نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۴، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۲۸۵-۲۷۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 14, Apr.-May. 2020, p. 275-285

کاربرد و ارزیابی پیوند آب، غذا و انرژی (نکسوس) در مدیریت شبکه‌های آبیاری: مطالعه موردی شبکه آبیاری زاینده‌رود

محمدجواد منعم[۱]*، مجید دلاور[۲]، سیدمعین حسینی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۱۳

چکیده

دیدگاه پیوند آب، غذا و انرژی گام مهمی در ارزیابی جامع سیاست‌های مدیریت منابع آب، می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش، ارائه روشی به منظور تجزیه و تحلیل رابطه آب، غذا و انرژی در زنجیره تولید محصول در سطح شبکه‌های آبیاری و ارزیابی کمّی آن است. با استفاده از روش پیشنهادی و با توجه به مصرف آب و انرژی، دو شاخص بهره‌وری آب و بهره‌وری انرژی پیشنهاد شده است. بر اساس این شاخص‌ها یک شاخص ترکیبی پیوند آب، غذا و انرژی نیز پیشنهاد شده است. این تحقیق بر روی شبکه‌های آبیاری واقع در حوضه آبریز زاینده‌رود در استان اصفهان انجام شده است. از مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب (WEAP) به منظور شبیه‌سازی شرایط تخصیص منابع و مصارف حوضه استفاده شده است. سناریوهای مختلفی برای منابع آب موجود، مصارف انرژی و الگوی کشت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با در نظرگرفتن شاخص بهره‌وری نرمال شده آب مصرفی به تنهایی، بهترین سناریو، کاهش ۲۰ درصدی آورد رودخانه با حداکثر بهره‌وری ۵۴٪ برای شبکه آبیاری نکوآباد است. بر اساس شاخص بهره‌وری نرمال شده انرژی بهترین سناریو، انسداد چاه‌های غیر مجاز با حداکثر بهره‌وری ۴۹٪ برای شبکه آبیاری مهیار شمالی می‌باشد؛ در صورتیکه، با در نظر گرفتن شاخص ترکیبی اولویت‌بندی سناریوها در شبکه‌های مختلف تغییر کرده است. این تحقیق نشان داد که هر چند هر یک از شاخص‌های بهره‌وری به تنهایی منعکس کننده اثرات تک بعدی هر یک از سیاست‌ها در شبکه‌های مختلف می‌باشند، اما با استناد به تنها یک شاخص نمی‌توان در مورد اثربخشی سیاست‌ها تصمیم‌گیری قطعی نمود. همچنین در مجموع می‌توان اظهار داشت که در نظر گرفتن همزمان پیوند آب، غذا و انرژی در تحلیل عملکرد شبکه‌های آبیاری و انتخاب سیاست‌های برتر امری ضروری است.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، بهره‌وری انرژی، پیوند آب، غذا و انرژی، شبکه‌های آبیاری، نکسوس

مقدمه

پیش‌بینی‌های جهانی نشان می‌دهد که تقاضا برای آب، غذا و انرژی در دهه‌های آینده تحت فشار رشد جمعیت و مهاجرت، توسعه اقتصادی، تجارت بین المللی، شهرنشینی، تغییرات فرهنگی، تکنولوژیکی و تغییرات اقلیمی افزایش می‌یابد (Hoff, 2011). بخش کشاورزی به عنوان بزرگترین مصرف‌کننده آب و تامین کننده غذا باید نیازهای نسل حاضر و نسل‌های آینده را با حصول اطمینان از سودآوری، حفظ سلامت محیط زیست و حقوق اقتصادی و اجتماعی تامین نماید (FAO, 2013). با توجه به منابع محدود و ارزشمند آب و انرژی تامین نامناسب انرژی و افزایش تنش آبی، تامین آب و انرژی کافی به منظور تامین غذای مورد نیاز برای جمعیت رو به رشد جهانی از چالش‌های پیش‌روی بشر محسوب می‌شود (Bizikova et al, 2013; Hoff, 2011). آب، انرژی و غذا برای سلامتی انسان، کاهش فقر و توسعه پایدار حیاتی است (FAO, 2014). آب برای تولید محصولات کشاورزی، در کل زنجیره تامین غذایی به عنوان مهمترین نهاده مورد استفاده قرار می‌گیرد (FAO, 2011a). در عین حال تولید و زنجیره تامین غذایی حدود ۳۰ درصد کل مصرف انرژی جهان را شامل می‌شود (FAO, 2011a). انرژی نیز برای تولید، حمل و نقل و توزیع غذا و همچنین پمپاژ، انتقال و تصفیه آب مورد نیاز می‌باشد. با رشد تقاضا، رقابت برای استفاده بیشتر از منابع آب و انرژی در بخش کشاورزی،صنعت، بهداشتی و محیط زیست با تاثیرات قابل توجه بر معیشت و محیط زیست افزایش می‌یابد (FAO, 2011b). تعامل اجزاء آب، غذا و انرژی در چرخه تولید بسیار مهم است؛ به عنوان مثال رشد تولید محصولات بیوانرژی به منظور تولید انرژی ممکن است به بهبود عرضه انرژی و ایجاد فرصت‌های شغلی کمک کند، اما در مقابل باعث

۱- استاد گروه مهندسی طراحی سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳ - دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: monem_mj@modares.ac.ir)

افزایش رقابت برای استفاده بیشتر از منابع آب و خاک و کاهش تولید محصولات کشاورزی دیگر می‌شود که امنیت غذایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (FAO, 2014). پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۵۰ میلادی ۶۰ درصد تولید غذای بیشتر به منظور رفع نیاز غذایی جمعیت جهان ضروری باشد. همچنین کل آب‌های استحصالی برای آبیاری تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۱۰ درصد افزایش می‌یابد (FAO, 2011a). مصرف انرژی در سطح جهانی نیز تا سال ۲۰۳۵ به میزان ۵۰ درصد افزایش می‌یابد (IEA, 2010).

رویکرد مبتنی بر پیوند آب، غذا و انرژی به تشریح ارتباطات پیچیده و پویا میان آن‌ها کمک می‌کند و از تصمیم‌ها برای تخصیص منابع محدود بصورت پایدار پشتیبانی می‌کند (El-Gafy, 2017). این کار می‌تواند با ارائه یک چهارچوب آگاهانه و روشن برای پاسخ به تقاضای روزافزون بدون تهدید پایداری انجام شود (Bonn, 2011). منابع آب، غذا و انرژی به طور پیوسته در تولید و مصرف به یکدیگر وابسته هستند. برنامه‌ریزی برای توسعه در بخش‌های آب، غذا و انرژی بدون توجه به ارتباطات بین این بخش‌ها علاوه بر اینکه نمی‌تواند منجر به توسعه پایدار شود، می‌تواند باعث تشدید بحران در منابع هر سه بخش بشود (Bizikova et al, 2013). بنابراین در هنگام انتخاب سیاست‌های توسعه‌ای باید یک رویکرد پیوندی را در نظر گرفت. تفکر پیوندی یا زنجیره‌ای نکسوس (NEXUS)، از مهمترین رهیافت‌های حال حاضر در دستیابی به تعادل پایدار در تولید و مصرف منابع می‌باشد. از مزایای تفکر پیوندی (NEXUS) می‌توان به بهبود بهره‌وری استفاده از منابع و دوری از اثرات نامطلوب سیاست‌های توسعه‌ای تک بخشی اشاره کرد. رویکرد پیوندی نشان می‌دهد که چگونه و در کجا سه عامل آب، غذا و انرژی با هم ارتباط دارند (Hanlon et al, 2013).

محققان زیادی اهمیت روابط چند جانبه بین آب، غذا و انرژی را در سطح کلان و ملی بررسی کرده‌اند، اما در مقیاس شبکه‌های آبیاری به عنوان بزرگترین مصرف کننده آب و تولید کننده غذا این موضوع اخیرا مطرح شده و تاثیر دیدگاه پیوندی بر سیاست‌های مدیریتی و تعیین اولویت گزینه‌های مختلف در سطح شبکه مورد ارزیابی قرار نگرفته است. کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی ۱(ICID) در کنگره سال ۲۰۱۷ در مکزیک، موضوع نکسوس را به عنوان یکی از محور های مورد بحث مطرح نمود. در این کنگره چند مقاله در مورد نکسوس ارائه شد. حسن و همکاران، موضوع انرژی مصرفی برای استخراج آب زیر زمینی در ارتباط با امنیت غذایی و تغییر اقلیم در چارچوب نکسوس را در پنجاب پاکستان مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق اعلام شد که با توجه به تغییر اقلیم و افزایش نیاز به آب زیرزمینی، سطح آب چاه ها افت کرده و هزینه انرژی افزایش یافته است. محققین پیشنهاد کرده اند که تبعات تغییرات ایجاد شده، در چارچوب نکسوس باید مورد بررسی قرار گیرد (Hassan et al. 2017). در جمع بندی نظرات این کنگره اعلام شد که اگرچه رویکرد نکسوس با سرعت زیادی در حال توسعه است، اما کاربرد های آن بسیار محدود است، و باید به فوریت نسبت به افزایش آگاهی‌ها و توسعه ظرفیت‌ها میان ذینفعان آب اقدام شود. همچنین پیشنهاد شده است که به منظور هماهنگی بهتر کاربرد رویکرد نکسوس در آبیاری، تعاریف همسان از شاخص‌های بهره وری شامل محدوده‌های مورد بررسی توسعه یابد (Pandya et al. 2018). در کنگره سال ۲۰۱۸ ICID در ساسکاتون کانادا، یک جلسه بحث فنی به موضوع نکسوس اختصاص یافت. مقالات ارائه شده در این جلسه عمدتا به اهمیت و جایگاه رویکرد نکسوس و ضرورت کاربرد آن در برنامه ریزی های توسعه آبیاری پرداخته اند (Mabhaudhi et al., 2018). موضوع کاربرد رویکرد نکسوس از نظر رابطه آب و انرژی در تحقیقات مختلفی از جمله فرناندز گارسیا و همکاران در اسپانیا مورد توجه قرار گرفت. در اسپانیا با مدرنیزاسیون زیرساخت‌ها و تغییر کانال‌های آبیاری باز به سیستم‌های تحت فشار، آبیاری کارآمدتری برای مزارع اتخاذ شده است. در مقابل مشاهده شد که اگرچه مصرف آب آبیاری حدود ۲۳ درصد کاهش یافته اما هزینه‌های مربوط به آب ۵۲ درصد افزایش یافته است. در حال حاضر علاوه بر تقاضای انرژی بیشتر، هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و نگهداری سیستم‌ها، و افزایش تعرفه‌های برق، کشاورزان را با مشکل جدی رو به رو کرده است. ایشان با توجه به نگرانی‌های موجود در مورد بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی، نمونه‌ای از سیستم‌های آبیاری هوشمند با مصرف انرژی خورشیدی برای آبیاری باغات زیتون پیشنهاد کردند که نشان می‌دهد که این منبع می‌تواند منبعی جایگزین و قابل اعتماد باشد و همچنین در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز موثر باشد (Fernandez G., 2018).

با توجه به سوابق موضوع میتوان اظهار داشت که علیرغم کارهای محدود در مورد نکسوس در شبکه های آبیاری، ضرورت کاربرد آن در شبکه ها، و ظرفیت سازی و افزایش آگاهی در این خصوص مورد تاکید محققین و سازمان های بین المللی قرار گرفته است. ضرورت تعریف شاخص‌های مناسب و همسان برای نکسوس مطرح شده. مشخصا تاثیر سناریو های مختلف مدیریتی در هر سه حوزه آب، غذا، و انرژی بصورت یکپارچه با نظر به تعامل هر سه منبع در سطح شبکه های آبیاری مورد بررسی قرار نگرفته است.

هدف پژوهش حاضر ارائه روشی به منظور کاربرد رویکرد پیوند آب، غذا و انرژی و تحلیل اولویت‌بندی سیاست‌های مدیریتی برای مجموعه‌ای از شبکه‌های آبیاری در حوضه آبی است. تحقیق حاضر، روش پیشنهادی را برای بررسی اثربخشی سیاست‌های مدیریتی با رویکرد نکسوس در شبکه‌های آبیاری واقع در حوضه آبریز زاینده‌رود

1- International Commission of Irrigation and Drainage

در استان اصفهان بکار می‌برد. این منطقه بدلیل تنوع محصولات و مدیریت تلفیقی منابع آب و از طرفی خشکسالی ها و تنش های آبی سال های اخیر می تواند به عنوان نمونه مناسبی جهت بررسی کارائی رویکرد نکسوس در سطح کشور مد نظر قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در شبکه های آبیاری حوضه آبریز زاینده‌رود انجام گرفت. تعداد پنج سناریو مدیریتی به منظور بهبود بهره‌وری وضعیت موجود از دیدگاه نکسوس انتخاب گردید. برای ارزیابی اثر هر کدام از سناریوها دو شاخص بهره‌وری آب تحویلی[1] و شاخص بهره‌وری انرژی و یک شاخص ترکیبی به نام شاخص ترکیبی نکسوس به کار گرفته شد. جزییات مواد و روش ها در این بخش معرفی می‌شوند.

منطقه مورد مطالعه

رودخانه زاینده‌رود به عنوان بزرگ‌ترین رودخانه در فلات مرکزی ایران، نقش حیاتی در تامین آب شرب، صنعت و کشاورزی منطقه دارد. این رودخانه تامین آب کشاورزی دشت‌های بزرگی در وسعتی بالغ بر ۲۰۰ هزار هکتار را عهده‌دار می‌باشد (شکل ۱). در سال‌های اخیر با رشد جمعیت و تمرکز صنایع و رشد مصارف ناشی از آن و انتقال آب به مراکز جمعیتی شهری و روستایی خارج از حوضه، کمبود آب در دسترس کشاورزی شدیدتر شده است. در این تحقیق ۵ شبکه اصلی و مدرن مهیار شمالی، نکو آباد، برخوار، آبشار، و رودشت که به بهره برداری کامل رسیده اند در نظر گرفته شد. مساحت تحت پوشش این شبکه‌ها به ترتیب عبارتند از ۱۴، ۴۱، ۲۳، ۳۲، و ۳۱ هزار هکتار که جمعا ۱۴۱ هزار هکتار را در بر می‌گیرند. الگوی کشت در کل این شبکه ها عبارتند از ۳۹٪ گندم ، ۱۲٪ جو، ۹٪ یونجه، ۹٪ ذرت، ۲٪ چغندر قند، ۳٪ سیب زمینی و ۲۶٪ سایر محصولات (دلاور و همکاران ۱۳۹۱) ،که به تفکیک هر یک از شبکه‌ها نیز استخراج شده است. نیاز خالص ماهانه آبیاری محصولات، و راندمان‌های آبیاری از گزارش جامع منابع و مصارف کشاورزی حوزه زاینده رود (۱۳۸۵) استخراج گردید. نیاز خالص محصولات کشاورزی با استفاده از سند ملی آب برآورد گردید و با توجه به سطح زیر کشت و الگوی کشت هر شبکه و لحاظ راندمان‌های آبیاری، نیاز ناخالص آبیاری ماهانه برای هر شبکه محاسبه شد. حدود ۸۰ ٪ سیستم های آبیاری در این شبکه ها سطحی است، و توزیع و تحویل آب در شبکه‌ها بصورت گردشی انجام می‌شود.اطلاعات مربوط به حدود ۵۶۰۰۰ حلقه چاه واقع در استان اصفهان شامل: محل چاه‌ها، پروانه بهره‌برداری، سطح زیر کشت، نوع کشت، نوع پمپ، عمق چاه، نوع سوخت (دیزل یا برق)، میزان تخلیه سالانه، از دفتر مطالعات پایه منابع آب زیرزمینی شرکت مدیریت منابع آب ایران دریافت شد حدود ۲۰٪ از چاه ها فاقد پروانه بوده که غیر مجاز محسوب می شوند. با توجه به اطلاعات مکانی چاه‌ها، اطلاعات چاه‌ها به تفکیک هر شبکه استخراج گردید. اطلاعات مربوط به خروجی سد زاینده‌رود و آب تحویلی به هر کدام از شبکه‌ها طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ از دفتر مدیریت شبکه‌های آبیاری حوضه فلات مرکزی شرکت مدیریت منابع آب ایران بدست آمد. سال آبی ۸۵-۸۴ که دارای اطلاعات کاملتری بوده است به عنوان سال مبنا در نظر گرفته شد. میزان آب ورودی به شبکه‌های مهیار، نکو آباد، برخوار، آبشار و رودشت در این سال برحسب میلیون متر مکعب به ترتیب عبارت بوده است از ۴۷، ۲۸۶، ۶۶، ۱۹۵، و ۸۲ . در این سال جمعا ۶۷۶ میلیون مترمکعب آب به شبکه‌های آبیاری تحویل شده است.

سناریوهای مدیریتی

در این تحقیق به منظور ارتقای بهره‌وری شبکه‌های آبیاری از دیدگاه نکسوس، ۵ سناریو مدیریتی مختلف تعریف گردید. با توجه به خشکسالی‌ها و محدودیت منابع آب سطحی در سال‌های اخیر، بررسی واکنش حوضه آبریز در شرایط خشکسالی از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا سناریوهای کاهش ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصدی خروجی سد زاینده‌رود به عنوان کاهش منابع آب سطحی داخل حوضه معرفی شد. همچنین به منظور تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی، سناریوی انسداد چاه‌های غیر مجاز کشاورزی که یکی از می‌باشد، به عنوان سناریو مدیریتی انتخاب گردید. سناریو مدیریت تقاضای کشاورزی نیز که شامل اعمال الگوی مطلوب کشت و کاهش نیاز کشاورزی از طریق افزایش راندمان کل از میزان ۴۵ درصد به میزان ۵ ٪ می‌باشد، با هدف بررسی اثر مدیریت مصرف در نظر گرفته شد. در این تحقیق الگوی کشت بهینه پیشنهادی توسط دلاور و همکاران (۱۳۹۳) که بر اساس تخصیص بهینه منابع آب سطحی در محدوده مورد مطالعه تعیین شده است به عنوان الگوی کشت مطلوب در نظر گرفته شد. در جدول ۱ ترکیب کشت و درصد سطح بهینه محصولات کشاورزی عمده شبکه‌های آبیاری ارائه شده است (دلاور و همکاران، ۱۳۹۱).

شاخص بهره‌وری آب

بر اساس این شاخص میزان عملکرد گیاه بر میزان آب تحویلی به گیاه در هر کدام از شبکه‌های آبیاری مطابق (۱ در زمان t محاسبه شد.

$$WP_t = \frac{Y_{c,t}}{w_{c,t}} \qquad (۱)$$

که در آن WPt: بهره‌وری آب کاربردی، $Yc_{,t}$ عملکرد گیاه در زمان t (تُن در هکتار) و $w_{c,t}$ میزان آب کاربردی در واحد هکتار برای گیاه در زمان t (مترمکعب در هکتار) می‌باشد.

1- water productivity of water deliveries

شکل ۱- شمایی از منطقه مطالعاتی و شبکه های مورد نظر (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۷)

جدول ۱- تقویم زراعی، درصد سطح زیر کشت، حداکثر نیاز آبی و عملکرد حداکثر محصولات زراعی در الگوی کشت بهینه حوضه زاینده‌رود

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	درصد سطح زیر کشت محصول	حداکثر نیاز آبی (میلی‌متر بر هکتار)	عملکرد حداکثر (کیلوگرم در هکتار)
گندم		*	*	*	*	*	*	*	*				۶۸	۸۵۰	۹۰۰۰
جو		*	*	*	*	*	*	*	*				۲۲	۷۵۰	۷۰۰۰
چغندرقند							*	*	*	*	*	*	۷	۱۸۰۰	۷۰۰۰۰
سیب زمینی						*	*	*	*	*			۳	۱۲۳۰	۵۰۰۰۰

شاخص بهره‌وری انرژی

در این تحقیق، انرژی مصرفی، صرفا انرژی مورد نیاز برای پمپاژ آب زیرزمینی از چاه به عنوان مهمترین منبع مصرف انرژی مرتبط با آب در نظر گرفته شده است. بر اساس این شاخص میزان عملکرد گیاه (تُن در هکتار) بر میزان انرژی مصرفی برای پمپاژ آب از چاه طبق (۲ محاسبه شد. که EP_t بهره‌وری انرژی در زمان t (کیلوگرم بر کیلو وات ساعت)، $Y_{c,t}$ عملکرد گیاه c در زمان t (کیلوگرم) و $E_{c,t}$ انرژی مصرفی در واحد هکتار برای گیاه c و در زمان t (کیلو وات ساعت در هکتار) می‌باشد.

$$EP_t = \frac{Y_{c,t}}{E_{c,t}} \qquad (۲)$$

به منظور محاسبه میزان انرژی مصرفی به اطلاعات عمق آب زیرزمینی، مدت زمان کارکرد سالانه پمپ، راندمان الکتروپمپ و توان پمپ و دبی پمپاژ نیاز است که این اطلاعات از شرکت مدیریت منابع آب ایران بدست آمد قدرت پمپ توسط رابطه ۵ محاسبه شد. انرژی مصرفی نیز طبق رابطه ۶ بدست آمد.

$$P=(\gamma\times Q\times h)/(1000\times\mu) \qquad (۳)$$

$$E=T\times P \qquad (۴)$$

P، قدرت پمپ (کیلو وات)، γ، وزن مخصوص آب (۹۸۱۰ نیوتن بر مترمکعب)، Q، دبی پمپاژ (مترمکعب بر ثانیه)، h، ارتفاع پمپاژ (عمق آب زیرزمینی، متر)، μ بازده الکتروپمپ (درصد)، E، انرژی مصرفی (کیلو وات ساعت) و T، ساعت کارکرد سالانه پمپ است.

شاخص ترکیبی پیوند آب، غذا و انرژی

این شاخص به تصمیم‌گیرنده در مورد کارایی و اثربخشی سیاست مدیریتی مورد نظر طبق دیدگاه آب، غذا و انرژی کمک خواهد کرد. شاخص ترکیبی پیوند آب، غذا و انرژی طبق تعریف شده است شاخص‌های نکسوس بوسیله بی بعد شده‌اند.

$$WFENI_t = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i X_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (۴)$$

$$X_i = \frac{Max(x_i) - x_i}{Max(x_i) - Min(x_i)} \quad (۵)$$

WFENIt شاخص ترکیبی پیوند آب، غذا و انرژی، n تعداد شاخص‌های نکسوس، w_i وزن در نظر گرفته شده برای هر شاخص، Xi شاخص نرمال شده، x_i مقدار واقعی شاخص مورد نظر و $Min(x_i)$ و $Max(x_i)$، کمترین و بیشترین مقدار شاخص مورد نظر می‌باشد.

نحوه مدل‌سازی سناریوها در مدل WEAP

مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب WEAP یک پلاتفرم مدل‌سازی است که قادر به ارزیابی یکپارچه‌ای از اقلیم، هیدرولوژی، کاربری اراضی، تاسیسات آبیاری و اولویت‌های مدیریت آب حوضه آبریز می‌باشد. مدل WEAP، از یک مدل برنامه‌ریزی خطی استاندارد برای حل مسائل تخصیص آب در هر گام زمانی استفاده می‌کند که تابع هدف آن حداکثر کردن درصد تامین نیازهای مراکز تقاضا با توجه به اولویت عرضه و تقاضا، تعادل جرمی و سایر قیود می‌باشد. تمامی قیود به طور متناوب برای هر گام زمانی و با توجه به اولویت عرضه و تقاضا، تعریف می‌شود. مدل WEAP در هر گام زمانی معادله تعادل جرمی آب را برای هر گره و شاخه محاسبه می‌کند (Yates et al., 2005a,b). مدل WEAP در محدوده مورد مطالعه، براساس اطلاعات موجود آبهای سطحی در ۵ ایستگاه هیدرومتری رودخانه، و آب‌های زیرزمینی، در طی سنوات آماری کالیبره شد و مقادیر مناسب اولویت تخصیص آب به شبکه‌ها، درصد آب برگشتی و درصد استفاده مجدد از آب تعیین گردید. نتایج خروجی مدل شامل جریان تحویل شده به هر شبکه و محصول، به تفکیک از منابع آب سطحی و زیر زمینی، به منظور محاسبه شاخص های بهره‌وری انرژی، آب و همچنین شاخص ترکیبی پیوند آب، غذا و انرژی مورد استفاده قرار گرفت.

برای مدل سازی در ابتدا، سناریوهای کاهش خروجی سد زاینده رود به میزان ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد اعمال گردید. سپس آب تخصیصی به هر شبکه با (WEAP) بدست آمد. متعاقبا با توجه به سطح زیر کشت و نیاز هر کدام از گیاهان الگوی کشت در هرشبکه، میزان آب تخصیص داده شده به هر گیاه محاسبه شد و نهایتا شاخص بهره‌وری آب محاسبه گردید. پس از آن سناریوی انسداد چاه های غیر مجاز در مدل اعمال گردید و شاخص ترکیبی پیوند آب، غذا و انرژی طبق روابط ۲ تا ۴ محاسبه شد. در نهایت سناریوی اعمال الگوی کشت مطلوب همراه با افزایش راندمان کل به میزان ۵٪ در مدل اعمال گردید.

نتایج و بحث

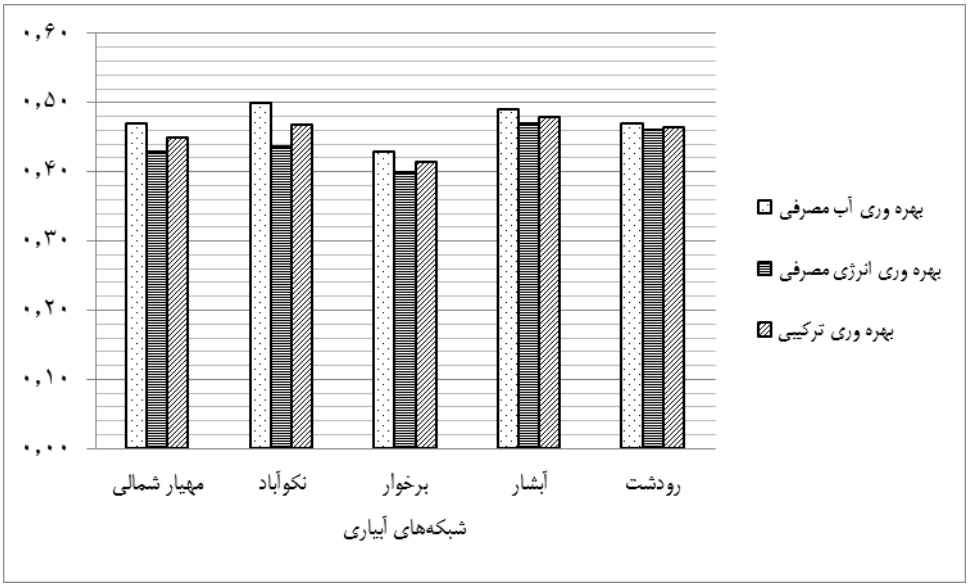
شاخص‌های بهره‌وری در وضع موجود

خلاصه نتایج شاخص‌های بهره‌وری آب، بهره‌وری انرژی، و شاخص ترکیبی نرمال شده در وضعیت موجود در شکل ۲ ارائه شده است. حداکثر شاخص بهره‌وری آب مصرفی با مقدار ۰/۵ مربوط به شبکه آبیاری نکوآباد بوده و مقدار حداقل آن برای شبکه آبیاری برخوار به میزان ۰/۴۲۵ می‌باشد. حداکثر مقدار شاخص بهره‌وری انرژی در بین شبکه‌های آبیاری مربوط به شبکه‌ی آبیاری آبشار با مقدار ۰/۴۷۲ و حداقل آن مربوط به شبکه‌ی آبیاری برخوار با مقدار ۰/۴ می‌باشد. حداکثر شاخص بهره‌وری ترکیبی با مقدار ۰/۴۸ مربوط به شبکه آبشار و مقدار حداقل آن برای شبکه برخوار به میزان ۰/۴۱۷می باشد. مشاهده می‌شود که در وضع موجود از نظر بهره‌وری آب شبکه نکوآباد بهترین شبکه است، اما از نظر بهره‌وری انرژی و شاخص ترکیبی شبکه آبشار بهترین شبکه است. شبکه برخوار که از انتهای شبکه نکوآباد آب دریافت می‌کند از نظر هر سه شاخص ضعیف‌ترین شبکه می‌باشد.

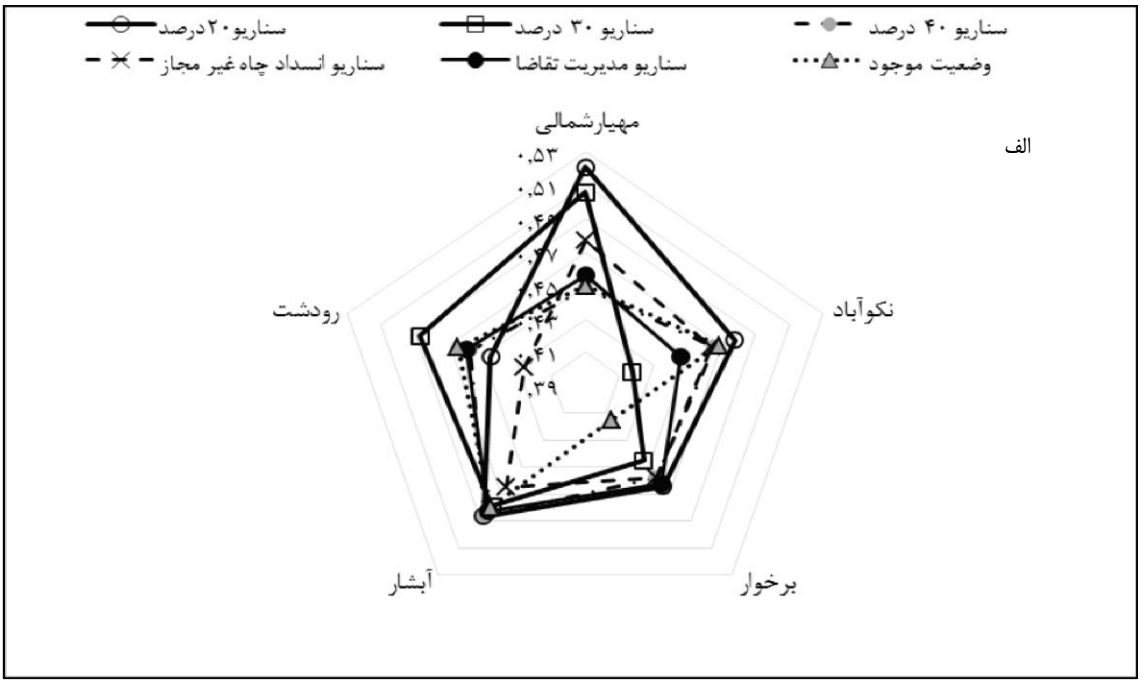
تغییرات شاخص‌های بهره‌وری با اعمال سناریوها

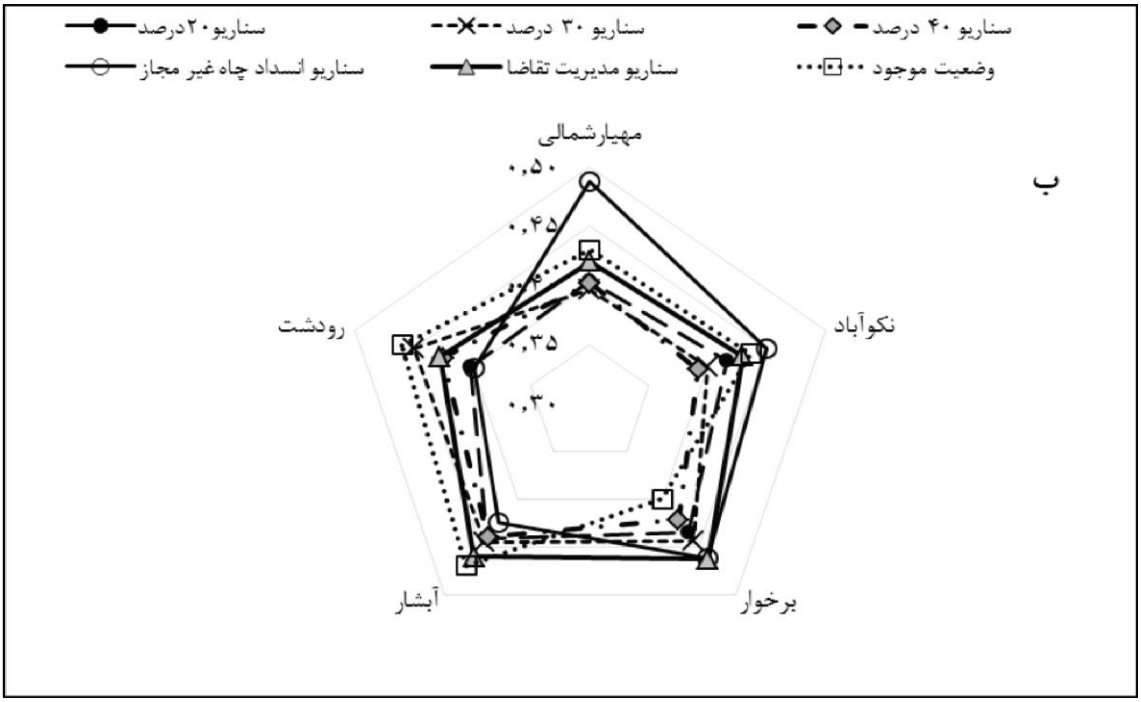
نتایج بهره‌وری نرمال شده آب و انرژی برای شبکه‌های مختلف و سناریوهای مورد نظر به ترتیب در شکل ۳ الف و ب، ارائه شده است. با مشاهده نتایج بدست آمده در شکل ۳–الف می‌توان اظهار نمود که بطور کلی، از لحاظ شاخص بهره‌وری آب، بهترین سناریو، سناریو کاهش ۲۰ درصدی جریان تحویلی با حداکثر مقدار ۰/۵۴ مربوط به شبکه نکوآباد، با ۸ ٪ بهبود نسبت به وضعیت موجود می‌باشد. بعد از آن، سناریو مدیریت تقاضا با حداکثر مقدار ۰/۵۱ در شبکه آبشار با ۳٪ بهبود قرار دارد. سناریو کاهش ۳۰ درصدی با حداکثر مقدار ۰/۵۱ در شبکه رودشت با ۹٪ بهبود و سناریو کاهش ۴۰ درصدی با حداکثر مقدار ۰/۵ در شبکه رودشت با ۷٪ بهبود و نهایتا سناریو انسداد چاه-های غیر مجاز با حداکثر مقدار ۰/۵۱ در شبکه آبشار با ۳٪ بهبود نسبت به وضعیت موجود حاصل شده است.

با توجه به شکل ۳–ب مشاهده می‌شود که بطور کلی بیشترین مقدار شاخص بهره‌وری نسبی انرژی تحت سناریو انسداد چاه‌های غیر مجاز با حداکثر مقدار ۰/۴۹ برای شبکه مهیارشمالی با ۱۴٪ بهبود نسبت به وضعیت موجود حاصل شده است. بعد از آن سناریو مدیریت تقاضا با حداکثر مقدار ۰/۴۶ برای شبکه برخوار با ۱۵٪ بهبود قرار دارد. بعد از آن سناریو کاهش ۲۰ درصدی با حداکثر مقدار ۰/۴۴ برای شبکه آبشار با ۱٪ کاهش، سناریو کاهش ۳۰ درصدی با حداکثر مقدار ۰/۴۵ برای شبکه رودشت با عدم تغییر، و سناریو کاهش ۴۰ درصدی با حداکثر مقدار ۰/۴۴ برای شبکه آبشار با ۱٪ کاهش نسبت به وضعیت موجود، به ترتیب قرار دارند. علت کاهش شاخص بهره‌وری انرژی در برخی شبکه ها در سناریو های کاهش آب خروجی از سد تکیه بیشتر بر منابع آب زیر زمینی و مصرف بیشتر انرژی می باشد.

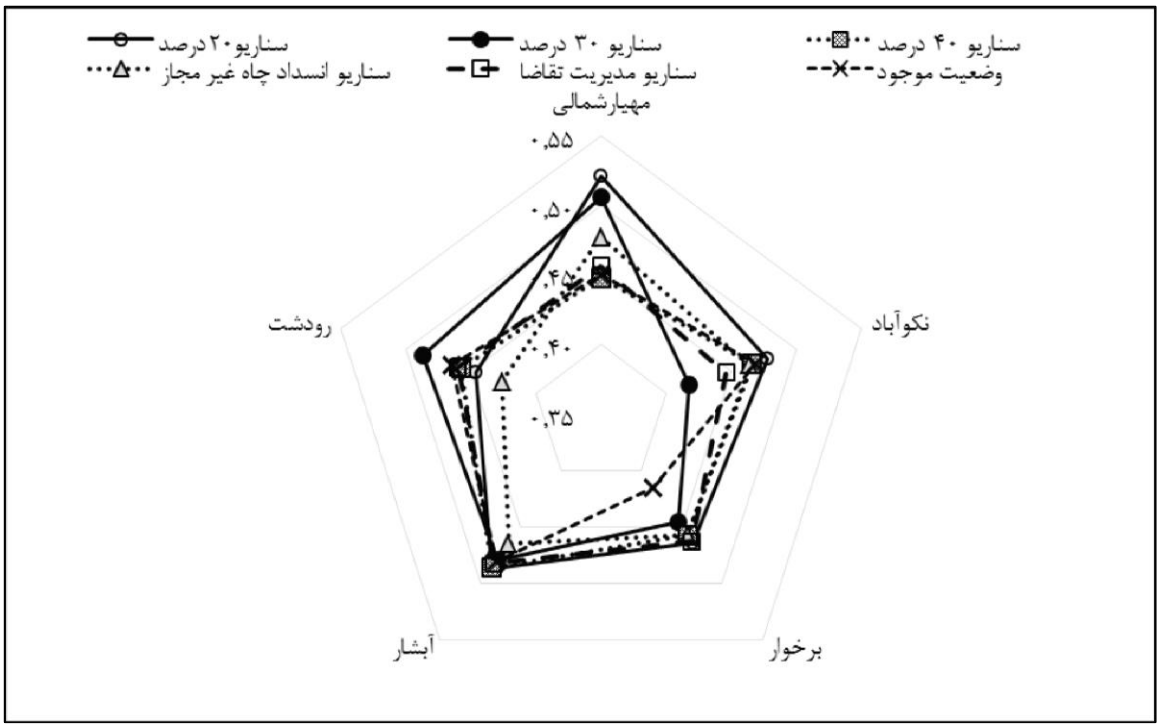


شکل ۲- نتایج شاخص‌های بهره‌وری نسبی آب، بهره‌وری نسبی انرژی و بهره‌وری نسبی ترکیبی در شبکه‌های آبیاری (وضعیت موجود)





شکل ۳- پیوند آب، غذا و انرژی: شاخص‌های نرمال شده بهره‌وری آب و انرژی؛ (الف: بهره‌وری آب؛ ب: بهره‌وری انرژی)



شکل ٤- پیوند آب، غذا و انرژی: شاخص پیوند آب غذا و انرژی (WFEIn)

نتایج شاخص ترکیبی پیوند آب، غذا و انرژی در شکل ۴ نمایش داده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۴، مشاهده می‌شود که بطور کلی بهترین سناریو که بیشترین مقدار شاخص پیوند آب، غذا و انرژی را به دنبال داشته است، سناریوی کاهش ۲۰ درصدی با حداکثر مقدار ۰/۵۲ در شبکه مهیارشمالی با ۱۶٪ بهبود نسبت به وضعیت موجود می‌باشد. بعد از آن، سناریو کاهش ۳۰

درصدی با حداکثر مقدار ۰/۵۱ در شبکه مهیارشمالی با ۱۲٪ بهبود قرار دارد. سپس سناریو کاهش ۴۰ درصدی با حداکثر مقدار ۰/۴۹ در شبکه آبشار با ۱٪ بهبود، سناریو مدیریت تقاضا با حداکثر مقدار ۰/۴۸ در شبکه آبشار با عدم تغییر، و سناریو انسداد چاه‌های غیر مجاز با حداکثر مقدار ۰/۴۸ در شبکه مهیارشمالی با ۱٪ درصد بهبود نسبت به وضعیت موجود به ترتیب قرار دارند.

در جدول ۲ و ۳ مقادیر شاخص های نسبی بهره‌وری آب و انرژی برای سناریو های مختلف و جهت تغییر آنها نسبت به وضع موجود ارائه شده است. برای مجموعه نتایج بدست آمده می‌توان اظهار داشت که با استناد به تنها یک شاخص نمی‌توان در مورد اثربخشی سناریوها در شبکه‌ها تصمیم‌گیری قطعی نمود زیرا تحت یک سناریو ممکن است بهره‌وری آب بهبود پیدا یابد اما در مقابل بهره‌وری انرژی کاهش پیدا کند. به عنوان مثال همانطور که در جدول ۲ و جدول ۳ مشاهده می‌شود، در شبکه‌های آبیاری آبشار و رودشت هر کدام از سناریوهای کاهش ۲۰ درصدی و کاهش ۳۰ درصدی باعث افزایش در شاخص بهره‌وری نسبی آب شده است. اما در نتیجه اعمال همین سناریوها، به دلیل افزایش برداشت آب زیر زمینی مقدار شاخص بهره‌وری نسبی انرژی نسبت به وضعیت موجود کاهش یافته است. لذا برای تصمیم گیری صحیح لازم است با توجه به میزان اهمیت هر یک از عوامل آب، غذا، و انرژی به شاخص ترکیبی نکسوس توجه شود. به عنوان نمونه بر اساس جدول ۴ در شبکه نکوآباد از نظر شاخص‌های بهره وری نسبی آب اولویت اثر بخشی سناریوها به ترتیب عبارتند از کاهش ۲۰٪ جریان تحویلی، انسداد چاه‌ها، کاهش ۴۰٪ جریان تحویلی، مدیریت تقاضا و کاهش ۳۰٪ جریان تحویلی. این در حالی است که از منظر شاخص بهره وری انرژی اولویت سناریوها به ترتیب عبارتند از انسداد چاه‌ها، مدیریت تقاضا، و به ترتیب کاهش ۲۰٪ ، ۳۰٪ و ۴۰٪ جریان تحویلی. اما چنانچه شاخص ترکیبی برای تعیین اولویت سناریوها استفاده شود، اولویت‌ها به ترتیب به صورت کاهش ۲۰ و ۴۰ درصد جریان تحویلی، انسداد چاه‌ها ، مدیریت تقاضا و کاهش ۳۰ درصدی جریان تغییر خواهد کرد.

جدول ۲- بهبود یا عدم بهبود نتایج شاخص بهره‌وری نسبی آب (مقایسه سناریوها نسبت به وضعیت موجود)

	سناریو مدیریت تقاضا		سناریو انسداد چاه غیر مجاز		سناریو ۴۰ درصد		سناریو ۳۰ درصد		سناریو ۲۰درصد	
مهیارشمالی	۰.۴۹	↑	۰.۴۷	↓	۰.۴۸	↑	۰.۴۹	↑	۰.۴۹	↑
نکوآباد	۰.۴۶	↓	۰.۴۸	↓	۰.۴۹	↓	۰.۴۵	↓	۰.۵۴	↑
برخوار	۰.۴۶	↑	۰.۴۵	↑	۰.۴۴	↑	۰.۴۴	↑	۰.۴۹	↑
آبشار	۰.۵۱	↑	۰.۵۱	↑	۰.۴۹	↓	۰.۵۰	↑	۰.۵۳	↑
رودشت	۰.۴۹	↑	۰.۴۵	↓	۰.۵۰	↑	۰.۵۱	↑	۰.۴۹	↑

جدول ۳- بهبود یا عدم بهبود نتایج شاخص بهره‌وری نسبی انرژی (مقایسه سناریوها نسبت به وضعیت موجود)

	سناریو مدیریت تقاضا		سناریو انسداد چاه غیر مجاز		سناریو کاهش ۴۰ درصدی		سناریو کاهش ۳۰ درصدی		سناریو کاهش ۲۰ درصدی	
مهیارشمالی	۰.۴۲	↓	۰.۴۹	↑	۰.۴۰	↓	۰.۴۰	↓	۰.۴۰	↓
نکوآباد	۰.۴۳	↓	۰.۴۵	↑	۰.۳۹	↓	۰.۴۰	↓	۰.۴۲	↓
برخوار	۰.۴۶	↑	۰.۴۶	↑	۰.۴۲	↑	۰.۴۴	↑	۰.۴۴	↑
آبشار	۰.۴۶	↓	۰.۴۳	↓	۰.۴۴	↓	۰.۴۵	↓	۰.۴۴	↓
رودشت	۰.۴۳	↓	۰.۴۰	↓	۰.۴۳	↓	۰.۴۵	↓	۰.۴۰	↓

↑ بهبود شاخص بهره‌وری نسبی نسبت به وضعیت موجود

↓ عدم بهبود شاخص بهره‌وری نسبی نسبت به وضعیت موجود

جدول ٤- مقایسه اولویت سناریوها در شبکه نکوآباد از دیدگاه شاخص های مختلف

شاخص	اولویت سناریو ۱	۲	۳	٤	٥
بهره وری نسبی آب	کاهش ۲۰ درصدی جریان تحویلی	انسدادچاه‌ها	کاهش ۴۰ درصدی جریان تحویلی	مدیریت تقاضا	کاهش ۳۰ درصدی جریان تحویلی
بهره‌وری نسبی انرژی	انسدادچاه‌ها	مدیریت تقاضا	کاهش ۲۰ درصدی جریان تحویلی	کاهش ۳۰ درصدی جریان تحویلی	کاهش ۴۰ درصدی جریان تحویلی
شاخص ترکیبی	کاهش ۲۰ درصدی جریان تحویلی	کاهش ۴۰ درصدی جریان تحویلی	انسدادچاه‌ها	مدیریت تقاضا	کاهش ۳۰ درصدی جریان تحویلی

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از روش پیشنهادی، اثربخشی دیدگاه پیوند آب، غذا و انرژی بر بهبود بهره‌وری و اولویت‌بندی سیاست‌های مدیریتی در سطح شبکه‌های آبیاری به صورت کمی ارزیابی گردید. در این تحقیق شاخص ترکیبی پیوند آب، غذا و انرژی (WFEIn)، مورد استفاده قرار گرفت. از نتایج بدست آمده در این تحقیق مشاهده می‌شود که با استفاده از شاخص پیوند آب، غذا و انرژی اولویت سناریوهای مدیریتی برای هر یک از شبکه‌ها، در مقایسه با کاربرد هر یک از شاخص‌ها به طور جداگانه، تغییر کرده است. به عنوان نمونه در شبکه نکوآباد از نظر شاخص‌های بهره وری نسبی آب، کاهش ۲۰٪ جریان تحویلی، و انسداد چاه‌ها، به عنوان سناریوهای برتر مدیریتی معرفی می‌گردد. در حالی که از منظر شاخص بهره وری انرژی اولویت سناریوها متمرکز بر انسداد چاه‌ها و مدیریت تقاضا می باشد. اما از منظر شاخص ترکیبی و با لحاظ جنبه های مختلف مصرف آب، انرژی و بهره‌وری تولید، اولویت‌ها به کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی جریان تحویلی تغییر خواهد کرد. علاوه بر آن رتبه‌بندی شبکه‌ها با در نظر گرفتن شاخص ترکیبی پیوند آب و غذا و انرژی نیز در هر سناریو نیز تغییر کرده است. در مجموع مشخص است که اگر چه هر یک از شاخص‌های بهره‌وری به تنهایی منعکس کننده اثرات هر یک از سناریوها در شبکه‌های مختلف می‌باشند، اما با استناد به تنها یک شاخص نمی‌توان در مورد اثربخشی واقع بینانه سناریوها با لحاظ جنبه های مختلف مصرف آب، انرژی و تولید غذا در شبکه‌ها تصمیم گیری قطعی نمود. این بدان معنی است که در نظر گرفتن مجموعه شاخص‌ها در انتخاب سناریوهای مناسب تاثیر تعیین کننده‌ای دارد، و برای جامع‌نگری لازم و ضروری است که از شاخص ترکیبی پیوند آب، غذا و انرژی استفاده شود. این مهم حاکی از نقش مهم و موثر شاخص‌های تصمیم گیری در توسعه سیاست‌های مدیریتی می باشد. اصولا نگاه تک بعدی در حل مسائل منابع آبی منجر به نوعی تضاد تحت عنوان "تضاد بخشی" می گردد. تضاد بخشی مبین نگاه جزئی در حل مسائل می باشد و جامع نگری در به عنوان یک اصل کلی در مدیریت منابع آب نادیده گرفته می‌شود. به عنوان مثال تمرکز صرف به کاهش مصارف آبی بدون لحاظ جنبه‌های تولید غذا و مصرف انرژی هرچند می تواند نتایج مفیدی در بخش هایی از یک سیستم بهم پیوسته داشته باشد اما نباید تبعات چنین رویکردی را بر بخش‌های تولید ومصرف نهاده‌ها را از نظر دور کرد.

منابع

دلاور، م.، مرید، س.و مقدسی، م. ۱۳۹۱. مقایسه توابع عملکرد محصولات و تخصیص آب آبیاری بر اساس روش‌های جدید و قدیم FAO در شبکه آبیاری زاینده‌رود. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۳ .۲: ۱-۲۰.

دلاور، م.، مرید، س. و مقدسی، م. ۱۳۹۳. توسعه مدل بهینه‌سازی-شبیه‌سازی مبتنی بر ریسک تخصیص منابع آب با استفاده از مفهوم ارزش در معرض خطر شرطی، مطالعه موردی: شبکه آبیاری زاینده‌رود. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۰ .۱: ۱-۱۴.

مقدسی، م. مرید، س. و عراقی نژاد، ش. ۱۳۸۷. بهینه سازی تخصیص آب در شرایط کم آبی با استفاده از روشهای برنامه‌ریزی غیرخطی، هوش جمعی و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی). مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۴ .۳: ۱-۱۳.

Bizikova. L., Roy. D., Henry. D., Venema, D. and McCandless, M. 2013. The Water–Energy–Food Security Nexus: Towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management. The International Institute for Sustainable Development (IISD), Report. http://www.iisd.org/library/water-energy-food-security-nexus-towards-practical-planning-and-decision- support-framework. Accessed 04 Dec 2014

Bonn. 2011. Nexus Conference, 2011. The water, energy and food security nexus solutions for a green economy. http://www.water-energy-food.org/en/whats the_nexus.html. Accessed 01 Mar 2015

El-Gafy, Inas. 2017. "Water–food–energy nexus index: analysis of water–energy–food nexus of crop's production system applying the indicators approach." Applied Water Science 7: 2857-2868.

FAO. (2014) Available from. http://faostat.fao.org/site/708/ DesktopDefault.aspx PageID=708#ancor. Accessed 10 Oct 2015

FAO. 2011a. the state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and London, Earthscan.

FAO. 2011b. Climate change, water and food security. FAO Water Reports No. 36. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. 2013. A common vision and approach to sustainable food and agriculture. Working Draft. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Aiden S. 2018. Integrating the water – energy – food nexus into national irrigation planning: South African perspectives, 24th International Congress on Irrigation and Drainage, Saskatoon, Canada, 2018 ICID.

Pandya, A. B., Varma, H. K., Singh, S., Mohanan, M. 2018. Report of the 23rd International Congress on Irrigation and Drainage, Mexico City, Mexico, 8-14 October 2017International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), ISBN: 978-81-89610-26-5, PP. 72.

Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber-Lee, A. and Galbraith, H. 2005b. WEAP21: A demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 2: Aiding freshwater ecosystem service evaluation. Water International, 30(4), 501-512.

Yates, D., Sieber, J., Purkey, D. and Huber-Lee, A. 2005a. WEAP21: A demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 1: Model characteristics. Water International, 30(4), 487-500.

Fernandez, G. 2018. Water Energy Nexus in Irrigated Areas. Lessons from Real Case Studies. University of Cordoba, Cordoba, Spain.

Hanlon, P., Madel, R., Olson-Sawyer, K., Rabin, K., Rose, J. 2013. Food, water and energy: know the nexus. GRACE Communications Foundation, Water and Energy Programs, New York

Hassan G., Hassan F., and Ghulam S. 2017. Food Security Challenges Under Climatic Changes and Groundwater-Energy, Nexus- Case Study of Punjab-Pakistan, ICID, 2017: Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution.Transactions of the 23rd ICID Congress on Irrigation and Drainage – Abstract Volume: Question 60 and 61, 418 pp., ISBN: 978-81-89610-24-1

Hoff, H. 2011. Understanding the NEXUS. Background paper for the Bonn 2011 nexus conference: The water, energy and food security nexus solutions for the green economy. Stockholm Environment Institute, Stockholm

Mabhaudhi T., Sylvester M., Dhesigen N., Luxon N.,

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 14, Apr.-May. 2020, p. 275-285

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۴، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۹، ص. ۲۸۵-۲۷۵

Application and Evaluation of Water, Food and Energy (NEXUS) in Irrigation Networks Management: Case Study of Zayandehrud Irrigation Network

M.J. Monem[1]*, M. Delavar[2], S.M. Hosseini[3]
Recived: Jun.24, 2019 Accepted: Nov.04, 2019

Abstract

The water, food and energy nexus is an important approach in a comprehensive assessment of water resource management policies. The main objective of the current research is providing a method for decision makers to analysis and quantitative assessment of water–food–energy nexus at the irrigation network level. Through the proposed method, indicators considering the water and energy consumption, water productivity (WP), and energy productivity were suggested. Based on these indicators a water–food–energy nexus index (WFENI) was proposed. This research was conducted on irrigation networks located in the Zayandeh Rud Basin in Isfahan province. The Water Evaluation and Planning (WEAP) model has been used to simulate the allocation of resources and basin utilization conditions. Different scenarios were analyzed to existing water resources, energy consumption, and crop patterns. Considering the normalized WP index solely, the best scenario is a 20% reduction in water release from zayandehrood dam, with a maximum value of 0.54 for the Nekouabad irrigation network. Based on the normalized energy productivity index, the best scenario is the blockage of illegal wells with a maximum value of 0.49 for the Northern Mahyar irrigation network. While, taking into account the combined index, the prioritization of scenarios in different networks has changed. The results of this research indicated that although each of the Productivity Index alone reflects the effects of each policy in different networks, but based on only one indicator, it is not possible to decide on the effectiveness of the policies. It can be stated that the simultaneous consideration of water, food and energy is essential in analyzing the operation of irrigation networks and in selecting best policies.

Keywords: Energy Productivity, Irrigation network, Water, Food and Energy NEXUS, Water Productivity

1- Professor of Department of Water Structures, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University
2- Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University
3- MSc. Graduate, Department of Water Structures, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University
(*- Corresponding Author Email: Monem_mj@modares.ac.ir)