آب
۲- استاد گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۴- دانشیار گروه تحلیل سیستم‌ها، ارزیابی و مدل‌سازی یکپارچه، موسسه فدرال تحقیقات علوم و تکنولوژی سوئیس
(* - نویسنده مسئول: Email: morid_sa@modares.ac.ir)

5- Water use
6- Withdrawal
7- Reduction of water supply
8- Reduction of consumptive water use

اسکات و همکاران نشان می‌دهد که برداشت اشتباه در خصوص اثرگذاری ارتقاء سیستم‌های آبیاری (از روش‌های سنتی به مدرن) در کاهش مصرف آب، چگونه منجر به افزایش شدید مصارف آب، عدم پایداری حوضه در مواجهه با خشکسالی و بروز تعارضات اجتماعی در دو حوضه آبریز در شیلی و اسپانیا شده است (Scott et al., 2014). از این رو، یکی از مبانی اصلی در ارزیابی اقدامات مدیریتی برای کاهش مصرف آب کشاورزی، تحلیل مولفه‌های مربوط در مقیاس حوضه‌ای، تعیین تلفات واقعی آب آبیاری و مشخص نمودن بخش‌های قابل مدیریت آن است (Karimov et al., 2012).

برای رفع این مشکلات، رویکردی توسط موسسه بین‌المللی مدیریت آب[1] (IWMI) ارایه شده که اصطلاحا آن را ارتقاء رویکرد "کلاسیک" به "نئوکلاسیک" اطلاق می‌کند و ریشه آن نیز در علم اقتصاد است (Seckler., 1999). در دیدگاه کلاسیک، تمرکز بر افزایش بهره‌وری و کارآیی آب هر کاربر به‌طور مستقل می‌باشد. اما دیدگاه نئوکلاسیک رویکرد قبلی را موجب ضرر به منابع آبی دانسته و بیان می‌دارد که تنها با تحلیل مصارف در چارچوب بیلان آب در مقیاس حوضه آبریز است که می‌توان پتانسیل‌های اقدامات انجام شده را شناسایی نمود. مانند اینکه تلفات آب (رواناب و یا نفوذ) که در یک مزرعه رخ می‌دهد و تصور است صرفه‌جویی شده؛ می‌تواند یک منبع آب برای سایر بخش‌ها باشد. در نهایت این دیدگاه مفهوم "صرفه‌جویی واقعی آب[2]" را ارایه می‌دهد و متذکر می‌گردد که صرفه‌جویی واقعی آنگاه اتفاق می‌افتد که تبخیر کم شود نه اینکه برداشت کم شده باشد.

با اتکا به مفاهیم و رویکردهای فوق، IWMI چارچوبی را برای ارزیابی نقش مدیریت بخش کشاورزی در کاهش مصرف آب تحت عنوان "حسابداری آب" پیشنهاد نمود (Karimi et al., 2012). درادامه، کریمی و همکاران سیستم حسابداری آب IWMI را توسعه و آن را WA+ نام نهادند (Karimi et al., 2013a). آن‌ها از این چارچوب برای ارزیابی ظرفیت اقداماتی نظیر: مالچ پاشی در اراضی دیم، استفاده از سیستم‌های آبیاری مدرن و زیرسطحی، کاهش اراضی و تغییر در تقویم کشاورزی بر صرفه‌جویی واقعی آب (کاهش تبخیر) در حوضه آبریز ایندوس[3] هند استفاده نمودند.

تحقیق حاضر نیز با هدف ارزیابی اقدامات مطرح در صرفه‌جویی آب کشاورزی به نفع دریاچه ارومیه می‌باشد که در آن از اتصال حسابداری آب WA+ به مدل SWAT-LU استفاده می‌شود. بدین منظور، ابتدا روش‌شناسی و مفاهیم مربوط به سیستم حسابداری آب WA+ ارایه گردیده و سپس گزارش وضعیت تاریخی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در قالب این گزارش‌ها ارزیابی خواهد شد. در ادامه نیز بررسی می‌شود که اقدامات مدیریتی مربوط به کاهش مصارف آب در بخش کشاورزی حوضه تا چه حد می‌تواند در بهبود پایدار وضعیت آبی دریاچه اثربخش باشند.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و اطلاعات

داده و اطلاعات استفاده شده در تحقیق حاضر از نتایج خروجی مدل SWAT-LU استخراج شده است که شرح توسعه، واسنجی و صحت‌سنجی آن در مرجع فرخ‌نیا و همکاران (۱۳۹۷) به طور مفصل آمده است. برای این تحقیق نیاز بر این بود تا نتایج شبیه‌سازی مدل در شرایط پایه و همچنین تعدادی سناریوی مختلف بر اساس تحلیل‌های مورد نظر استفاده گردد که شرح آن‌ها در ادامه ارایه شده است.

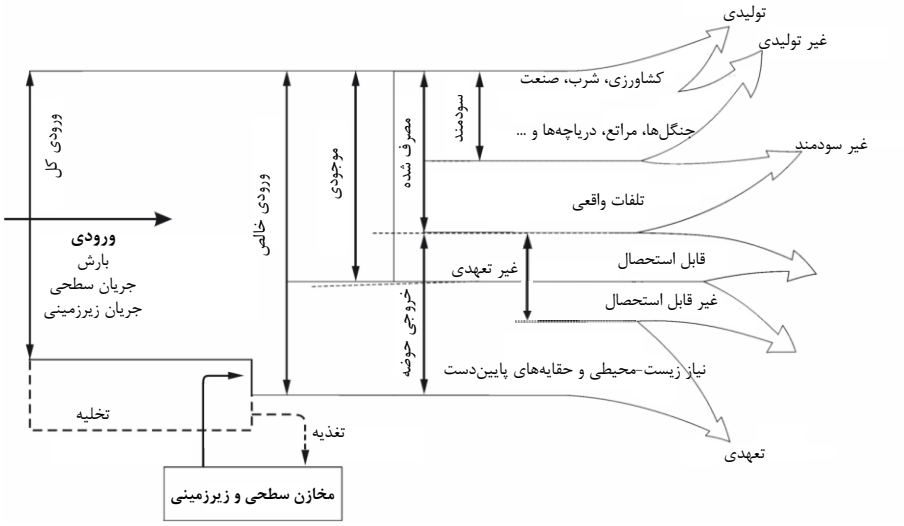
سیستم حسابداری آب WA+

چارچوب اصلی حسابداری آب ارایه شده توسط IWMI بر پایه تشریح منابع و مصارف آب می‌باشد که در شکل ۱ آمده است. در این چارچوب مولفه‌های مختلف ورودی و خروجی بیلان آبی به دسته‌بندی‌های مختلف نظیر: ورودی خالص، مصرفی تولیدی، مصرفی غیرتولیدی، جریان تعهدی و جریان غیر تعهدی تقسیم می‌شوند (Molden., 1997). یکی از مزایای اصلی این سیستم، در نظر گرفتن بارش به عنوان ورودی اصلی آب به حوضه می‌باشد که موجب می‌گردد تا امکان برآورد بهره‌وری کل آب موجود در یک منطقه فراهم گردد (Karimi et al., 2013b). سیستم حسابداری مورد استفاده برای این تحقیق، WA+ می‌باشد که توسط کریمی توسعه یافته است (Karimi et al., 2012). WA+ از گزارش‌های متنوعی برای بیان مولفه‌های مختلف هیدرولوژی و بهره‌وری آب در حوضه استفاده می‌کند. با توجه به هدف تحقیق حاضر که بر کمیت آب تمرکز دارد، سه گزارش سیستم مذکور مورد استفاده قرار گرفت که عبارتند از گزارش‌های:۱) منابع و مصارف، ۲) برداشت و ۳) تبخیر–تعرق.

گزارش منابع و مصارف

این گزارش حاوی اطلاعاتی در خصوص جریان احجام آب در سطح حوضه آبریز می‌باشد که طرح شماتیک آن در شکل ۲ نمایش داده شده است. در این شکل، ورودی‌های آب حوضه در سمت چپ قرار گرفته و بخش‌های وسط نشان‌دهنده چگونگی مصرف آب و فرآیندهای مربوط به آن است و در نهایت قسمت سمت چپ شکل نیز جریان‌های خروجی از حوضه را شامل می‌گردند.

1- International Water Management Institute
2- Real water saving
3- Indus river basin



شکل ۱- سیستم حسابداری آب IWMI (Molden., 1997)

شکل ۲- طرح شماتیک گزارش منابع و مصارف در سیستم حسابداری آب (Karimi et al., 2013b)

ورودی خالص[1] آب به حوضه شامل: بارش و سایر جریان‌های ورودی از مرزهای حوضه به اضافه تغییرات مولفه‌های ذخیره آب حوضه در طول دوره مورد بررسی می‌باشد. ورودی خالص به تبخیر-تعرق طبیعی اراضی[2] (آب سبز) و آب قابل بهره‌برداری[3] (آب آبی) تقسیم می‌گردد. به نظر می‌رسد که شکل به اندازه کافی مولفه‌های مختلف را تشریح می‌کند. تنها متذکر می‌گردد که تبخیر-تعرق اراضی کشاورزی مدیریت‌شده آبی در این گزارش، همان بارش موثر یا قسمتی از تبخیر-تعرق است که به صورت طبیعی (بدون اعمال مدیریت‌های آبی نظیر آبیاری) اتفاق افتاده است. اما، آبیاری معمول در بخش تبخیر-تعرق تکمیلی[4] قرار می‌گیرد. در ادامه، این مولفه‌ها به شاخص‌هایی ختم می‌شوند که برای برنامه‌ریزی منابع آب قابلیت‌های

1- Net inflow
2- Landscape evapotranspiration
3- Exploitable water
4- Incremental evapotranspiration

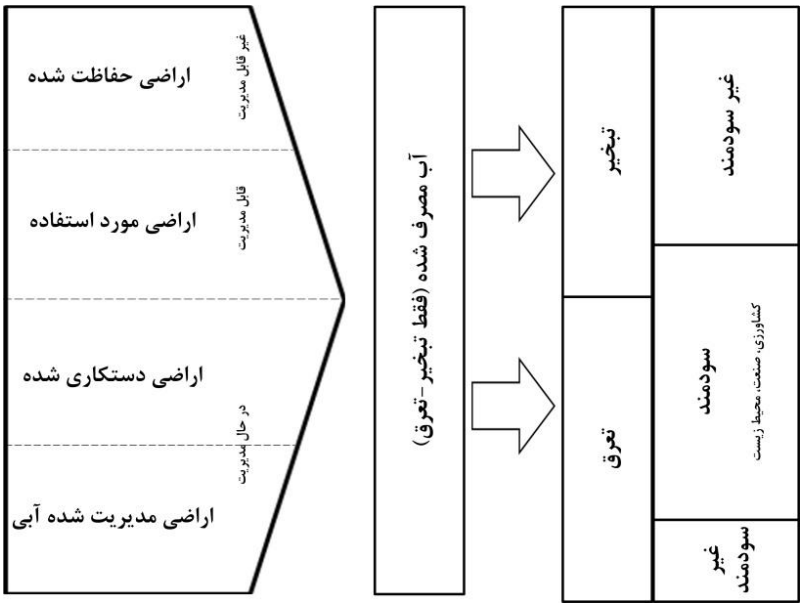
مناسبی دارند که در جدول ۱ آمده است.

گزارش تبخیر-تعرق

این گزارش بیانگر اطلاعاتی در خصوص شرایط تبخیر-تعرق در حوضه بوده و نشان می‌دهد که بر اساس تفکیک کاربری‌های مختلف اراضی، چه میزان از آن در شرایط مدیریت شده، قابل مدیریت و یا غیر قابل مدیریت می‌باشد. همچنین، در این گزارش، مقدار تبخیر و تعرق سودمند و غیرسودمند حوضه نیز ارایه می‌شود. تعریف سودمند و یا غیر سودمند بودن تبخیر و تعرق می‌تواند بسته به ملاحظات تحقیق تعیین گردد. اما به‌طور معمول، تبخیر (از سطح خاک و آب) به عنوان بخش غیرسودمند و تعرق (به جز موارد خاص نظیر تعرق علف‌های هرز) به عنوان قسمت سودمند تبخیر-تعرق در نظر گرفته می‌شود (Karimi et al., 2013b). شاخص‌های قابل استخراج از گزارش تبخیر-تعرق نیز به همراه کاربرد هر یک در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- شاخص‌های مستخرج از گزارش منابع سیستم حسابداری آب (Karimi et al., 2013b)

عنوان شاخص	رابطه	کاربرد
نسبت آب موجود	$\frac{\text{آب موجود}}{\text{آب ورودی خالص}}$	چه نسبتی از ورودی خالص حوضه برای مصرف و تامین تعهدات پایین‌دست قابل برنامه‌ریزی است؟
نسبت تغییر موجودی	$\frac{\text{تغییر حجم مخازن}}{\text{آب موجود}}$	چه نسبتی از آب قابل مدیریت حوضه از تغییر حجم آب‌های زیرزمینی منشا گرفته است؟
نسبت آب قابل تخصیص	$\frac{\text{آب قابل تخصیص}}{\text{آب موجود}}$	چه نسبتی از آب قابل تخصیص حوضه برای مصارف داخل حوضه قابل استفاده می‌باشد؟
نسبت بسته بودن حوضه	$\frac{\text{آب تخصیصی مصرف شده}}{\text{آب قابل تخصیص}}$	چه نسبتی از آب قابل تخصیص حوضه، در سطح آن مصرف شده است؟
نسبت تامین تعهدات پایین‌دست	$\frac{\text{حقابه‌های پایین‌دست}}{\text{آب خروجی}}$	چه نسبتی از تعهدات آبی حوضه به پایین‌دست تامین شده است؟



شکل ۳- طرح شماتیک گزارش تبخیر-تعرق در سیستم حسابداری آب (Karimi et al., 2013b)

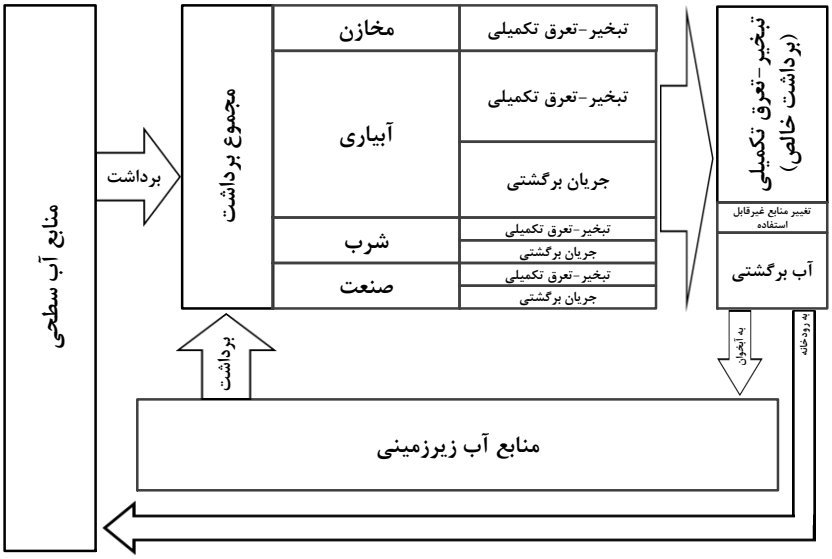
گزارش برداشت

هدف این گزارش، ارایه اطلاعات در خصوص نحوه جریان آب در اراضی مدیریت شده آبی می‌باشد. مصرف‌کنندگان آب در این دسته، شامل مخازن و اراضی کشاورزی، شهری و صنعتی می‌باشند. آب از منابع سطحی و زیرزمینی در اختیار بخش‌های مختلف برداشت‌کننده قرار می‌گیرد که بخشی از آن به عنوان تبخیر-تعرق تکمیلی مصرف شده و بخش دیگر مجددا به منابع سطحی و زیرزمینی برمی‌گردد. طرح شماتیک گزارش تخلیه سیستم حسابداری آب مورد نظر در

شکل ۴ و شاخص‌های قابل استخراج از آن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲- شاخص‌های مستخرج از گزارش تبخیر-تعرق سیستم حسابداری مورد نظر (Karimi et al., 2013b)

عنوان شاخص	رابطه	کاربرد
نسبت تعرق	تعرق / تبخیر و تعرق	چه بخشی از تبخیر-تعرق حوضه صرف تعرق گیاهان شده است؟ (چه میزان از مصارف آب حوضه سودمند بوده است؟)
نسبت مدیریت	تبخیر – تعرق مدیریت شده / تبخیر و تعرق	چه بخشی از مصارف آب حوضه در سطح اراضی تحت مدیریت اتفاق افتاده است؟
نسبت تبخیر-تعرق کشاورزی	تبخیر – تعرق کشاورزی / تبخیر و تعرق	چه بخشی از مصارف آب حوضه صرف تولید محصولات کشاورزی شده است؟
نسبت تبخیر-تعرق اراضی آبی	تبخیر – تعرق کشاورزی آبی / تبخیر و تعرق کشاورزی	چه بخشی از مصارف آب کشاورزی حوضه از محل آبیاری تامین شده است؟



شکل ٤- طرح شماتیک گزارش تخلیه در سیستم حسابداری آب (Karimi et al., 2013b)

جدول ۳- شاخص‌های مستخرج از گزارش تخلیه سیستم حسابداری آب (Karimi et al., 2013b)

عنوان شاخص	رابطه	کاربرد
نسبت برداشت از آب زیرزمینی	برداشت آب زیرزمینی / برداشت کل	چه بخشی از کل برداشت آب آبیاری از آب زیرزمینی حوضه بوده است؟
راندمان کلاسیک آبیاری	تبخیر و تعرق تکمیلی اراضی کشاورزی / کل برداشت	چه بخشی از آب برداشت شده برای آبیاری صرف تبخیر-تعرق گیاهان زراعی شده است؟
راندمان موثر آبیاری	تبخیر و تعرق تکمیلی اراضی کشاورزی / آب برگشتی – برداشت	چه بخشی از آب مصرف شده آبیاری صرف تبخیر-تعرق گیاهان زراعی شده است؟
نسبت بازیابی	آب برگشتی / برداشت کل	چه بخشی از آب برداشت شده برای آبیاری مجددا به منابع آب قابل استحصال حوضه بازگشته است؟

اقدامات مدیریتی کاهش مصرف آب

برای این تحقیق لازم بود تا اثر اقدامات مدیریتی مورد نظر برای کاهش مصارف آب در سطح حوضه و افزایش جریان ورودی به

دریاچه ارومیه به‌عنوان سناریوهایی در مدل SWAT-LU اعمال گردند. این اقدامات در دو دسته کلی قابل تقسیم هستند. دسته اول بر کاهش مولفه‌های مصرف غیرمفید و گروه دوم بر کاهش سطح اراضی فاریاب در حوضه تاکید دارند. اقدامات مربوط به هر کدام نیز بر اساس مطالعات مشابه و یا مصوبات ستاد احیای دریاچه ارومیه در نظر گرفته شده است (بی‌نام، ۱۳۹۴). متذکر می‌گردد که ابعاد اقتصادی و اجتماعی این گزینه‌ها در تحقیق حاضر بررسی نشده است و تنها ظرفیت آن‌ها برای تامین آب بیش‌تر برای دریاچه مورد توجه قرار دارد. بر این اساس، اقداماتی که برای افزایش آبرسانی به دریاچه ارومیه مد نظر قرار گرفت، در جدول ۴ آمده است. برای توضیح سوابق این اقدامات نیز ستونی در جدول مذکور اضافه شده که مرجع آن را نشان می‌دهد.

جدول ٤- اقدامات مدیریتی مورد نظر برای احیای دریاچه ارومیه

رویکرد اصلی	کد	اقدام	شرح	مرجع
کاهش مولفه‌های مصرف غیر مفید	M1.1	کاهش تبخیر از خاک اراضی دیم	کاهش ۱۵٪ تبخیر خاک با استفاده از مالچ کاهی	(Zhang et al, 2003) (Karimi et al, 2013a)
	M1.2	زهکشی اراضی آبی	کاهش ۷۵٪ تبخیر آب زیرزمینی در اراضی آبی با اجرای سیستم‌های زهکشی	جلسات ستاد احیای دریاچه ارومیه و طرح آن برای اراضی پایین دست سد زرینه‌رود
	M1.3	افزایش راندمان آبیاری	تغییر شیوه‌های سنتی آبیاری و استفاده از سیستم‌های نوین (آبیاری قطره‌ای برای باغات و آبیاری بارانی برای سایر محصولات و کاهش تلفات انتقال)	برنامه مصوب کارگروه احیای دریاچه ارومیه
	M1.4	کاهش تلفات محدوده دریاچه	حذف تلفات تبخیر جریان در محدوده دریاچه با لایروبی رودخانه ها و انتقال سازه‌ای آب به دریاچه	برنامه مصوب کارگروه احیای دریاچه ارومیه
کاهش سطح اراضی فاریاب حوضه	M2	کاهش ۱۰۰ هزار هکتار از اراضی زیر کشت آبی	کاهش ۸۰ هکتار از اراضی آبیاری شده از محل آب‌های سطحی و ۲۰ هزار هکتار از اراضی تحت آبیاری از آب‌های زیرزمینی (شرایط کاربری اراضی میانه دوره)	برنامه مصوب کارگروه احیای دریاچه ارومیه

نتایج

حسابداری آب حوضه در شرایط تاریخی

در این بخش، شرایط آبی حوضه در وضعیت تاریخی (سناریوی پایه) ارزیابی شده است. با توجه به دوره آماری ۲۲ ساله این تحقیق، تحلیل‌های مربوط در دو دوره زمانی ۱۳۷۷-۱۳۶۷ و ۱۳۸۸-۱۳۷۸ مورد بررسی قرار گرفت و تلاش شد تا وضعیت چرخه آب حوضه بر اساس گزارش‌های فوق در این دو دوره که حوضه دریاچه ارومیه شرایط محیطی متفاوتی را در آن‌ها تجربه کرده است، مقایسه و بحث شود.

گزارش پایه منابع و مصارف

شکل ۵ گزارش منابع و مصارف برای دو دوره زمانی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. از مهم‌ترین تفاوت‌ها، کاهش ۲۰ درصدی بارش ورودی به حوضه می‌باشد که حجم بارش متوسط سالانه را از ۲۱۲۰۱ به ۱۶۹۹۶ میلیون‌مترمکعب رسانده است. در ادامه و با در نظر گرفتن تغییرات در مولفه‌های ذخیره حوضه، شامل تغییرات حجم ذخایر سطحی، زیرزمینی، برفی و رطوبت خاک، کاهش ۱۹ درصدی در ورودی خالص آب حوضه مشاهده می‌شود که دلیل تفاوت آن با ورودی بارش، عمدتا به بیلان منفی ذخایر آب زیرزمینی حوضه در دوره دوم مرتبط بوده است. مولفه ورودی خالص، می‌بایست پاسخ‌گوی مصارف آب در حوضه (اعم از مدیریت شده و نشده) باشد و علاوه بر آن، حقابه دریاچه را نیز تامین نماید.

از مهم‌ترین نتایج این قسمت مقادیر مربوط به "آب قابل مدیریت" می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که در شرایطی که در دوره اول این مقدار ۷/۹ میلیارد مترمکعب در سال بوده است، در دوره دوم به ۴/۵ میلیارد مترمکعب در سال رسیده است که عمدتا ناشی از تغییرات در شرایط اقلیمی بوده است. برای محاسبه این مقدار که در برنامه‌ریزی‌های حوضه بسیار اهمیت دارد، مدل برای دوره‌های زمانی فوق اجرا و در حین اجرا، کلیه آبیاری‌ها متوقف می‌گردد. همین رویکرد نیز (قطع کامل آبیاری و حذف سدها) توسط موسسه جایکا[1] با استفاده از مدل Mike-SHE و شادکام و همکاران با استفاده از مدل VIC برای برآورد منابع "آب قابل مدیریت" حوضه دریاچه ارومیه به‌کار گرفته شد که نتایج آن‌ها به ترتیب ۴/۵ و ۵/۶ میلیارد در سال برآورد گردید (Shadkam et al., 2016; JAICA., 2016). البته دوره زمانی آن‌ها قدری تفاوت دارند، ولی نتایج سه تحقیق با آنچه هم‌اکنون به عنوان ۷ میلیارد در سال منابع تجدیدپذیر حوضه اعلام

1- Japan International Cooperation Agency (JICA)

می‌گردد (بی‌نام، ۱۳۹۱)، تفاوت جدی دارد. نکته قابل توجه بعدی میزان "تبخیر و تعرق تکمیلی" می‌باشد. در این تحقیق بطور متوسط برای کل دوره (۱۳۶۷ لغایت ۱۳۸۸) ۱/۹ میلیارد در سال برآورد شده است. این مقدار توسط موسسه جایکا و همچنین شادکام و همکاران نیز به ترتیب ۲/۲ و ۲/۸ میلیارد در سال برآورد شده‌اند (Shadkam et al., 2016; JAICA., 2016). این مقادیر همان مصرف بخش کشاورزی هستند. مجددا این مقادیر با آنچه تحت عنوان ۴/۵ میلیارد در سال مصرف کشاورزی حوضه اعلام می‌شود (بی‌نام، ۱۳۹۱)، تفاوت زیادی دارد. اما آنچه که می‌تواند این ارقام را به هم نزدیک کند، اختلاف در برخی مفاهیم مورد استفاده باشد که احتمالا منظور از ۵ میلیارد متر مکعب آب قابل برداشت است که آب برگشتی‌ها را نیز در بر می‌گیرد و آنچه در تحقیق حاضر و سایر تحقیقات مورد اشاره آمده مصرف واقعی[1] می‌باشد.

مقادیر شاخص‌های قابل استخراج از این گزارش‌ها مطابق شرح جدول ۱ نیز در جدول ۵ آمده است. لازم به ذکر است، برای برخی شاخص‌ها در نظر گرفتن مقدار تعهدات آبی پایین‌دست نیز لازم بود. این مورد در خصوص حوضه دریاچه ارومیه، همان حقابه حداقل زیست-محیطی آن می‌باشد که بنا به گزارشات رسمی برابر ۳/۱ میلیارد متر مکعب بطور سالیانه در نظر گرفته شده است (بی‌نام، ۱۳۸۹).

نسبت آب قابل مدیریت: این شاخص نشان‌دهنده بخشی از ورودی خالص حوضه است که طبق برنامه‌ریزی برای مصرف در حوضه و یا تامین حقابه‌های پایین‌دست آن، قابل برنامه‌ریزی می‌باشد. مقدار این شاخص برای دوره زمانی ۱۱ ساله اول برابر با ۳۷ درصد بوده که در دوره دوم به ۲۶ درصد کاهش پیدا کرده است. این تغییر عمدتا متاثر از کاهش بارندگی‌ها می‌باشد، هر چند تغییرات کاربری اراضی نیز تا حدی بر آن تاثیرگذار بوده است. با مقایسه مقدار این شاخص بین دو دوره زمانی می‌توان نتیجه گرفت حوضه دریاچه ارومیه ۱۱ درصد از ظرفیت تولید منابع قابل مدیریت خود را از دست داده است. البته بایستی به این نکته نیز توجه نمود که شاخص مذکور بر اساس سنجش مقدار آب قابل مدیریت به کل ورودی خالص آب حوضه تعریف گردیده و کاهش ۱۱ درصدی آن به معنی کاهش مقدار مشابه در مقدار آب قابل مدیریت حوضه بین دو دوره زمانی مورد بحث نیست.

نسبت تغییر ذخائر زیرزمینی: این شاخص میزان پایداری منابع آب زیرزمینی حوضه را نشان می‌دهد. مقدار شاخص برای دوره زمانی اول تقریبا صفر بوده که بیانگر پایداری نسبی این ذخایر می‌باشد. اما در دوره دوم مقدار این شاخص نشان می‌دهد که حدود ۵ درصد از کل آب قابل مدیریت حوضه از محل افت ذخیره این منابع (اضافه برداشت) تامین شده است. کاهش سالانه حجم منابع آب زیرزمینی به میزان ۲۱۵ میلیون متر مکعب از شواهد شرایط ناپایدار در حوضه طی این دوره می‌باشد که با مقادیر گزارش شده افت سالانه منابع آب زیرزمینی حوضه با تحقیق باقری‌هارونی (۱۳۹۰) مطابقت دارد.

نسبت آب قابل مصرف: این شاخص گویای نسبتی از آب قابل مدیریت حوضه است که با رعایت حقابه‌های پایین‌دست، در داخل آن قابل مصرف می‌باشد. به عبارت دیگر، بخشی از آب قابل مدیریت حوضه است که تعهدی در پایین دست به تامین آن وجود ندارد. مقدار این شاخص برای دوره اول نشان می‌دهد که امکان مصرف ۶۱ درصد منابع قابل بهره‌برداری حوضه در داخل آن، در حالت تامین کامل تعهدات پایین‌دست (۳۱۰۰ میلیون متر مکعب در سال حقابه دریاچه) وجود داشته است. اما در دوره دوم، با فرض قبول مقدار قبلی به عنوان حقابه دریاچه، تنها امکان مصرف ۴۴ درصد منابع قابل بهره‌برداری حوضه در داخل آن وجود داشته و مابقی جزو حقابه تعهدی پایین‌دست بوده است.

نسبت مصرف حوضه: این شاخص نشان می‌دهد که از آب قابل تخصیص در حوضه، چه مقداری به مصرف رسیده است. این مقدار برای دوره اول برابر با ۳۶ درصد بوده و به عبارت دیگر، حدود یک سوم آب قابل تخصیص در آن مصرف شده و لذا امکان توسعه مصارف آب در سطح حوضه در این دوره وجود داشته است. اما در دوره دوم، مقدار شاخص برابر با ۱۵۵ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد، در این دوره بیش از حد مجاز از منابع آب حوضه استفاده شده و در واقع، بخشی از تعهدات آبی حوضه به پایین‌دست (۳۱۰۰ میلیون متر مکعب حقابه دریاچه ارومیه) در داخل آن به مصرف رسیده است.

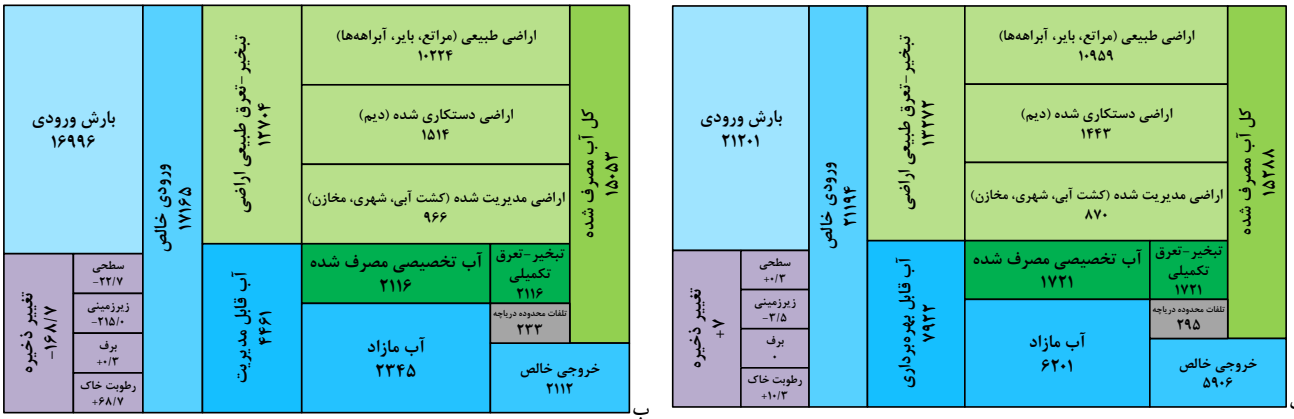
نسبت تامین تعهدات پایین‌دست: این شاخص مبین آن است که چه سهمی از تعهدات آبی پایین‌دست حوضه تامین شده که برای دوره اول برابر با ۲۰۰ درصد بوده است. بدین ترتیب حوضه ۲ برابر تعهد موجود به پایین‌دست (حقابه ۳۱۰۰ میلیون متر مکعبی دریاچه ارومیه) را تامین کرده است. اما در دوره دوم، این میزان به ۷۶ درصد کاهش یافته که نشان می‌دهد حوضه نتوانسته ۲۴ درصد از حقابه دریاچه (حدود ۷۵۰ میلیون متر مکعب) را تامین نماید.

گزارش تبخیر-تعرق

شکل ۶ وضعیت حوضه از منظر این گزارش برای دو دوره زمانی مورد بررسی را نشان می‌دهد. مولفه‌های سمت چپ شکل نشان می‌دهد که کمیت مصارف آب حوضه به تفکیک کاربری‌های مختلف اراضی به چه صورت بوده است. ملاحظه می‌گردد که تغییرات عمده این بخش در مصارف بخش اراضی مدیریت شده آبی بوده که ۱۹ درصد افزایش نشان می‌دهد و حاصل افزایش سطح زیر کشت آبی حوضه و آب مصرف شده ناشی از آبیاری بیش‌تر می‌باشد. تغییر

1- Depletion

مصرف آب در سایر کاربری‌ها نیز تابع کاهش‌های جوی و تغییر سطح اراضی مربوط بوده است.



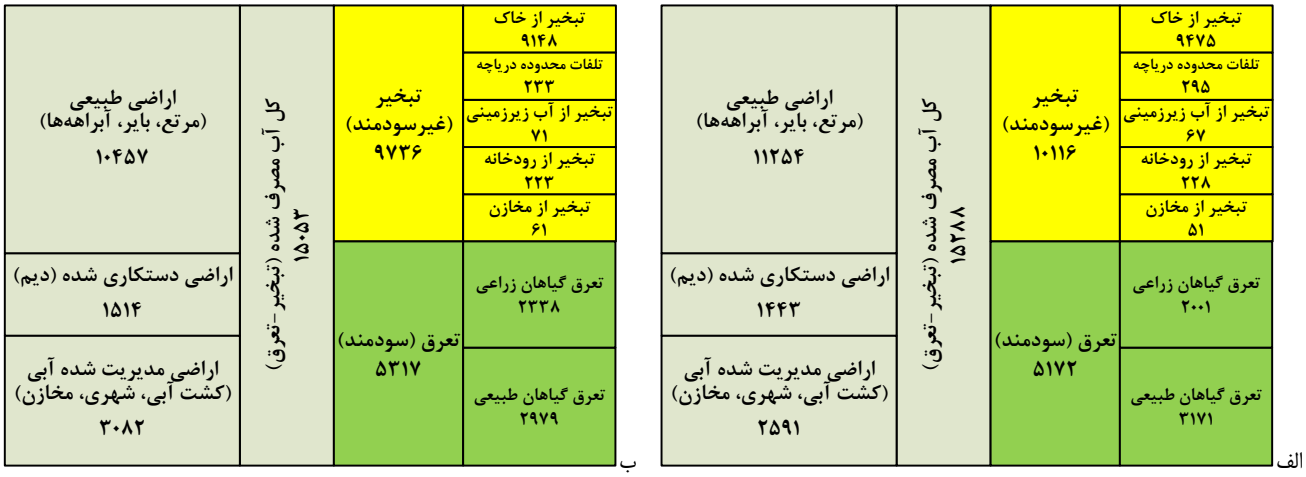
شکل ۵- گزارش پایه منابع و مصارف متوسط سالانه سیستم حسابداری آب برای دوره‌های زمانی الف) ۱۳۷۷-۱۳۶۷، ب) ۱۳۸۸-۱۳۷۸ (میلیون متر مکعب)

جدول ۵- شاخص‌های مستخرج از گزارش پایه منابع و مصارف سیستم حسابداری آب برای دوره‌های زمانی مختلف

عنوان شاخص	دوره تحلیل ۱۳۷۷-۱۳۶۷	دوره تحلیل ۱۳۸۸-۱۳۷۸
نسبت آب قابل مدیریت	$\frac{7922}{21194} \cong 0.37$	$\frac{4461}{17165} \cong 0.26$
نسبت تغییر ذخایر زیرزمینی	$\frac{(-)3.5}{7922} \cong 0.00$	$\frac{(-)215}{4461} \cong (-)0.05$
نسبت آب قابل مصرف	$\frac{7922-3100}{7922} \cong 0.61$	$\frac{4461-3100}{4461} \cong 0.44$
نسبت مصرف	$\frac{1721}{7922-3100} \cong 0.36$	$\frac{2116}{4461-3100} \cong 1.55$
نسبت تامین تعهدات پایین‌دست	$\frac{6201}{3100} \cong 2.00$	$\frac{2345}{3100} \cong 0.76$

سمت راست شکل ۶ نیز تفکیک بخش‌های سودمند و غیرسودمند مصارف آب در سطح حوضه را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که علی‌رغم کاهش آب قابل مدیریت حوضه که در گزارش قبلی مورد اشاره قرار گرفت، مصارف سودمند حوضه در دوره دوم افزایش ۲/۸ درصدی را تجربه نموده که دلیل آن، افزایش ۱۶/۸ درصدی تعرق گیاهان در سطح اراضی کشاورزی به واسطه گسترش سطح اراضی، افزایش گیاهان پرمصرف‌تر و توسعه آبیاری بوده است. در مقابل، تعرق گیاهان در اراضی طبیعی (مراتع) به واسطه کاهش سطح (جزیی) و تامین کم‌تر منابع رطوبتی مورد نیاز (ناشی از کاهش بارش‌ها)، ۶/۱ درصد افت نشان می‌دهد. در بخش مصارف غیرسودمند حوضه، مهم‌ترین مولفه مربوط به تبخیر از خاک بوده که ۹۴ درصد (۹۴۷۵ از ۱۰۱۱۶) از کل سهم این مصارف را شامل می‌شود. مقدار این مولفه نیز عمدتا تحت تاثیر کاهش بارش، حدود ۳/۵ درصد افت داشته است. البته بالا رفتن سطح زیر کشت و حجم آبیاری اثرات افزایشی بر آن داشته، اما در حد تبعات منفی ناشی از کاهش بارش‌ها نبوده است. بخش قابل ملاحظه دیگر از مصارف غیرسودمند حوضه، مربوط به تلفات جریان در محدوده دریاچه ارومیه می‌باشد که تقریبا ۲۱ درصد کاهش را بین دو دوره زمانی نشان می‌دهد. این تغییر نیز بر اثر کاهش قابل ملاحظه جریان رودخانه‌های حوضه در دوره دوم بوده است. در عین حال، مقدار تلفات در محدوده دریاچه به نسبت جریان ورودی آن افزایش داشته و از ۴/۷ به ۹/۹ درصد رسیده است. دلیل این امر نیز تحلیل رفتن دریاچه و افزایش مساحت بستر خشک شده آن می‌باشد که موجب افزایش تلفات جریان در محدوده دریاچه گردیده است. تبخیر از منابع آب زیرزمینی حوضه نیز در دوره دوم اندکی افزایش نشان می‌دهد. این تغییر ناشی از توسعه اراضی زیرکشت آبی می‌باشد که بعضا به دلیل شرایط زهکشی نامناسب اراضی، موجب بالا آمدن تراز آب زیرزمینی و تسهیل تبخیر می‌گردد. همچنین تبخیر از مخازن سطحی حوضه نیز به دلیل بهره‌برداری از سدهای جدید در دوره دوم، حدود ۱۰ میلیون‌مترمکعب در سال (۲۰ درصد) افزایش نشان می‌دهد. شاخص‌های قابل استخراج از گزارش

تبخیر–تعرق حوضه (توضیح مربوطه در جدول ۲ آورده شده است) در جدول ۶ آمده است.



شکل ٦- گزارش تبخیر وتعرق متوسط سالانه سیستم حسابداری آب برای دوره‌های زمانی الف) ۱۳۷۷-۱۳٦۷، ب) ۱۳۸۸-۱۳۷۸ (میلیون متر مکعب)

جدول ٦- شاخص‌های مستخرج از گزارش تبخیر-تعرق حوضه برای دوره‌های زمانی مختلف

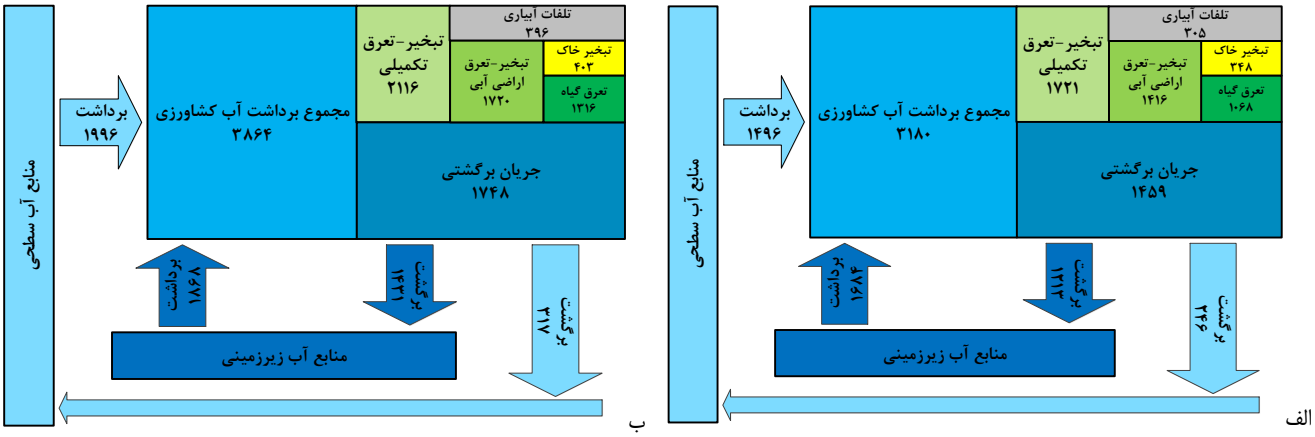
عنوان شاخص	دوره تحلیل ۱۳٦۷-۱۳۷۷	دوره تحلیل ۱۳۷۸-۱۳۸۸
نسبت تعرق (سودمندی مصرف)	$\frac{5172}{15288} \cong 0.34$	$\frac{5317}{15053} \cong 0.35$
نسبت مصارف قابل مدیریت	$\frac{1443+2591}{15288} \cong 0.26$	$\frac{1514+3082}{15053} \cong 0.31$
نسبت تبخیر–تعرق کشاورزی	$\frac{7922-3100}{7922} \cong 0.61$	$\frac{4461-3100}{4461} \cong 0.44$
نسبت تبخیر–تعرق کشاورزی آبی	$\frac{957+1416}{15288} \cong 0.16$	$\frac{966+1720}{15053} \cong 0.18$
نسبت تامین تعهدات پایین‌دست	$\frac{1416}{957+1416} \cong 0.60$	$\frac{1720}{966+1720} \cong 0.64$

گزارش برداشت

این گزارش، اطلاعات را در خصوص مقدار برداشت از منابع مختلف، چرخه مصرف بخشی از آن و برگشت مابقی را در قالبی استاندارد ارایه می‌دهد. شکل ۷ گزارش برداشت دو دوره زمانی مورد بررسی، به همراه درصد تغییر بین آن‌ها را برای حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. بر این مبنا، می‌توان گفت که مقدار برداشت از منابع سطحی، زیرزمینی و کل برداشت برای آبیاری اراضی کشاورزی در دوره دوم به ترتیب ۳۳/۵، ۱۰/۹ و ۲۱/۵ درصد افزایش یافته است. این افزایش برداشت به منظور تامین آب مورد نیاز برای اراضی زیر کشت آبی که در طول زمان توسعه یافته، صورت گرفته است. بر این اساس، مقدار مصارف آب (تبخیر–تعرق تکمیلی) حدودا با ۲۳ درصد افزایش، از ۱۷۲۱ میلیون‌مترمکعب در دوره اول به ۲۱۱۶ میلیون-مترمکعب در دوره دوم رسیده است که شامل تلفات آبیاری و تبخیر–تعرق اراضی آبی می‌باشد. تلفات انتقال و کاربرد آب آبیاری (شامل تبخیر مستقیم و نشت منتهی به تبخیر و یا مصرف توسط علف‌های هرز در داخل کانال‌های انتقال، تبخیر آب پیش از نفوذ در خاک مزرعه و سایر موارد) به دلیل بالا رفتن حجم برداشت آب (خصوصا افزایش سهم آب سطحی که توام با تلفات بیش‌تری به دلیل نیاز به انتقال و مسائل مربوط به شبکه‌های آبیاری سطحی می‌باشد)، در حدود ۳۰ درصد افزایش داشته و از ۳۰۵ به ۳۹۶ میلیون‌مترمکعب در سال رسیده است.

آخرین بخش این گزارش، به میزان برگشت بخشی از آب برداشت شده به منابع آب قابل استحصال حوضه می‌پردازد که در بسیاری موارد به اندازه کافی مورد توجه قرار نمی‌گیرد. این بخش، عمدتا در تحلیل راندمان سیستم‌های آبیاری به عنوان تلفات در نظر گرفته می‌شود (Lankford., 2012). اما در عمل جزو تلفات واقعی

آب محسوب نمی‌شود؛ چرا که از چرخه آبی حوضه خارج نشده و قابلیت بازیابی و استفاده مجدد آن وجود دارد (Keller and Keller., 1995). تحلیل انجام شده نشان می‌دهد، در حدود ۴۵ درصد آب برداشتی برای آبیاری در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در این قالب قرار می‌گیرد که با توجه به افزایش مقدار آب برداشتی در طول زمان، مقدار آن در دوره دوم نسبت به دوره اول در حدود ۲۰ درصد افزایش یافته و از ۱۴۵۹ به ۱۷۴۸ میلیون‌مترمکعب رسیده است. بخشی عمده این آب به منابع زیرزمینی برمی‌گردد که شامل ۸۳ درصد آن می‌باشد. همانند قبل، برای این گزارش نیز تعدادی شاخص قابل استخراج می‌باشد که مشخصات و مقدار آن‌ها برای دو دوره زمانی مورد بررسی در جدول ۷ آمده که مورد بحث قرار خواهند گرفت.



شکل ۷-گزارش برداشت متوسط سالانه سیستم حسابداری آب برای دوره‌های زمانی الف) ۱۳۷۷-۱۳۶۷، ب) ۱۳۸۸-۱۳۷۸ (میلیون متر مکعب)

جدول ۷- شاخص‌های مستخرج از گزارش برداشت حوضه برای دوره‌های زمانی مختلف

عنوان شاخص	دوره تحلیل ۱۳۶۷-۱۳۷۷	دوره تحلیل ۱۳۷۸-۱۳۸۸
نسبت برداشت آب زیرزمینی	$\frac{1684}{3180} \cong 0.53$	$\frac{1868}{3864} \cong 0.48$
راندمان کلاسیک آبیاری	$\frac{1416}{3180} \cong 0.45$	$\frac{1720}{3864} \cong 0.44$
راندمان موثر آبیاری	$\frac{1416}{3180 - 1459} \cong 0.82$	$\frac{1720}{3864 - 1748} \cong 0.81$
نسبت آب برگشتی	$\frac{1459}{3180} \cong 0.46$	$\frac{1748}{3864} \cong 0.45$

از مهمترین شاخص‌های این گزارش دو راندمان کلاسیک آبیاری و راندمان موثر آبیاری (یا راندمان حوضه‌ای) می‌باشد که به نتایج آن در ادامه اشاره می‌گردد.

راندمان کلاسیک آبیاری (IE_C): نسبت مقدار تبخیر-تعرق ناشی از آبیاری در اراضی کشاورزی نسبت به کل آب برداشت شده می‌باشد که طبق رابطه شماره ۱ محاسبه می‌گردد (Jensen., 2007).

$$IE_C = \frac{ET_a}{W - P_e} \quad (۱)$$

که در آن ET_a مقدار تبخیر-تعرق واقعی گیاه در دوره شد، P_e بارش موثر در دوره رشد گیاه و W مقدار آب برداشتی از منبع برای آبیاری می‌باشد. در تحلیل حاضر، مقدار تبخیر-تعرق خالص اراضی کشاورزی ناشی از آبیاری به طور مستقیم از خروجی‌های مدل SWAT-LU، با استفاده از روابط ۲ و ۳ تعیین گردید.

$$IE_C = \frac{ET_{a-net}}{W} \quad (۲)$$

$$ET_{a-net} = ET_{irr} - ET_{no-irr} \quad (۳)$$

که در آن ET_{a-net} مقدار تبخیر-تعرق گیاه ناشی از آب آبیاری (بدون اثر بارش) می‌باشد که بر اساس تفاوت تبخیر-تعرق اراضی فاریاب بین شرایط انجام آبیاری و عدم اعمال آن در مدل SWAT-LU تعیین می‌گردد. مقدار این شاخص که به‌طور سنتی برای سنجش عملکرد سیستم‌های آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای هر دو دوره در حدود ۴۳ درصد به‌دست آمده که تطبیق مناسبی با ارقام گزارش شده در خصوص راندمان آبیاری در حوضه آبریز دریاچه ارومیه دارد (بی‌نام، ۱۳۹۱).

راندمان موثر آبیاری (IE_E): این شاخص نشان می‌دهد که چه میزان از آبی که در اراضی کشاورزی آبی مصرف گردیده، صرف

تبخیر–تعرق گیاهان کشاورزی شده است. مزیت این شاخص، در نظر گرفتن سهم آب برگشتی و عدم لحاظ نمودن آن به عنوان تلفات واقعی آب برداشت شده برای آبیاری می‌باشد. لازم به ذکر است که در برخی از مراجع از این شاخص با عنوان راندمان آبیاری حوضه‌ای نیز یاد شده است (Cai et al., 2006). رابطه ۴ برای تعیین این شاخص قابل استفاده است (Jensen., 2007).

$$IE_E = IE_C + f_r(1 - IE_C) \quad (۴)$$

که در آن f_r نسبت آب برگشتی به کل آب برداشتی است. یادآوری می‌گردد که آب برگشتی به آن بخش از آب برداشت شده برای آبیاری اطلاق می‌گردد که مصرف نشده و به منابع آب قابل استحصال حوضه (اعم از سطحی و زیرزمینی) برمی‌گردد. مقدار این شاخص در هر دو دوره زمانی در حدود ۸۲ درصد بوده که تطبیق مناسبی با تحقیقات مشابه، نظیر کلر و کلر و کریمی و همکاران دارد (Keller and Keller, 1995; Karimi et al., 2013b). در همین خصوص، طلوعی نیز مقدار ۷۹٪ را برای راندمان موثر آبیاری حوضه آبریز زرینه‌رود گزارش نموده است (طلوعی، ۱۳۹۳).

ارزیابی اثربخشی راهکارهای احیای دریاچه

در این بخش، نتایج ارزیابی میزان تاثیر هر یک از راهکارهای مورد نظر در افزایش جریان‌های ورودی به دریاچه ارومیه بر مبنای اعمال سناریوهای شبیه‌سازی راهکارها در مدل SWAT-LU ارایه می‌شود. در ارایه این نتایج، همچنین میزان انعطاف‌پذیری این نیز آشکار می‌گردد که به‌راحتی امکان تغییر کاربری و تقویم‌ها در آن میسر می‌باشد.

حسابداری آب حوضه در شرایط بهره‌برداری فعلی

توجه به اینکه اصولا اقدامات علاج‌بخشی دریاچه ارومیه از مقطع زمانی حال آغاز و برای آینده برنامه‌ریزی می‌شود، منطقی می‌باشد. بدین معنا که کارآیی این اقدامات در شرایط فعلی کاربری اراضی (به عبارت دیگر، شرایط فعلی بهره‌برداری از منابع آب) حوضه ارزیابی شود. لذا برای این بخش، گزارش حسابداری آب حوضه بر مبنای اجرای ۲۲ ساله مدل در شرایط وجود کاربری اراضی سال ۱۳۸۶ از ابتدای دوره شبیه‌سازی (سال ۱۳۶۷) تهیه شدند. گزارش‌ها مطابق با موارد ذکر شده در بخش قبل برای نیمه اول (۱۳۷۷–۱۳۶۷) و دوم (۱۳۸۸–۱۳۷۸) دوره و همچنین مرطوب‌ترین سال مشاهده شده در آن (۱۳۷۳) در شکل‌های ۸ تا ۱۰ آمده است. دلیل تحلیل جداگانه برای مرطوب‌ترین سال، تعیین حداکثر پتانسیل به‌کارگیری راهکارهای قابل انجام برای افزایش جریان ورودی به دریاچه ارومیه (یعنی شرایط دسترسی به بیش‌ترین حد منابع آب حوضه) می‌باشد.

همانطور که در گزارش‌های مختلف حسابداری آب قابل مشاهده است، در شرایط کاربری اراضی سال ۱۳۸۶، برداشت متوسط سالانه آب از منابع سطحی حوضه در نیمه اول دوره در مقایسه با شرایط واقعی (افزایش تدریجی اراضی فاریاب) به شدت افزایش می‌یابد و تقریبا دو برابر است. دلیل این امر، علاوه بر توسعه اراضی فاریاب، به شرایط اقلیمی این دوره نیز مربوط بوده که امکان برداشت آب مورد نیاز اراضی به مقدار بیش‌تری در آن فراهم بوده است. همچنین، برداشت آب از منابع سطحی در سال ۱۳۷۳ که مرطوب‌ترین سال دوره مورد بررسی است، به حدود ۳/۱ میلیاردمترمکعب می‌رسد. در نیمه دوم دوره، به دلیل خشکسالی‌های زیاد و عدم امکان تامین آب مورد نیاز اراضی از یک سو و نزدیک شدن وسعت اراضی آب حوضه در این سناریو (شرایط کاربری اراضی سال ۱۳۸۶ برای کل دوره شبیه‌سازی) به شرایط واقعی، برداشت آب از منابع سطحی افزایش چندانی نسبت به شرایط پایه نشان نمی‌دهد.

سناریوسازی اقدامات مدیریتی

بر اساس اقدامات ارایه شده در جدول ۴، ۹ سناریو شامل اعمال منفرد و ترکیبی آن‌ها در نظر گرفته شد. شرایط مربوط به این سناریوها به همراه میزان اثربخشی آن‌ها بر صرفه‌جویی واقعی آب حوضه (کاهش آب خروجی واقعی در سطح حوضه) براساس مدل SWAT-LUدر جدول ۸ آمده است.

لازم به ذکر می‌باشد که به جز ردیف‌های ۴ و ۹ جدول ۸، مابقی سناریوها بر اساس برداشت آب در واحد سطح مطابق با شرایط پایه در نظر گرفته شد. برای ایجاد این شرایط در مدل‌سازی، مقدار آب تخصیص یافته در واحد سطح به هر بخش از اراضی فاریاب حوضه از نتایج خروجی مدل در سناریوی پایه استخراج و برای سناریوهای مبتنی بر اعمال اقدامات مورد نظر مورد استفاده قرار گرفت که مستلزم انجام تغییراتی در کد مدل بود. اما در سناریوهای ردیف‌های ۴ و ۹ جدول ۸، تغییر ممکن در رفتار معمول کشاورزان پس از برخی صرفه‌جویی‌ها (و دستیابی به منابع آب جدید) نیز شبیه‌سازی شده است. بدین معنا که در صورت صرفه‌جویی (واقعی و یا ظاهری) در یک بخش (مانند استفاده از سیستم‌های تحت فشار و یا کاهش تلفات انتقال آب)، اراضی زیر کشت افزایش یافته و یا کم‌آبیاری‌های (اجباری) گذشته اعمال نمی‌شود. از اینگونه اقدامات، تحت عنوان rebound effect یاد می‌شود (Ghoddusi., 2015; Shadkam et al., 2016). لذا، این شرایط نیز به عنوان سناریوهایی مستقل مورد توجه قرار گرفته است.

استفاده از مالچ کاهی در اراضی دیم و زهکشی اراضی فاریاب (M1.1 و M1.2): علی‌رغم تاثیر مثبت، این اقدامات تغییر چندانی در کاهش مصارف آب حوضه ایجاد نمی‌کنند. به نحوی که استفاده از مالچ در نیمه ابتدایی دوره تحلیل تنها ۱۰۶ میلیون‌مترمکعب

مصارف آب حوضه را کاهش داده و برای دوره دوم ۷۶ میلیون-مترمکعب بوده است. همچنین مقدار صرفه‌جویی واقعی آب حوضه در اثر اجرای این راهکار برای مرطوب‌ترین سال دوره نیز برابر با ۱۳۳ میلیون‌مترمکعب می‌باشد. اثر زهکشی و کاهش سطح ایستابی در اراضی کشاورزی برای کاهش تبخیر از آن نیز به همین ترتیب بوده، با این تفاوت که کارآیی آن در حدود یک سوم اقدام قبلی می‌باشد.

جدول ۸- نتیجه ارزیابی اثر منفرد و ترکیبی اقدامات مورد نظر در صرفه‌جویی واقعی آب حوضه برای دوره‌های زمانی مختلف (همه ارقام به میلیون متر مکعب)

شماره سناریو	شرایط	اقدام	دوره زمانی ارزیابی		
			۱۳۶۷-۱۳۷۷	۱۳۷۸-۱۳۸۸	۱۳۷۳
۱	M1.1	کاهش تبخیر از خاک اراضی دیم	۱۰۶	۷۶	۱۳۳
۲	M1.2	زهکشی اراضی آبی	۲۹	۲۵	۳۶
۳	M1.3	افزایش راندمان آبیاری	۲۹۴	۱۹۸	۳۳۱
۴	+M1.3	افزایش راندمان آبیاری	۱۱۲	-۳۰	۱۵۱
۵	M1.4	کاهش تلفات محدوده دریاچه		۵۰-۶۰۰	
۶	M2	کاهش ۱۰۰ هزار هکتار از اراضی زیر کشت آبی	۵۰۱	۴۱۴	۶۴۷
۷	M2+ M 1.3	ترکیبی	۷۰۰	۵۳۳	۸۴۷
۸	M 1.1+ M1.2+ M2	ترکیبی	۶۲۳	۵۰۹	۷۹۶
۹	*M 1.1+ M1.2+ M2	ترکیبی	۵۴۶	۳۹۳	۷۳۳

* در شرایط برداشت بیشتر از وضعیت فعلی در واحد سطح حاصل از rebound effect

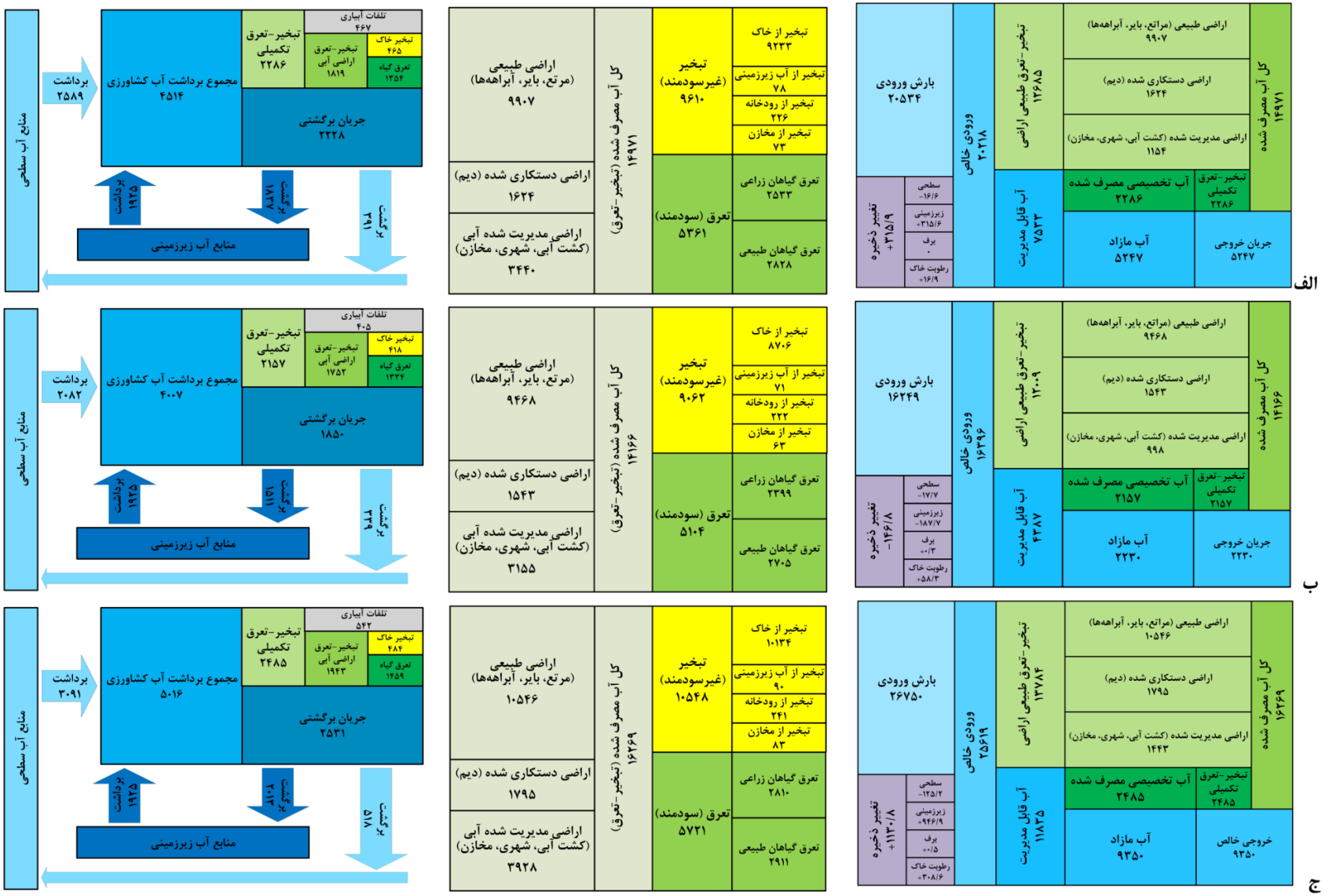
افزایش راندمان آبیاری (M1.3): این بخش بلند پروازانه شبیه‌سازی گردید و فرض شد تا کل اراضی فاریاب حوضه مجهز به سیستم‌های آبیاری تحت فشار و ارتقا کیفیت در کانال‌های انتقال آب در شبکه‌های آبیاری شوند. نتایج نشان داد که تنها موجب ۲۹۴، ۱۹۸ و ۳۳۱ میلیون‌مترمکعب کاهش مصارف حوضه (صرفه‌جویی واقعی آب)، به ترتیب برای دوره‌های ۱۱ ساله اول و دوم دوره و سال ۱۳۷۳ می‌گردد. دلیل این امر، بازگشت بخش قابل توجهی از تلفات اسمی در شیوه‌های سنتی آبیاری به چرخه منابع آب حوضه و قابلیت استفاده مجدد از آن توسط مصرف‌کنندگان پایین‌دست می‌باشد که در تحقیق لنکفورد نیز به صراحت مورد تاکید قرار گرفته است (Lankford., 2012). موارد مشابه نیز در گزارش اخیر سازمان جهانی فائو تحت عنوان "آیا سامانه‌های آبیاری پیشرفته باعث صرفه جویی آب می‌شوند؟" قابل مشاهده هستند (Perry et al., 2017). به همین ترتیب نتایج حاصل از مدل SWAT-LU نیز نشان می‌دهد که افزایش راندمان آبیاری در سطح کل مزارع حوضه آبریز دریاچه ارومیه موجب کاهش قابل توجه در مصارف آب حوضه نخواهد شد و مقدار صرفه‌جویی آن در حدود ۷ درصد مقدار آب برداشتی خواهد بود.

اما همانگونه که اشاره شد، بهبود راندمان آبیاری امکان دسترسی به آب بیش‌تری را به‌طور محلی برای کشاورزان فراهم می‌سازد. در نتیجه، چنانچه این راهکار بدون اقدامات مدیریتی کنترل برداشت اجرا گردد، می‌تواند همین تاثیر محدود را نیز کمرنگ‌تر کرده و حتی به افزایش مصارف واقعی آب حوضه منتهی گردد. تجارب عملی از بروز چنین مشکلاتی در کشورهای اسپانیا و شیلی گزارش شده است (Scott et al., 2014). ارزیابی این موضوع، یک سناریو بر مبنای افزایش راندمان آبیاری بدون محدود نمودن شرایط برداشت آب در واحد سطح پایه اجرا شد. در واقع در این سناریو با افزایش راندمان آبیاری، اجازه داده می‌شود، کم‌آبیاری‌های اجباری معمول در برخی از اراضی، کاهش یابد و نیاز آبی آن‌ها به شکل مطلوب‌تری تامین گردد که به نوعی شبیه‌سازی ساده‌ترین رفتار ممکن از طرف کشاورز است. نتایج این سناریو (ردیف ۴ جدول ۸) نشان می‌دهد که در این شرایط، مقدار صرفه‌جویی واقعی آب در حوضه کاهش می‌یابد، به نحوی که در نیمه دوم دوره مورد بررسی (۱۳۸۸-۱۳۷۸) نه تنها مصرف آب کاهش نمی‌یابد، بلکه افزایش جزیی نیز در مقدار آن مشاهده می‌شود.

کاهش تلفات رودخانه‌ها در محدوده دریاچه (M1.4): کاهش تلفات آب رودخانه‌ها در محدوده بستر دریاچه ارومیه تابعی از مقدار جریان و وضعیت دریاچه در هر زمان می‌باشد و از این‌رو نتیجه‌گیری در خصوص اثربخشی آن، در قالب ارایه یک مقدار مشخص امکان‌پذیر نیست. اما با توجه به نتایج شبیه‌سازی صورت گرفته، اجرای این راهکار منجر به ۵۰ تا ۶۰۰ میلیون‌مترمکعب صرفه‌جویی واقعی آب حوضه در سال‌های مختلف می‌شود.

لازم به ذکر است که در شرایط فعلی که دریاچه در شرایط بحرانی به سر می‌برد و به همین دلیل تلفات مذکور سهم قابل توجهی

از جریانات ورودی به محدوده دریاچه را غیرمثمر می‌سازد. لذا اقدام در این خصوص می‌تواند منجر به افزایش قابل ملاحظه جریانـات ورودی به دریاچه شود، هرچند به لحاظ اجرایی مشکلات خاص خود را دارد و جنبه‌های اکولوژیک متفاوتی را نیز دارا است.



شکل ۸- گزارش‌های پایه منابع و مصارف براساس کاربری ۱۳۸۶ به عنوان پایه محاسبات (راست)، تبخیر وتعرق (وسط) و برداشت (چپ) سیستم حسابداری آب برای دوره‌های زمانی الف) ۱۳۷۷-۱۳۶۷، ب) ۱۳۸۸-۱۳۷۸ و ج) سال ۱۳۷۳ (میلیون‌مترمکعب)

کاهش اراضی فاریاب (M2): سناریوی مربوط به کاهش سطح اراضی آبی حوضه، صرفه‌جویی واقعی آب حوضه به میزان ۵۰۱، ۴۱۴ و ۶۴۷ میلیون‌مترمکعب را به ترتیب برای نیمه‌های اول و دوم دوره مورد بررسی و سال ۱۳۷۳ نشان می‌دهد. در مقایسه اثر منفرد هر یک از اقدامات پیش‌بینی شده، این سناریو بیش‌ترین مقدار کاهش مصرف واقعی آب در حوضه را موجب می‌گردد که دلیل آن حذف بخشی از سطوح مصرف‌کننده اصلی آب (گیاه کشت شده)، علاوه بر کلیه تلفات واقعی مترتب بر آبیاری اراضی مربوط می‌باشد.

ارزیابی اثرات جانبی اقدامات

از دیگر ویژگی‌های روش‌شناسی این تحقیق امکان ارزیابی اثرهای جانبی اقدامات می‌باشد تا بتوان تبعات آن را روی سایر مولفه-های هیدرولوژیک حوضه آبریز ارزیابی نمود. به عبارتی شفاف‌تر، اقدام عملکرد مثبت در یک نقطه و کارکرد منفی در جای دیگری نداشته باشد. بدین منظور، تبعات اقدامات روی جریان ورودی دریاچه و تغییرات ذخیره آبی در حوضه به‌طور همزمان مورد بحث قرار می‌گیرد. این مهم براساس میزان "صرفه‌جویی واقعی آب حوضه" در اثر هر نوع اقدامی و تغییر در میزان خروج آب از سیستم حوضه (در قالب تبخیر-تعرق)، به شکل رابطه شماره ۵ قابل تعریف است:

$$IE_E = IE_C + f_r(1 - IE_C) \qquad \begin{matrix} RWS = -\Delta ET \\ = \Delta O + \Delta(\Delta S) \end{matrix} \qquad (۵)$$

که در آن RWS مقدار صرفه‌جویی واقعی آب (معادل با مقدار کاهش تبخیر-تعرق حوضه یا $-\Delta ET$)، ΔO تغییر در میزان جریان خروجی حوضه و $\Delta(\Delta S)$ تغییر در تغییر ذخیره آب داخل حوضه بر اثر اعمال اقدام مورد نظر نسبت به شرایط پایه می‌باشند. رابطه فوق بر اساس تفاضل معادلات بیلان آب حوضه در دو حالت با و بدون اثر اقدام مورد نظر به‌دست می‌آید که به دلیل ورودی یکسان (بارش) در دو حالت مذکور، شامل آن نیست. از طرف دیگر، بررسی انجام شده نشان داد که مولفه اصلی تغییرات ذخیره حوضه، آب‌های زیرزمینی می‌باشد و مولفه‌هایی نظیر رطوبت خاک و مخازن سطحی تغییر ناچیزی را در اثر اقدامات مورد نظر تجربه می‌نماید. از این‌رو تنها این دو به عنوان مولفه‌های اصلی کنترل‌کننده صرفه‌جویی واقعی آب در اثر اقدامات مدیریتی بررسی خواهند شد. این رویکرد در تحقیق هوانگ و همکاران نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Huang et al., 2015). نتایج این قسمت براساس سه دوره زمانی و ۹ سناریوی مدیریتی منتخب شبیه‌سازی و در شکل ۹ آمده است.

نکته عمومی قابل توجه در این نتایج، کاهش قابل ملاحظه تغذیه آب زیرزمینی در اکثر اقداماتی است که منجر به افزایش ورودی دریاچه می‌شوند. بدین ترتیب، به دلیل بسته بودن حوضه (به مفهوم استفاده حداکثری از منابع آب موجود) و اتکای زیاد به منابع آب زیرزمینی، پایداری تاریخی نسبی این منابع در گرو تغذیه فعلی از محل تلفات اسمی آبیاری از منابع آب سطحی حوضه می‌باشد. موارد مشابهی نیز توسط دی‌گراف و همکاران و هوانگ و همکاران نیز از اثر سوء بعضی اقدامات در کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی گزارش شده است (De Graaf et al., 2014; Huang et al., 2015). به همین ترتیب، در خصوص سناریوی کاهش سطح اراضی فاریاب نیز این موضوع تا حدی وجود دارد و تغذیه آب‌های زیرزمینی نسبت به شرایط پایه کاهش خواهد یافت. هر چند به دلیل بیلان مثبت آبخوان‌ها در نیمه اول دوره و خصوصا سال‌های مرطوب (نظیر ۱۳۷۳) که احتمالا با تشدید بروز اراضی ماندابی و باتلاقی در حاشیه اراضی کشاورزی همراه می‌باشد (Nasri et al., 2015; بی‌نام، ۱۳۹۴). لازم به ذکر است، این اثر کاهشی حداقل در دوره‌های ترسالی می‌تواند تا حدودی مفید نیز باشد.

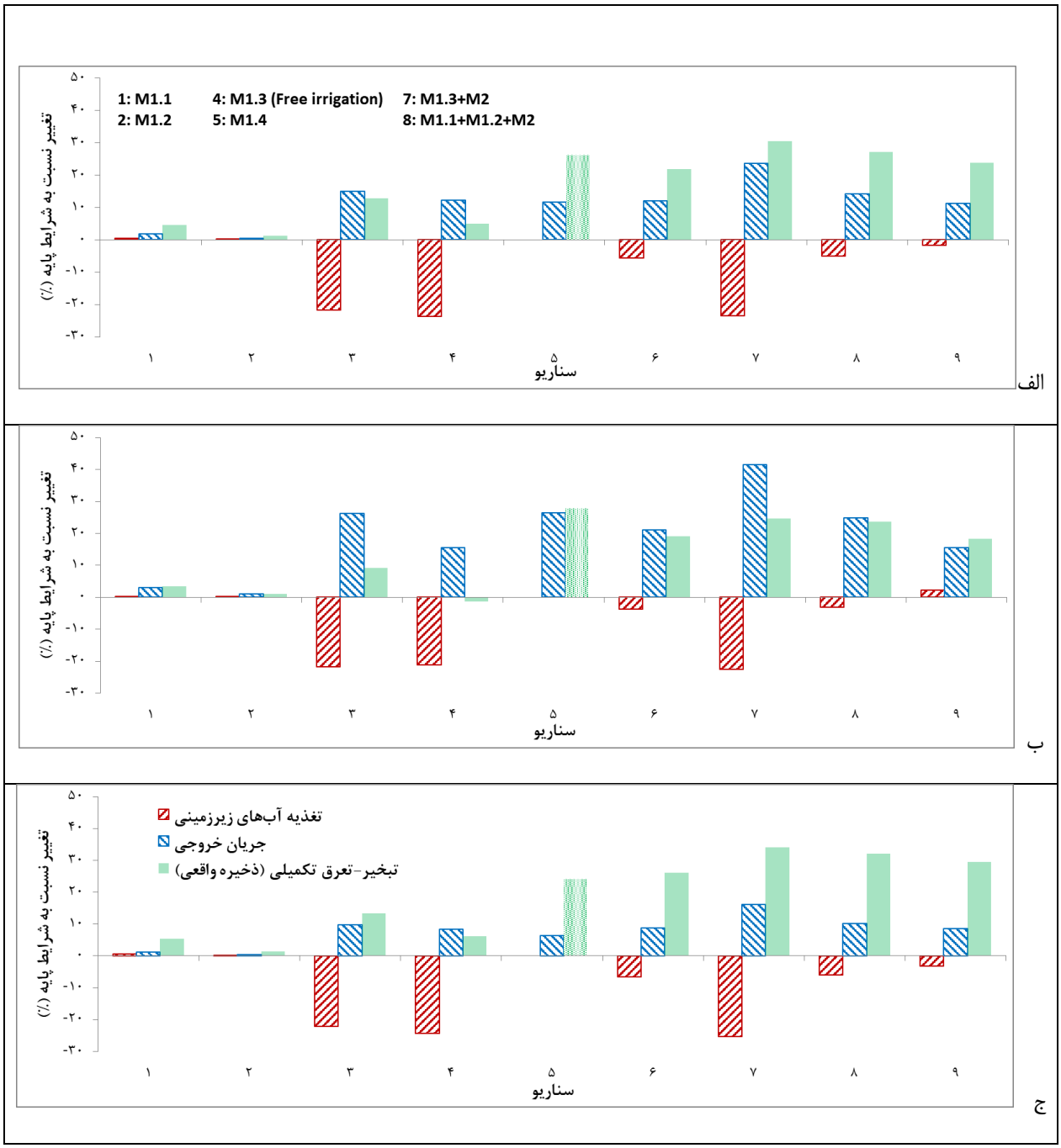
همانطور که ملاحظه می‌شود، سناریوهای مبتنی بر حذف مصارف غیرمفید (اقدامات M1.1 و M1.2) و همچنین کاهش اراضی فاریاب حوضه (M2) راهکارهایی هستند که اثربخشی مناسبی در افزایش جریان ورودی به دریاچه داشته و اثرهای منفی آن‌ها نیز چندان قابل ملاحظه نیست. از این‌رو، یک سناریو مبتنی بر ترکیب آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت (ردیف ۸ از جدول ۸). در این شرایط، دو اقدام اول منجر به تعدیل جزیی بیلان منفی آبخوان‌ها در اثر کاهش سطح اراضی فاریاب شده و بهترین شرایط موجود در بین سناریوهای مختلف برای حفظ وضعیت ذخایر در سطح حوضه و افزایش آبرسانی به دریاچه را ایجاد می‌نمایند. اجرای همین سناریو در شرایط اجازه برداشت آب در صورت موجود بودن (اضافه بر شرایط پایه در واحد سطح، مطابق با ردیف ۹ از جدول ۸) منجر به افزایش ۳ درصدی تغذیه آبخوان‌ها و در مقابل، کاهش ۲ درصدی جریان ورودی به دریاچه می‌گردد (کلیه درصدهای ذکر شده مربوط به مقایسه تغییر بین نتایج سناریوی حاضر نسبت به همین سناریو در شرایط رعایت شرایط فعلی برداشت در واحد سطح می‌باشند). در واقع، در این سناریو نیز اثر افزایش برداشت آب توسط کشاورزان در شرایط دسترسی به آب بیش‌تر، قابل مشاهده است. شکل ۱۰ گزارش منابع و مصارف سیستم حسابداری آب را برای سناریوی منتخب (ردیف ۸ از جدول ۸) و تغییرات آن نسبت به شرایط پایه را برای دوره‌های مختلف زمانی نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر ارزیابی برخی از راهکارهای مطرح در احیای دریاچه ارومیه انجام شد. آنچه که مورد تاکید مقاله بود، ارزیابی روش-ها براساس ظرفیت آن‌ها برای صرفه‌جویی واقعی آب بود و بررسی

تاثیرات جانبی آن‌ها. بدین منظور از مبانی تحلیل حسابداری آب +WA که بخشی از ظرفیت مدل SWAT-LU می‌باشد، استفاده گردید. حسابداری حوضه در دو دوره زمانی تاریخی و با اعمال سناریوهای پیشنهادی برای احیای دریاچه انجام شد که به‌طور خلاصه، نتایج آن قابل ارایه می‌باشد.

– منابع آب قابل مدیریت حوضه آبریز دریاچه ارومیه در نیمه دوم دوره بررسی (۱۳۸۸–۱۳۷۸) نسبت به نیمه اول (۱۳۷۷–۱۳۶۷) به شدت کاهش یافته و از ۷۹۲۲ به ۴۴۶۱ میلیون‌مترمکعب درسال رسیده است.



شکل ۹- تغییر مولفه‌های اصلی بیلان آب حوضه نسبت به شرایط پایه برای سناریوهای اعمال اقدامات مدیریتی مختلف در دوره‌های زمانی الف) ۱۳۷۷–۱۳۶۷، ب) ۱۳۸۸–۱۳۷۸ و ج) سال ۱۳۷۳ (میلیون مترمکعب)

شکل ۱۰- گزارش پایه منابع و مصارف سیستم حسابداری آب در سناریوی M1.1+M1.2+M2 (راست) و درصد تغییرات آن نسبت به شرایط پایه (چپ) برای دوره‌های زمانی الف) ۱۳۷۷-۱۳۶۷، ب) ۱۳۸۸-۱۳۷۸ و ج) سال ۱۳۷۳ (میلیون مترمکعب)

علاوه بر این، سهم کسری مخزن آب زیرزمینی که در دوره اول تقریبا صفر بود، در دوره دوم در حدود ۵٪ منابع مذکور را تشکیل داده که نشان از وضعیت ناپایدار بهره‌برداری از آن‌ها دارد. دلیل اصلی این امر، کاهش ۲۰ درصدی بارش به عنوان تنها مولفه ورودی آب حوضه و افزایش تبخیر و تعرق تکمیلی (مصرف ناشی از دخالت‌های انسانی) به میزان ۲۳٪ در دوره دوم بوده است. بدین معنا که هم منابع کاهش یافته و هم مصارف افزایش داشته است.

- با در نظر گرفتن حقابه سالانه ۳۱۰۰ میلیون‌مترمکعب برای دریاچه ارومیه از منابع آب سطحی حوضه، در نیمه اول دوره بررسی، امکان مصرف ۶۱ درصد (۴۸۲۲ میلیون‌مترمکعب) از آب قابل مدیریت حوضه فراهم بوده که ۳۶ درصد (۱۷۲۱ میلیون‌مترمکعب) از این مقدار مصرف شده است. در نیمه دوم مقدار مصرف مجاز به ۴۴ درصد (۱۳۶۱ میلیون‌مترمکعب) کاهش یافته، در حالی که میزان مصرف خالص از منابع آب حوضه در طی این دوره برابر با ۱۵۵ درصد مقدار مجاز (۲۱۱۶ میلیون‌مترمکعب) بوده که عملا از حقابه دریاچه تامین شده است. بدین ترتیب در دوره اول به میزان دو برابر حقابه مورد نیاز

دریاچه تامین شده، در حالی که در نیمه دوم دوره، تنها ۷۶ درصد آن وارد دریاچه گردیده است.

– نتایج ارزیابی اثربخشی افزایش راندمان آبیاری اراضی فاریاب بر صرفه‌جویی واقعی آب در سطح حوضه و افزایش جریان‌های ورودی به دریاچه نشان داد که این اقدامات، علی‌رغم هزینه‌های سنگین، تنها موجب ۲۹۴ و ۱۹۸ متر مکعب صرفه‌جویی واقعی آب، به ترتیب برای دوره‌های زمانی اول و دوم می‌گردند. دلیل این امر، بازگشت بخش قابل توجهی از تلفات اسمی در شیوه‌های سنتی آبیاری به چرخه منابع آب حوضه و قابلیت استفاده مجدد از آن توسط مصرف‌کنندگان پایین‌دست می‌باشد. در این شرایط، جریان ورودی به دریاچه افزایش خواهد یافت. اما تقریبا ۶۵٪ از این افزایش، آبی است که قبلا صرف تغذیه آبخوان‌های حوضه شده و در نتیجه این رویکرد می‌تواند تاثیر منفی بر بیلان آب زیرزمینی حوضه داشته باشد. لازم به ذکر است که راندمان آبیاری موثر حوضه دریاچه ارومیه حدود ۸۰٪ می‌باشد که در این‌صورت حوضه بسته اطلاق شده و گویای آن است که فن‌آوری، ظرفیتی برای کاهش مصرف آب درشرایط موجود کاربری را نخواهد داشت.

– در سناریوی مربوط به کاهش ۱۰۰ هزار هکتار اراضی (شامل ۸۰ هزار هکتار اراضی فاریاب از آب سطحی و ۲۰ هزار هکتار از محل آب‌های زیرزمینی)، صرفه‌جویی واقعی آب حوضه به میزان ۵۰۱ و ۴۱۴ میلیون‌مترمکعب در سال به ترتیب برای دو دوره زمانی قابل حصول است. بدین ترتیب راهکار ترکیبی شامل این اقدام به همراه کاهش تبخیر در اراضی دیم و آبی حوضه راهکارهایی هستند که بیش‌ترین اثربخشی در افزایش جریان ورودی به دریاچه را داشته و اثرهای منفی آن‌ها بر سایر مولفه‌های هیدرولوژیک حوضه چندان قابل ملاحظه نبود. اقدامات مذکور در مجموع می‌توانند تا ۷۳۳ و ۵۶۷ میلیون‌مترمکعب در سال، به ترتیب بر اساس شرایط اقلیمی دوره‌های اول و دوم، ورودی‌های دریاچه را افزایش دهند. چنانچه وضعیت اقلیمی طراحی اقدامات، متناسب با نیمه دوم دوره در نظر گرفته شود، با وجود افزایش ۲۵ درصدی جریان ورودی به دریاچه در اثر اقدامات مذکور (افزایش از ۲۲۳۰ به ۲۷۹۷ میلیون‌مترمکعب در سال)، باز هم جریان ورودی دریاچه به میزان حداقل حقابه اکولوژیکی دریاچه (۳۱۰۰ میلیون‌مترمکعب) نخواهد رسید. لذا می‌توان نتیجه گرفت که در صورت تداوم شرایط اقلیمی فعلی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، در هر صورت پایدارسازی دریاچه در حداقل شرایط قابل قبول آن با استفاده از منابع آب داخلی حوضه امکان‌پذیر نخواهد بود و تنها در صورت حذف حقابه بخش بیش‌تری از اراضی فاریاب حوضه و یا اجرای طرح‌های آبرسانی بین حوضه‌ای، تامین آب مورد نیاز دریاچه امکان‌پذیر خواهد شد (البته این به معنای تایید انتقال آب نیست و بررسی آن خارج از اهداف این تحقیق بوده است).

– نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش قابل ملاحظه آبرسانی به دریاچه بدون اثرات سوء جانبی، تنها از طریق کاهش مصارف واقعی آب در سطح حوضه امکان‌پذیر خواهد بود. توجه به این نکته که کاهش برداشت از منابع آب، لزوما به معنی کاهش مصرف آب در سطح حوضه نمی‌باشد، یک گام اساسی در تدوین اقدامات مدیریتی برای بهبود وضعیت دریاچه ارومیه خواهد بود. تنها حذف بخشی از مصرف واقعی آب در سطح حوضه (اعم از سودمند و غیرسودمند) امکان تامین آب بیش‌تر برای دریاچه ارومیه را فراهم خواهد نمود. از سوی دیگر، بایستی به این نکته توجه داشت که هر گونه اقدامی بدون کنترل میزان برداشت آب، تاثیرگذاری مورد انتظار را نخواهد داشت. چرا که ممکن است از محل آب صرفه‌جویی شده بر اثر اقدامات صورت گرفته، برداشت اضافی برای افزایش سطح زیر کشت و یا رفع کم‌آبیاری‌های فعلی صورت گیرد. در گزارش جدید فائو نیز به‌طور خاص تاکید قرار گرفته است که مدرن‌سازی سیستم‌های آبیاری بدون توسعه زیرساخت‌هایی مورد نیاز و ارتقای ابزارهای حکمرانی موثر آب، می‌تواند منجر به اثر معکوس در زمینه صرفه‌جویی مصرف آب و بروز مشکلات و چالش‌های بیش‌تری در مناطق کم آب گردد (Perry et al., 2017).

منابع

باقری‌هارونی،م.ج. ۱۳۹۰. ارزیابی فن‌آوری سنجش از دور در برآورد مولفه‌های بیلان آب در مقیاس حوضه‌ای، با تأکید بر میزان برداشت خالص آب زیرزمینی، مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.

بی‌نام. ۱۳۸۹. برنامه مدیریت جامع دریاچه ارومیه. سازمان حفاظت محیط زیست.

بی‌نام. ۱۳۹۱. مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور. وزارت نیرو.

بی‌نام. ۱۳۹۴. وضعیت آبی دریاچه ارومیه در ابتدای شهریور ماه ۹۴ در مقایسه با مشابه سال قبل و امکان رهاسازی از سدهای در دست بهره‌برداری. ستاد احیای دریاچه ارومیه.

طلوعی.ظ. ۱۳۹۳. ارزیابی توسعه سیستمهای آبیاری تحت فشار بر افزایش ورودی رودخانه زرینه‌رود به دریاچه ارومیه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.

فرخ‌نیا،الف.، مرید،س.، عباسپور،ک و دلاور،م. ۱۳۹۷. توسعه مدل SWAT-LUبرای بررسی و شبیه‌سازی علل افت تراز دریاچه ارومیه و ارزیابی اثربخشی راه‌کارهای مطرح در احیای آن؛ بخش اول: توسعه، واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT-LU. نشریه آبیاری و زهکشی. ۱۲. ۳ :۶۴۷-۶۶۵.

Ivanov,Y. 2012. A water accounting procedure to determine the water savings potential of the Fergana Valley. Agricultural water management. 108:61-72.

Keller,A.A and Keller,J. 1995. Effective efficiency: A water use efficiency concept for allocating freshwater resources. Center for Economic Policy Studies. Winrock International Arlington.

Lankford,B. 2012. Fictions, fractions, factorials and fractures; on the framing of irrigation efficiency. Agricultural Water Management. 108:27-38.

Molden,D. 1997. Accounting for water use and productivity. International Water Management Institute. Report number 42.

Nasri,B., Dadmehr,R and Fouch é ,O. 2015. Water table rising consecutive to surface irrigation in alluvial aquifers: predective use of numerical modelling. Engineering Geology for Society and Territory. 3:379-382.

Perry,C. 2007. Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations. Irrigation and drainage. 56.4:367-378.

Perry,C., Steduto,P and Karajeh,F. 2017. Does Improved Irrigation Technology Save Water? A Review of the Evidence. Discussion Paper on Irrigation and Sustainable Water Resources Management in the Near East and North Africa. FAO.

Scott,C., Vicuña,S., Blanco-Guti é rrez,I., Meza,F and Varela-Ortega,C. 2014. Irrigation efficiency and water-policy implications for river basin resilience. Hydrology and Earth System Sciences. 18.4: 1339ت 1348.

Seckler,D. 1999. Revisiting the "IWMI paradigm"; Increasing the efficiency and productivity of water use. International Water Management Institute.

Shadkam,S., Ludwig,F., van Oel,P., Kirmit,Ç and Kabat,P. 2016. Impacts of climate change and water resources development on the declining inflow into Iran's Urmia Lake. Journal of Great Lakes Research. 42.5:942-952.

Zhang,X., Pei, D. and Hu,C. 2003. Conserving groundwater for irrigation in the North China Plain. Irrigation Science. 21:159-166.

Cai,X., Ringler,C and Rosegrant,M.W. 2006. Modeling water resources management at the basin level: methodology and application to the Maipo River Basin. Research report n. 149. International Food Policy Research Institute.

De Graaf,I., Van Beek,L., Wada,Y and Bierkens,M. 2014. Dynamic attribution of global water demand to surface water and groundwater resources: Effects of abstractions and return flows on river discharges. Advances in Water Resources. 64:21-33.

De Vries,M.E., Rodenburg,J., Bado,B.V., Sow,A., Leffelaar,P.A and Giller,K.E. 2010. Rice production with less irrigation water is possible in a Sahelian environment. Field Crops Research. 116.1:154-164.

Ghoddusi, H. 2015. Urmia Lake Restoration: Some Economic Insights. Tufts University.

Huang,S., Krysanova,V., Zhai,J and Su,B. 2015. Impact of intensive irrigation activities on river discharge under agricultural scenarios in the semi-arid Aksu River basin, northwest China. Water resources management. 29.3:945-959.

Jensen, M.E. 2007. Beyond irrigation efficiency. Irrigation Science. 25.3:233-245.

JICA. 2016. Data Collection Survey on Hydrological Cycle of Lake Urmia Basin in the Islamic Republic of Iran.

Karimi,P., Bastiaanssen,W., Molden,D and Cheema, M.J.M. 2013a. Basin-wide water accounting based on remote sensing data: an application for the Indus Basin. Hydrology and Earth System Sciences. 17.7:2473-2486.

Karimi,P., Bastiaanssen,W.G and Molden,D. 2013b. Water Accounting Plus (WA+)ت a water accounting procedure for complex river basins based on satellite measurements. Hydrology and Earth System Sciences. 17:2459-2472.

Karimi,P., Molden,D., Bastiaanssen,W. and Cai,X. 2012. Water accounting to assess use and productivity of water: evolution of a concept and new frontiers. Water accounting: international approaches to policy and decision-making. Edward Elgar Publishing. 76-88.

Karimov,A., Molden,D., Khamzina,T., Platonov,A and

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 12, Feb.-Mar. 2019, p. 1362-1380

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۲، بهمن - اسفند ۱۳۹۷، ص. ۱۳۸۰-۱۳۶۲

Development of SWAT-LU Model for Simulation of Urmia Lake Water Level Decrease and Assessment of the Proposed Actions for its Restoration; Part 3: Water Accounting Analysis and Assessment of the Proposed Actions for Restoration of Urmia Lake

A. Farokhnia[1], S. Morid[2*], M. Delavar[3], K. Abbaspour[4]
Recived: Feb.06, 2017 Accepted: Jun.30, 2017

Abstract

The rapid drying rate of the Urmia Lake over the past two decades has caused great concern. Meanwhile, a number of measures are proposed for restoration of the Lake, which are also costly and need considerable investments. However, there have not been paid enough attention to analyse how, to what extent and under what circumstances; they can be effective. This paper attempts to address this issue and apply the developed integrated model (i.e. SWAT-LU) and link it to the water accounting framework (WA+) for more accurate evaluation of such measures to save water in the basin and increase inflows to Urmia Lake. To this end, the changes of water budget components under different restoration measures were evaluated in the form of water accounting reports. Moreover, the side effects of them were examined. The results showed that in spite of huge costs of some the measures (e.g. pressurized irrigation systems), they have not much positive effects in real water savings at the basin scale, and may even cause new problems in this regard. These results highlight the importance of considering scale for sustainable planning. It warns that results at the farm level are not supposed to be the same at basin scale.

Keywords: Lake Urmia, Water accounting, Irrigation efficiency, Real water saving

1- Academic Member, Department of Water Resources Research, Water Research Institute
2- Professor, Department of Water Resources Engineering, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University
3- Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University
4- Associate Professor, Department Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
(*- Corresponding Author Email: morid_sa@modares.ac.ir)