Archive of SID

ISSN: 2538-4384; Geographical Researches. 2019;34(4):493-504. DOI: 10.29252/geores.34.4.493

Conservation Practices of Groundwater Resources in Arid Region and Water Scarcity Adaptation; Case Study of Birjand Plain

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Shahidi A.*[1] *PhD,*
Khashei-Siuki A.[1] *PhD,*
Jafarzadeh A.[1] *MA*

How to cite this article
Shahidi A, Khashei-Siuki A, Jafarzadeh A. Conservation Practices of Groundwater Resources in Arid Region and Water Scarcity Adaptation; Case Study of Birjand Plain. Geographical Researches. 2019;34(4):493-504.

[1]Department of Water Sciences & Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

**Correspondence*
Address: Amirabad, Valiasr Street, 11th Alley, No. 3, Birjand, Iran.
Phone: +98 (56) 32254046
Fax: +98 (56) 32254050
ashahidi@birjand.ac.ir

Article History
Received: February 14, 2019
Accepted: Novmber16,2019
ePublished: December 11, 2019

ABSTRACT

Aims & Backgrounds The water resources conservation includes all measurements focusing on optimal consumption and reduction of stress on water resources and its final consequence is energy and financial resources saving. Aim of this study was to examine economically consequences of conservation practices and their impacts on groundwater resources management.

Methodology Examination of allocation conditions was carried out through WEAP Software. Optimization of agriculture cultivation pattern also has been performed using PSO algorithm in MATLAB. The examination of sewage potential of urban wastewater treatment were assessed to supply the fraction of the unconventional water resources. Also, the use of Rain Water Harvesting Systems (RHSs) with the aim of compensation of non-drinking water in residential areas and with using long term precipitation statistics of region were assessed.

Findings Change of annual allocation situation (industry share is raised to 25.8 percent and agriculture share is down to 49 percent) can save 10 billion cubic meter annualy. Consequence of PSO algorithm revealed that there is a potential to increase income of selling crops to 10 times of current expenses. The implementation results of RHSs showed that widespread utilization of them for all subscribes can save 2 billion cubic meter annualy. Assessment of the sewage reuse of the wastewater treatment showed that, it could improve 5.6 billion cubic meter of groundwater depletion annualy.

Conclusion It can be inferred from results that groundwater stress can be reduced considerably through implementation of modelling ground water resource allocation, optimization of agriculture cultivation pattern, capacity to use sewage potential of urban wastewater treatment and rainwater harvesting system.

Keywords Unconventional Water Resources; Southern Khorasan; Optimization of Cultivation Pattern; Water Scarcity Adaptation; WEAP

CITATION LINKS

[Abrishamchi, et al ;2007] Water resources ...; [Aein & Alizadeh;2018] Hydro-economic simulation- ...; [Agricultural Jihad Organization of South Khorasan; 2019] Economical and planning ...; [Ahmadi, et al ;2015] Development of a dynamic ...; [Ahmadi, et al; 2018] Water allocation using WEAP ...; [Asaadi Mehrabani, et al ;2018] Fuzzy linear programming ...; [Bailey, et al ;2018] Sustainability of rainwater catchment ...; [Burnham, et al; 2015] The human dimensions of ...; [Carvalho, et al; 2013] Sustainable airport environments: A review ...; [CDA; 2010] Chicago department of ...; [Cusimano, et al; 2015] Agricultural use of recycled ...; [Deng, et al; 2006] Improving agricultural ...; [Falkenmark & Lindh;1993] Water and economic ...; [Fang, et al; 2010] Water resources and ...; [Feng, et al; 2014] The energy and water nexus in ...; [Fowdar, et al; 2017] Designing living walls ...; [Hamdy; 1992] Irrigation with treated ...; [Heydarzadeh & Eslami; 2014] Use of gray water in ...; [Jafarzadeh, et al; 2016] Designing a multiobjective ...; [Jafarzadeh, et al; 2015] Designing a decision ...; [Jafarzadeh, et al; 2018] Estimating the reliability of ...; [Jenkins, et al; 1978] Feasibility of rainwater ...; [King, et al; 2013] Coherence between water and ...; [Komeh, et al; 2015] Investigation ...; [Lee, et al; 2011] Residential water use ...; [Li; 1999] Novel combination ...; [Malinowski, et al; 2015] Energy-water nexus: Potential ...; [McVicar, et al; 2002] Monitoring regional ...; [MOE Ministery of Energy; 2014] Economic affairs and ...; [Mohammadi, et al; 2015] Optimization of cropping ...; [Mutiga, et al; 2010] Water allocation as a planning tool to ...; [Nakhaee, et al; 2016] Optimization of crop ...; [Noori & Zarei Chahouki; 2018] Optimal use of ...;[Ouda, et al; 2013] Review of domestic ...; [Pahlavani, et al; 2016] Evaluation and comparison of ...; [Parsamehr & Khosravani; 2017] Investigating the potential of ...; [Qasemi, et al; 2016] Economical analysis of ...; [Rafei, et al; 2017] Optimum crop patterning by ...; [Rohani Farahmand & Tizghadam Ghazani; 2017] Economic and technical ...; [Southern Khorasan meteorological; 2019] Statistics and ...; [Southern Khorasan MPO; 2015] Statistics and ...; [Southern Khorasan Regional Water Authority; 2014] The ofiice of water ...; [Stillwell & Webber; 2010] Water conservation ...; [Wallace, et al; 2015] Rainwater catchment ...; [Wang, et al ; 2002] Water-saving agriculture ...; [Xu; 1992] Trends of water-saving ...; [Yousefi, et al; 2017] Non-Linear ...; [Zhang, et al; 2019] Farmers' adoption ...;

Copyright© 2019, ASP Ins. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

www.SID.ir

Archive of SID

راهکارهای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و سازگاری با کم‌آبی؛ مطالعه موردی دشت بیرجند

علی شهیدی* **PhD**
گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
عباس خاشعی سیوکی **PhD**
گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
احمد جعفرزاده **MA**
گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

اهداف و زمینه‌ها: حفاظت از منابع آب دربرگیرنده کلیه اقداماتی است که بر مصرف بهینه تأکید نموده و کاهش تنش بر منابع آب را فراهم می‌نماید و نتیجه نهایی آن ذخیره منابع مالی و انرژی است. هدف از این پژوهش، ارزیابی پیامدهای پیاده‌سازی حفاظت از منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند از منظر اقتصادی و مدیریت منابع آب بود.

روش‌شناسی: به‌منظور ارزیابی تغییر شرایط تخصیص از محیط نرم‌افزار WEAP استفاده شد. بهینه‌سازی الگوی کشت نیز با استفاده از الگوریتم فراابتکاری PSO و در محیط برنامه‌نویسی MATLAB پیاده‌سازی شد. ظرفیت بهره‌برداری از پساب واحد تصفیه‌خانه فاضلاب شهری نیز به‌عنوان منبع آب نامتعارف مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین استفاده از سامانه‌های آبگیر باران نیز با هدف جبران آب غیرشرب مناطق مسکونی و با استفاده از آمار درازمدت بارندگی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: با تغییر شرایط تخصیص سالانه (افزایش سهم صنعت تا ۲۵/۸% و کاهش سهم کشاورزی تا ٤۹%)، می‌توان تا سقف ۱۰ میلیون مترمکعب در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. براساس نتایج الگوریتم PSO، حتی با کاهش تخصیص مصارف کشاورزی، این ظرفیت وجود دارد که میزان درآمد تا ۱۰ برابر هزینه‌های جاری افزایش یابد. پیاده‌سازی گسترده سامانه‌های آبگیر آب باران می‌تواند موجب ذخیره‌نمودن سالانه ۲میلیون متر مکعب آب باران شود. استفاده مجدد از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب، سالانه ٥/٦ میلیون مترمکعب از کسری مخزن را کاهش می‌دهد.

نتیجه‌گیری: با پیاده‌سازی مدل‌سازی تخصیص منابع آب زیرزمینی، بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی، ظرفیت استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و بهره‌گیری از سامانه‌های جمع‌آوری آب باران، می‌توان فشار واردشده بر آب زیرزمینی را تا حد قابل توجهی کاهش داد.

کلیدواژه‌ها: آب‌های نامتعارف، خراسان جنوبی، بهینه‌سازی الگوی کشت، سازگاری با کم‌آبی، WEAP

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۵

*نویسنده مسئول: ashahidi@birjand.ac.ir

مقدمه

افزایش نیاز و وابستگی به آب به‌دلیل افزایش جمعیت، خشکسالی و وقوع پیامدهای غیرقابل پیش‌بینی اقلیمی در حال حاضر به یک هشدار قطعی در اکثر مناطق دنیا تبدیل شده است. این وابستگی در کنار افزایش نگرانی‌ها باعث شده است تا ضرورت طرح و برنامه‌ریزی درست منابع آب برای پاسخگویی به نیازهای فعلی و آتی بیش از پیش احساس شود. با توجه به این موضوع حفاظت از منابع موجود به معنای مدیریت عرضه و تقاضا و شامل برداشت‌های بهینه و کنترل‌شده و استفاده مجدد از پساب‌ها ضروری به حساب می‌آید [Carvalho *et al*, 2013]. از طرفی آب و انرژی دارای همبستگی و ارتباط تنگاتنگی هستند. در بخش مدیریت انرژی به‌منظور استخراج، خالص‌سازی و پالایش سوخت مایع و یا برای خنک‌سازی نیروگاه‌های ترموالکتریک، آب بسیار زیادی استفاده می‌شود. همچنین مدیریت منابع آب به‌منظور جمع‌آوری، توزیع و فرآیند تصفیه فاضلاب به مصرف انرژی بسیار زیادی نیاز دارد [King *et al*, 2013]. به عبارت دیگر همان‌گونه که برای فراهم‌نمودن یک واحد انرژی، نیاز به صرف آب است؛ برای ارایه یک واحد آب به مصرف‌کننده نیز باید مقدار مشخصی انرژی صرف شود. در پژوهش‌های انجام‌شده عموماً از این وابستگی تحت عنوان ارتباط داخلی انرژی- آب (energy-water nexus) یاد می‌شود [Malinowski *et al*, 2015]. از این‌رو مدیریت بهینه منابع آب موجب مدیریت بهینه انرژی و بالعکس خواهد شد. به‌دلیل وابستگی انرژی به نوسانات اقتصادی، متعاقباً مدیریت منابع آب نیز نسبت به تکانه‌های اقتصادی حساس است. با توجه به وقوع بحران اقتصادی، ارایه راهکار در خصوص مدیریت بهینه مصارف آب و حفاظت از منابع آب موجب بهبود شرایط اقتصادی نیز خواهد شد.

به‌دلیل وجود وابستگی شدیدی که بین مدیریت انرژی- آب و اقتصاد، باعث شده است تا اکثر تصمیم‌گیرندگان به‌منظور کاهش هزینه‌ها و توسعه اقتصادی بر مدیریت درست منابع انرژی و آب متمرکز شوند. این موضوع باعث شده است تا حفاظت از منابع انرژی و آب، (مصارف بهینه و کنترل‌شده در کنار استفاده مجدد) موضوع بسیاری از پژوهش‌های مربوطه باشد. از آنجا که موضوع پژوهش حاضر بر مدیریت منابع آب تمرکز دارد، لذا در ادامه به مرور مطالعاتی پرداخته می‌شود که موضوع آنها مرتبط به حفاظت از منابع آب باشد. این مطالعات به ارزیابی اقدامات حفاظت از منابع آب در بخش‌های کشاورزی، شرب و خدمات دولتی و حتی بخش صنعت پرداخته‌اند. اقدامات حفاظت از منابع آب که در این تحقیقات به آنها پرداخته شده است، شامل این موارد می‌شود: استفاده مجدد از پساب‌های خانگی [Fowdar *et al*, 2017]، کشاورزی [Burnham *et al*, 2015]، صنعتی و تصفیه‌خانه‌ها به‌منظور جبران بخشی از نیازهای غیر شرب، کشاورزی و صنعت؛ بهینه‌سازی مصارف خانگی و بخش‌های دولتی از طریق دستگاه‌های کاهنده مصرف و کنترل در برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی. به عنوان مثال مطالعه *اودا* و همکاران [Ouda *et al*, 2013] بر افزایش بهره‌وری در مصارف خانگی تمرکز دارد. در این پژوهش ذکر شده است که دولت عربستان سعودی به منظور حفاظت هرچه بیشتر از منابع آب خود، در یک طرح بزرگ اقدام به تأسیس یک کمپین حفاظت از منابع آب به‌منظور صرفه‌جویی در مصارف منازل نمود. هدف این کمپین

www.SID.ir

Archive of SID

آگاهی بخشی به مردم و کمک به مصرف بهینه منابع آب است. در سال ۲۰۰٤ اولین بسته حمایتی این کمپین جهت کمک به صرفه‌جویی بین ۱۸ میلیون خانوار توزیع شد. با ارایه این خدمات و تسهیلات به مصرف‌کنندگان خانگی بیش از ۳۰% مصرف خانگی که در حدود ٥۲٤ هزار مترمکعب در روز است کاهش پیدا کرده است. این بسته حمایتی که محتوای آن شامل سردوش‌ها و شیرهای کم مصرف، کاهنده حجم فلاش تانک (Toilet tank bank) و تشخیص دهنده‌های نشت خانگی (Leak detection ills) می‌شود، در اقدامات بعدی این کمپین بخش‌های عمومی (ساختمان‌های دولتی، مدارس، مساجد، پارک‌ها و فردگاه‌ها) و کارگاه‌های تولیدی شخصی را تحت پوشش قرار داد. مطالعه *فنگ* و همکاران [Feng *et al*, 2014] به ارزیابی اقدامات حفاظت از منابع آب در بخش صنعت پرداخته است. هدف این پژوهش بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف آب در مولدهای انرژی است. نتایج نشان داد که با جایگزینی انرژی باد با سوخت‌های فسیلی می‌توان تا سقف ٥۰% در مصرف آب صرفه‌جویی نمود، شیرآلات هوشمند و کاهنده مصرف آب از جمله مهم‌ترین اقداماتی است که در اقصی نقاط دنیا به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف به کار برده شده است [Carvalho *et al*, 2013]. به‌عنوان مثال فرودگاه بین‌المللی لودردیل شهر هالی‌وود در ایالت فلوریدا که تنها در سال ۲۰۱۰ پذیرای قریب به ۲۲ میلیون مسافر بود، با نصب تجهیزات و شیرآلات هوشمند در سرویس‌های بهداشتی، سینک‌های دستشویی و آبخوری‌ها توانسته است تا ۱٦۳ هزار مترمکعب در سال در مصرف آب صرفه‌جویی نماید [CDA, 2010]. بخش آب و فاضلاب ایالت میامی دَد کشور آمریکا به‌منظور ترغیب هرچه بیشتر مصرف‌کنندگان خانگی به صرفه‌جویی در مصرف آب، در قبال پیاده‌سازی شیرآلات و سردوش‌های با راندمان بالا در سرویس‌های بهداشتی، سینک‌های دستشویی و حمام، اقدام به ارایه تخفیف در تعرفه‌های مصرف آب نموده است. تقریب زده می‌شود که بتوان قریب به ۳۱۲۰۰ متر مکعب سالانه در مصرف آب صرفه‌جویی نمود [Lee *et al*, 2011]. همچنین مطالعات *کینگ* و همکاران [King *et al*, 2013] *استیلول و وبر* [Stillwell & Webber, 2010] نشان دادند که با احیاکردن پساب خانگی (حمام، سردوش‌ها، سینک دستشویی و ماشین‌های ظرف‌شویی و لباس‌شویی) می‌توان سالانه ۲۲۰۰ میلیون متر مکعب (۱۲% کل نیاز آب) در مصرف آب شرب صرفه‌جویی نمود. هدف دسته‌ای دیگر از مطالعات حفاظت از منابع آب به‌صورت خاص بر استفاده مجدد است. مطالعه *حیدرزاده و اسلامی* [Heydarzadeh & Eslami, 2014] و *روحانی فرحمند و تیزقدم غازانی* [Rohani Farahmand & Tizghadam Ghazani, 2017] نیز با هدف استفاده مجدد از آب خاکستری منازل مسکونی انجام شده است. نتایج مطالعه آنها نشان می‌دهد که این ظرفیت وجود دارد که در مصرف آب واحدهای مسکونی شهر بیرجند تا سقف ۲۸٥/۷ لیتر در روز صرفه‌جویی صورت گیرد.

مطالعاتی نظیر *هَمدی* [Hamdy, 1992]، *ژنگ* و همکاران [Zhang *et al*, 2019]، *مک‌ویکار* و همکاران [McVicar *et al*, 2002]، *دنگ* و همکاران [Deng *et al*, 2006]، *فنگ* و همکاران [Fang *et al*, 2010] و ونگ و همکاران [Wang *et al*, 2002] بر اقدامات حفاظت از منابع آب در بخش کشاورزی متمرکز شده‌اند. پژوهش *ونگ* و همکاران [Wang et al, 2002] همچنین مطالعه *ژیو* [Xu, 1992] نشان می‌دهد که بازسازی کانال‌های انتقال آب می‌تواند باعث افزایش ۱۰% راندمان انتقال و صرفه‌جویی سالانه ۲ هزار میلیون متر مکعب شود.

بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که مطالعات انجام‌شده صرفاً بر یکی از اقدامات حفاظت از منابع آب تمرکز داشته‌اند و فراوانی پژوهش‌هایی که ارزیابی جامعی در خصوص اقدامات حفاظت از منابع آب را در برگفته باشد، کمتر است. حال آنکه جهت مدیریت صحیح منابع آب و پیاده‌سازی اصولی اقدامات حفاظتی لازم است تا یک نگرش جامع نسبت به ارایه راهکارهای حفاظی بیان شود. به طوری که طیف وسیعی از اقداماتی را درنظر بگیرد که بین آنها ارتباط و وابستگی زیادی وجود دارد.

مضاف بر اینکه با توجه به وضعیت فعلی کشور و اینکه راهبرد اقتصادی کشور هنوز پایه‌ریزی و عملیاتی نشده است، ناپایداری اقتصاد و به تبع آن آسیب‌پذیری تمامی بخش‌های وابسته از جمله صنعت آب کاملاً مورد انتظار است. به عبارت دیگر ناپایداری و آسیب‌پذیری بخش‌های گوناگون نسبت به تهدید و تحریم‌ها، بروز نوسانات زیاد و تصمیم‌گیری‌های غیر فنی اقتصادی بسیار بالا است. عملیاتی‌نمودن سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی در تمامی بخش‌های مدیریتی کشور اعم از صنعت آب نیازمند بررسی ابعاد علمی چگونگی پیاده‌نمودن این سیاست‌ها است. لذا با توجه به وضعیت اقتصادی کشور ارزیابیِ اقتصادیِ اقدامات حفاظت از منابع آب بایستی به‌جد مورد توجه قرار گیرد. لازمه تحقق این امر هدایت و تعریف پژوهش‌های کاربردی با محوریت اقتصاد در صنعت آب است. بررسی مطالعات نشان می‌دهد که در حال حاضر مطالعات بسیار محدودی در این مقوله انجام شده است.

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که مطالعات انجام شده صرفاً بر یکی از اقدامات حفاظت از منابع آب تمرکز داشته‌اند در صورتی که در این تحقیق تخصیص منابع آب توأم با روش‌های حفاظتی بررسی گردیده است که بررسی این اثر توأم تاکنون در سایر تحقیقات انجام نشده است. بهره‌گیری همزمان از مدل WEAP برای تخصیص منابع آب و آلگوریتم PSO برای بهینه‌سازی الگوی کشت، از جله نوآوری‌های دیگر این تحقیق محسوب‌شده که تاکنون در سایر تحقیقات به آن پرداخته نشده است. از این‌حیث مطالعه پیش‌رو اقدام به ارزیابی کمی طیف گسترده‌ای از راهکارهای تأثیرگذار در بهبود کسری مخازن آب زیرزمینی به همراه تحلیل ارزش اقتصادی هر کدام از اقدامات و راهکارها نموده است که در نوبه خود در سایر تحقیقات انجام نشده است.

www.SID.ir

Archive of SID

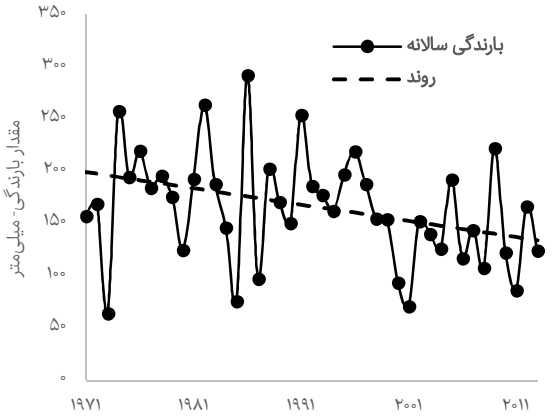
روش‌شناسی

پژوهش حاضر به لحاظ هدف، کاربردی و به لحاظ ماهیت و روش تحلیلی توصیفی است. این پژوهش به‌منظور بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند در راستای سازگاری با تغییر اقلیم و خشکسالی و ارایه راهکارهای حفاظت از این منابع، به‌صورت مطالعه میدانی و نیز استفاده از آمار موجود پیزومترها، چاه‌های عمیق منطقه (موجود در سازمان آب منطقه‌ای خراسان جنوبی) و نیز آمار الگوی کشت (برگرفته از آمار جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی) انجام‌شده و سپس تجزیه تحلیل و توصیف شده است.

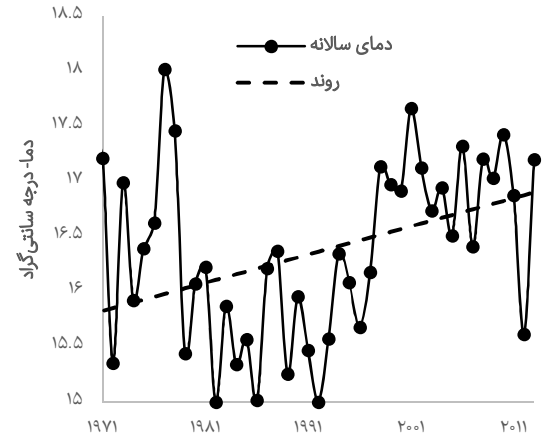
شهر بیرجند مرکز استان خراسان جنوبی در شمال رشته کوه‌های باقران و در محدوده ۵۹′ ۱۳° طول جغرافیایی و با ۳۲′ ۵۳° عرض جغرافیایی قرار گرفته است. وسعت این شهر ۴۲/۷ کیلومتر مربع، دارای ۲ بخش و ۱۰ دهستان است. میانگین کمینه و بیشینه دمای سالیانه به ترتیب ۸/۵ و ۲۴/۵ درجه سانتی‌گراد، تبخیر پتانسیل سالانه ۲۶۰۴/۱ میلی‌متر، بارش دراز مدت سالانه ۱۳۰ میلی‌متر، رطوبت نسبی ۳۷% و ارتفاع از سطح دریا ۱۴۹۱ متر است. با توجه به شرایط اقلیمی و با استناد به طبقه‌بندی آمبرژه، دشت بیرجند جزء مناطق خشک و سرد به شمار می‌رود [Jafarzadeh *et al*, 2018].

وضعیت منابع آب

اقلیم خشک در این محدوده مطالعاتی شرایط دشواری را در خصوص کمیت و کیفیت آب به وجود آورده است. در منطقه مورد مطالعه هیچ‌گونه رودخانه دائمی و یا فصلی وجود ندارد. اندک بندهای تاریخی موجود در منطقه نظیر بند دره، امیرشاه، نارمنج و غیره در اکثر ایام سال خشک بوده و صرفاً جنبه تفریحی و گردشگری دارد. از این‌رو تأمین آب مورد نیاز منطقه به طور کامل متوجه منابع آب زیرزمینی است. در حال حاضر طبق آمار مستند شرکت آب منطقه‌ای، تعداد ۳۰۵ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق، ۱۲۲۲ رشته قنات و تعداد ٤٤٢ چشمه، جزء منابع تخلیه محدوده مطالعاتی دشت بیرجند (دشت و ارتفاعات) به شمار می‌روند که حجم تخلیه این منابع از محدوده بیرجند ۱۰۸ میلیون متر مکعب است. همچنین حجم برداشت منابع تخلیه از آبخوان دشت بیرجند قریب به ۷۷ میلیون متر مکعب است. در حال حاضر دشت بیرجند جزء دشت‌های ممنوعه استان به شمار می‌آید و جهت کمک به شرایط بحرانی، حجمی معادل ٤/٦ میلیون مترمکعب در سال از دشت سربیشه به این محدوده مطالعاتی وارد می‌گردد. به‌دلیل برداشت‌های بیش از ظرفیت و عدم تغذیه مناسب، در حال حاضر کسری مخزنِ آبخوان این دشت حدود ۱۳/۳ میلیون متر مکعب است [Southern Khorasan Regional Water Authority, 2017; Jafarzadeh *et al*, 2016]. با بررسی آمار دراز مدت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بیرجند و با استفاده از آزمون من-کندال اصلاح شده، مشخص می‌شود که در سال‌های اخیر به‌دلیل وقوع پدیده تغییر اقلیم، متوسط درجه حرارت و بارندگی محدوده مطالعاتی به ترتیب روند افزایش و کاهشی به خود گرفته شکل ۱ که این موضوع در کنار سایر عوامل تأثیرگذار باعث افزایش برداشت و کاهش تغذیه آبخوان شده است. روند افزایشی درجه حرارت موجب افزایش تبخیر از سطح آزاد، نیاز آبی گیاهان و سرانه مصرف می‌شود که نهایتاً باعث تخلیه بیشتر از آبخوان و کسری بیشتر آبخوان می‌گردد. کاهش بارندگی نیز موجب تنزیل نرخ تغذیه به آبخوان می‌شود که در کنار افزایش برداشت از جمله عوامل مهم ایجاد وضعیت بحرانی در منطقه به شمار می‌روند.



الف



ب

شکل ۱) روند تغییرات بارش سالانه (الف) و درجه حرارت (ب) دشت بیرجند

در ادامه مهم‌ترین راهکارهای تأثیرگذار در بهبود کسری مخزن آبخوان دشت ارایه شد و میزان صرفه‌جویی در برداشت آب زیرزمینی و ارزش اقتصادی هر کدام از راهکارها مورد ارزیابی قرار گرفت.

راهکار نخست: تغییر شرایط تخصیص آب زیرزمینی

مقدار کم بارندگی و درجه حرارت بالا در نیمه شرقی کشور به طور کلی باعث شده است تا توانمندی بخش کشاورزی در بهره‌وری و تولید اشتغال زیاد مطلوب نباشد. متأسفانه به‌دلیل توسعه نامناسب و گسترش غیر اصولی، بیشترین سهم برداشت از منابع آب مربوط به بخش کشاورزی است، حال آنکه در حال حاضر بخش

www.SID.ir

Archive of SID

صنعت با بهره‌وری بالا سهم کمتری نسبت به مصارف کشاورزی دارد. در این مطالعه استفاده از نرم‌افزار WEAP تأثیر تغییر شرایط تخصیص منابع آب مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی شرایط تخصیص منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل WEAP، در مطالعات زیادی انجام شده است [Ahmadi *et al*, 2018; Mutiga *et al*, 2010; Abrishamchi *et al*, 2007].

در طول دهه اخیر نگارش یکپارچه در توسعه طرح‌های منابع آب افزایش یافته است و نیازها، مسائل کمی و کیفی در کنار تحلیل اقتصادی مربوط به منابع آب در کنار هم مورد توجه قرار می‌گیرند. مدل WEAP نیز این مسائل را در کنار یکدیگر در یک ابزار کاربردی برای برنامه‌ریزی منابع آب و تحلیل سیاست‌ها به کار می‌گیرد. مدل WEAP براساس اصل مقدماتی موازنه آب عمل می‌کند و می‌توان آن را در سامانه‌های شهری، کشاورزی و در یک حوضه آبریز و یا در چندین حوضه مورد استفاده قرار داد. در این مدل تغییرات ذخیره مخزن آبخوان براساس معادله بیلان استوار است. رابطه (۱) چگونگی تخمین تغییرات ذخیره یک آبخوان را در مدل WEAP نشان می‌دهد:

$$\Delta s = \underbrace{(\text{Natural Recharge} + \text{Return flow})}_{\text{Input Section}} - \underbrace{(\text{Withdrawal})}_{\text{Output Section}} \quad (۱)$$

که در آن Withdrawal: حجم کل جریان خروجی از آبخوان شامل: مصارف، زهکش و جریان خروجی از آبخوان (میلیون متر مکعب)، Natural Recharge: مجموع کل احجام ورودی به آبخوان شامل: جریان ورودی به آبخوان و نفوذ از بارندگی و جریان‌های سطحی (میلیون متر مکعب) و Return flow: حجم جریان برگشتی مصارف مختلف به آبخوان است.

در این مطالعه به جهت بررسی شرایط تخصیص در بیلان آبخوان دشت بیرجند دو سناریو اعمال شد. در ابتدا و در سناریوی نخست وضعیت بیلان آبخوان دشت بیرجند متناسب با رابطه (۱) و شرایط تخصیص در وضعیت فعلی شبیه‌سازی شد. در این سناریو براساس آخرین گزارش بیلان دشت بیرجند (سال آبی ۹۶-۹۵) برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت به ترتیب ۲۵/۱۳، ۶۹/۰۸ و ۵/۷۸% از برداشت سالانه اعمال شد لیکن در سناریوی دوم سهم بخش کشاورزی ۲۰% کاهش و سهم بخش صنعت ۲۰% افزایش داده شد. با ثابت نگه‌داشتن میزان برداشت بخش شرب، تخصیص مصارف مختلف به صورت ۲۵/۱۳% برای شرب، ۴۹/۰۸% برای کشاورزی و ۲۵/۷۸% برای صنعت درنظر گرفته شد همچنین جدول ۱ جزئیات مربوط به مقادیر مؤلفه‌های بیلان آبخوان در دشت بیرجند را نشان می‌دهد (سناریوی ۱).

$$\begin{cases} C = Sum(a \times Cost) \\ B = Sum(Yp \times a \times Benefit) \\ Z = (B/C) - Penalty \end{cases} \quad (۲)$$

جدول ۱) جزئیات مؤلفه‌های بیلان آبخوان دشت بیرجند [Southern Khorasan Regional Water Authority, 2017]

حجم مؤلفه‌های تخلیه از آبخوان (میلیون متر مکعب)		حجم مؤلفه‌های تغذیه از آبخوان (میلیون متر مکعب)	
کشاورزی	۵۳/۱۶	**حجم جریان برگشتی از کشاورزی**	۱۰/۶۳
شرب	۱۹/۳۴	**حجم جریان برگشتی از شرب**	۱۶/۱۵
صنعت	۴/۴۵	**حجم جریان برگشتی از صنعت**	۳/۷۱
جریان خروجی و زهکش	۱/۲۹	**تغذیه طبیعی و نفوذ بارندگی و جریان‌های سطحی**	۳۴/۳۸
جمع کل	۷۸/۲۴	**جمع کل**	۶۴/۸۹

راهکار دوم: بهینه‌سازی الگوی کشت

یکی دیگر از مهم‌ترین چالش‌های موجود بر سر راه مدیریت منابع آب دشت بیرجند، عدم توجه به اصلاح الگوی کشت باعث شده است تا حجم قابل توجهی از آب زیرزمینی صرف کشت محصولات با نیاز آبی بالا می‌شود. این درحالی است که کشاورزی منطقه دارای محصولات استراتژیکی نظیر زعفران، عناب، زرشک و گیاهان دارویی است. محدودیت‌های موجود در بهره‌برداری از منابع آب در مناطق خشک ایجاب می‌کند تا ضمن مصرف بهینه، از آب مصرفی حداکثر استفاده کسب شود. این مطالعه به‌عنوان راهکار دوم درنظر دارد تا به ارزیابی آب تخصیص یافته به محصولات کشاورزی دشت بیرجند در کنار منفعت‌های اقتصادی توجه نماید. جدول ۲ لیست محصولات کشاورزی دشت بیرجند را نشان می‌دهد [Agricultural Jihad Organization of Southern Khorasan, 2019].

در این مطالعه و با استفاده از اطلاعات سطح زیر کشت دشت بیرجند در سال ۱۳۹۷ جهت بهینه‌سازی از الگوریتم PSO (ازدحام ذرات) که یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های فرا ابتکاری به شمار می‌رود، استفاده شد. مطالعات *یوسفی* و همکاران [Yousefi *et al*, 2017]، و *رفیعی* و همکاران [Rafie *et al*, 2017]، جهت تعیین سطح بهینه زیر کشت محصولات از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده نموده‌اند. در فرآیند بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از الگوریتم PSO، سطح زیرکشت به‌عنوان متغیر تصمیم و تابع هدف مقدار سود به هزینه برای کل دشت درنظر گرفته شد: در رابطه فوق a: سطح زیر کشت (هکتار)، Cost: هزینه هر هکتار هر کدام از محصولات دشت بیرجند (ریال)، Yp(c): عملکرد واقعی محصول cاُم (کیلوگرم بر هکتار)، Benefit: قیمت فروش هر کیلوگرم از محصولات دشت بیرجند (ریال) و Penalty: قید مربوط به تخطی از قیود مسیله است. از آنجا که در راهکار تغییر شرایط تخصیص، سهم مصارف کشاورزی تا سقف ۳۷/۷۷ میلیون متر مکعب کاهش داده شد، کل حجم تخصیص داده شده به مصارف کشاورزی نباید از این قید تخطی نماید. مقدار جریمه براساس میزان تخطی از قید حداکثر برداشت درنظر گرفته شد. بدین ترتیب

www.SID.ir

Archive of SID

در صورت بروز تخطی از این قیود به اندازه افزایش برداشت، از ارزش تابع هدف کاسته خواهد شد. باید توجه نمود که ۲۵% از کل سطح اراضی به‌منظور سطح آیش در نظر گرفته شد و راندمان کل معادل ۵۰% فرض شد [Jafarzadeh *et al*, 2016]. الگوریتم با تعداد ۲۰۰ ذره و ۲۰۰۰ تکرار اقدام به تولید جمعیت اولیه خواهد نمود. پس از تعیین تابع هدف و ذرات برتر در جمعیت الگوریتم، با استفاده از رابطه (۳)، (سطح زیرکشت هرکدام از محصولات) مقدار متغیر تصمیم در هر کدام از ذرات تغییر خواهد نمود:

$$\begin{cases} v_{t+1}^{i} = w_i v_t^i + c_1 r_1 (pbest_t^i - x_t^i) + c_2 r_2 (gbest_t^i - x_t^i) \\ x_{t+1}^{i} = x_t^i + v_{t+1}^i \end{cases} \quad (۳)$$

که در آن x: موقعیت ذرات، v: سرعت ذرات، i: شمارنده ذرات، w: ضریب اینرسی وزنی (inertia weight)، c1 و c2: مؤلفه‌های تجربه فردی (cognitive) و اجتماعي (social) و r1 و r2: اعداد تصادفي حقیقی کوچک‌تر از ۱ هستند. پس از اجراهای متعدد کد برنامه مقادیر پارامترهای C1، C2 و ضریب انقباض به‌ترتیب ۲، ۸/ و ۰/۹۹ به دست آمد. پس از تغییر مقدار متغیر تصمیم تابع هدف بار دیگر فراخوانی شده و برترین اعضای جمعیت مشخص می‌گردند. چنانچه شرایط خاتمه در الگوریتم فراهم شود، بهینه‌سازی پایان خواهد یافت و در غیر این‌صورت فرآیند فوق‌الذکر ادامه خواهد یافت. شرایط خاتمه استفاده شده در این مطالعه بدین شرح است که اگر بهترین جواب الگوریتم در ۳۰۰ تکرار اخیر بهبودی پیدا نکرد، مدل مذکور از حلقه اصلی خود خارج‌شده و بهینه‌سازی پایان می‌یابد.

جدول ۲) جزئیات محصولات تحت کشت دشت بیرجند [Agricultural Jihad of South Khorasan Province, 2018]

محصول	حداکثر عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	نیاز آبی (مترمکعب در هکتار)	هزینه (میلیون ریال بر هکتار)	قیمت (ریال بر کیلوگرم)
گندم	۵۵۰۰	۷۰۰۰	۱۲/۷۳	۱۱۵۵۰
جو	۴۰۰۰	۶۵۰۰	۱۱/۱۷	۹۲۰۰
چغندر	۲۰۰۰۰	۱۳۰۰۰	۴۲/۵	۹۰۰۰
پنبه	۳۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۱/۳۵	۲۵۵۰۰
ذرت	۴۰۰۰۰	۱۱۰۰۰	۵۵	۷۰۰۰
سبزیجات	۱۰۰۰۰	۶۰۰۰	۴۲/۵	۱۰۰۰۰
یونجه	۱۲۰۰۰	۱۳۰۰۰	۲۱/۸	۱۲۰۰۰
عناب	۳۰۰۰	۱۱۰۰۰	۳۵	۱۲۰۰۰۰
زعفران	۱۰	۶۰۰۰	۳۰	۶۰۰۰۰۰۰
زرشک	۲۰۰۰	۱۱۰۰۰	۳۰	۱۰۰۰۰۰
جالیزی	۱۲۰۰۰	۷۰۰۰	۳۰	۷۰۰۰
انگور	۸۰۰۰	۱۰۰۰۰	۳۵	۹۰۰۰
بادام	۱۵۰۰	۱۴۰۰۰	۶۰	۱۵۰۰۰
گردو	۲۵۰۰	۱۴۰۰۰	۴۰	۱۸۰۰۰

راهکار سوم: استفاده از سامانه‌های خانگی جمع‌آوری آب باران

استحصال آب باران برای استفاده در مصارف غیرآشامیدنی به‌دلیل نقش مؤثری که در افزایش ایمنی تأمین آب و نیز کاهش هزینه‌ها و اثرات زیست‌محیطی دارد، گزینه مناسبی جهت تأمین بخشی از نیازها به شمار می‌رود. گسترش سامانه‌های استحصال آب باران می‌تواند در کنترل زهکشی،جلوگیری از وقوع سیل، صرفه‌جویی در مصرف آب آشامیدنی و ترمیم چرخه آب مناطق شهری نقش مؤثری را ایفا نماید [Qasemi *et al*, 2017]. مطالعات انجام شده حاکی از آن است که پیاده‌سازی این سامانه‌ها در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک قابل اجرا است [Komeh *et al*, 2015]. مفهوم اعتمادپذیری به این صورت تبیین می‌شود که در یک بازه زمانی مشخص تا چه اندازه از نیازهای غیر شرب با آب ذخیره شده توسط سامانه‌های آبگیر باران مسکونی قابل تأمین است. به عبارت دیگر تا چه اندازه می‌توان برای رفع نیازها به این سامانه‌ها اعتماد کرد. این اعتمادپذیری در ترکیب‌های مختلف مساحت پشت بام و حجم تانک ذخیره متفاوت خواهد بود. با ریزش باران متناسب با سطح پشت‌بام، حجم مشخصی از بارانِ جمع‌آوری شده از پشت‌بام به سمت تانک ذخیره هدایت می‌شود تا برای مصارف مشخص استفاده شود. در طول یک مدت بهره‌برداری مشخص، حجم آب باران ذخیره شده در هر گام زمانی توسط الگوریتم *جنکینز و پیرسون* [Jenkins *et al*, 1978] قابل محاسبه است. معادله (٤) رابطه این الگوریتم را نشان می‌دهد:

$$\begin{aligned} &for\ t = 2 : b \\ &V_t = \{V_{t-1} + \min[(A.P_t.\varepsilon), (S - V_{t-1})] - O_t\} \quad (٤) \\ &end \end{aligned}$$

در این رابطه Vt و Vt-1: به ترتیب حجم ذخیره شده در گام زمانی t و t-1 اُم (متر مکعب)، b: طول دوره بهره‌برداری، A: مساحت پشت‌بام (متر مربع)، S: حجم تانک ذخیره (متر مکعب)، Ot: مقدار نیاز آبی خانگی در گام زمانی t (متر مکعب)، Pt: مقدار

www.SID.ir

Archive of SID

بارندگی در گام زمانی t (متر) و ε: راندمان بخش انتقال است. این الگوریتم برای یک ترکیب مشخص از مساحت پشت‌بام و تانک ذخیره در طول مدت بهره‌برداری تکرار می‌شود و در پایان مقدار اعتمادپذیری بر حسب تعداد روزهایی که نیاز آب خانگی را برآورد نماید محاسبه می‌گردد. دامنه تغییرات اعتمادپذیری با تکرار این الگوریتم در ترکیب‌های گوناگون مساحت پشت‌بام و تانک ذخیره قابل محاسبه است [Wallace *et al*, 2015; Bailey *et al*, 2018]. در این پژوهش عملکرد این سامانه‌ها در تأمین بخشی از نیاز غیر شرب خانگی (آبیاری باغچه، شستشوی حیاط، سرویس بهداشتی، تأمین نیاز گیاهان آپارتمانی) در شهر بیرجند مورد ارزیابی قرار گرفت. نیاز ماهانه غیر شرب یک خانواده ۵ نفره معادل ۵ هزار لیتر و دوره بهره‌برداری از این سامانه‌ها از ابتدای سال ۱۹۶۱ تا انتهای ۲۰۰۵ میلادی (۴۵ سال و معادل ۵۴۰ ماه) فرض شد. مساحت‌های پشت‌بام بین ۱۵۰ تا ۵۰۰ مترمربع، احجام تانک ذخیره بین ۵ تا ۲۵ مترمکعب و راندمان انتقال آب حدفاصل پشت‌بام و تانک ذخیره ۸۵% فرض شد.

راهکار چهارم: استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری

احیاء و استفاده مجدد از آب‌های نامتعارف امروزه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رویکردهای مورد استفاده در مدیریت بحران آب است که به طور گسترده‌ای در اکثر مناطق جهان در حال گسترش است. پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب یکی از مهم‌ترین مصادیق منابع آب‌های نامتعارف به شمار می‌رود که به منظور استفاده در مصارف مختلف استفاده می‌شوند. فاز یک طرح تجمیع و تصفیه فاضلاب شهری بیرجند در سال ۱۳۷۴ اجرا گردید و به‌منظور تصفیه فاضلاب از برکه‌های تثبیت استفاده شد. این برکه‌ها خود شامل سه برکه بی‌هوازی، اختیاری و تکمیلی می‌شوند که فاضلاب ورودی پس از گذران مدت زمان مشخص در هر کدام از برکه‌ها، در نهایت به صورت تصفیه شده از تصفیه‌خانه خارج می‌شود. طبق بازدیدهای به عمل آمده از واحد تصفیه‌خانه و زمین‌های زراعی پایین دست آن، متأسفانه هیچ کدام از دو سازمان آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب شهری برنامه دقیق و مشخصی در خصوص پساب تحویلی ندارند. چرا که در عمل هیچ گونه محدودیت در برداشت از آبخوان در قبال ارایه پساب به کشاورزان صورت نگرفته است [Jafarzadeh *et al*, 2015]. در حال حاضر ۵۰% از محدوده شهری تحت پوشش این شبکه قرار گرفته‌اند و دبی فاضلاب ورودی ۲۰۰ لیتر بر ثانیه و میانگین دبی روزانه پساب خروجی قریب ۱۸۰ لیتر بر ثانیه است که در پایین دست واحد تصفیه‌خانه رها می‌شود. از آنجا که گسترش بیشتر طرح تجمیع رواناب و فاضلاب شهری موجب افزایش قابل توجه دبی پساب خروجی خواهد شد و همچنین به دلیل عدم وجود برنامه مشخص در خصوص پساب واحد تصفیه‌خانه، ظرفیت استفاده از پساب تصفیه‌خانه به‌عنوان یک راهکار در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین با مشخص‌نمودن مصادیق مصرف پساب، میزان صرفه‌جویی در مصرف آب و ارزش کمی آن نیز تعیین شد.

ارزش اقتصادی راهکارها

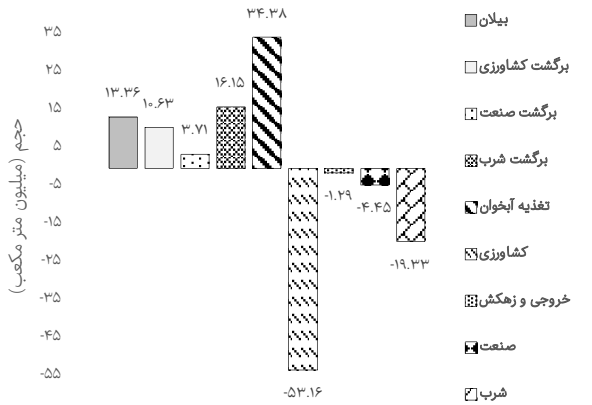
حکمرانی آب، همان رفتار کنترل‌کننده‌ای است که از طریق اقدامات مدیریتی و یا با وضع مقررات مطلوب در طیف وسیعی از گزاره‌های سیاسی، اجتماعی، خدماتی، زیست‌محیطی و به ویژه اقتصادی به کار گرفته می‌شود و نهایتاً منجر به تنظیم تخصیص منابع آب و بهبود شرایط مصرف می‌گردد. حکمرانی خوب می‌تواند به‌عنوان یک ابزار ضروری برای توسعه پایدار، ظرفیت‌ها را برای جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی جذب کند و سبب توسعه اقتصادی شود [Falkenmark & Lindh, 1993]. در مطالعه پیش‌رو ارزش اقتصادی میزان صرفه‌جویی در مصرف به ازای هر کدام از راهکارهای ارایه‌شده تعیین شد. بدین منظور براساس تعرفه آب و خدمات فاضلاب که توسط وزارت نیرو مصوب شده است [MOE, 2014]، ارزش هر متر مکعب آب صرفه‌جویی شده و تعرفه یک متر مکعب فاضلاب تصفیه‌شده به ترتیب معادل ۱۵ (میانگین تعرفه در طبقات مختلف مصرف) و ۱۰ (معادل ۷۰% آب‌بهای یک متر مکعب آب مصرفی) هزار ریال در نظر گرفته شد. همچنین با استفاده از رابطه (۵) ارزش صرفه‌جویی اقتصادی در آینده تعیین شد:

$$FVS = PV.(1+i)^n \qquad (۵)$$

که در آن FVS ارزش آینده صرفه‌جویی، PV ارزش فعلی، i نرخ بهره و n تعداد سال‌های آتی است. نرخ بهره اقتصادی معادل ۱۵% سالیانه درنظر گرفته شد.

یافته‌ها

مطالعه پیش‌رو ضمن ارزیابی مشکلات موجود در مدیریت منابع آب دشت بیرجند، راهکارهای عملیاتی برون‌رفت از بحران موجود را پیشنهاد نمود. در ابتدا نتایج مربوط به راهکار نخست (تغییر شرایط تخصیص) ارایه می‌شود. شکل ۲ نتیجه شبیه‌سازی بیلان آبخوان دشت بیرجند در مدل WEAP را نمایش می‌دهد.



شکل ۲) نتایج مدل WEAP مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی در سناریوی اول

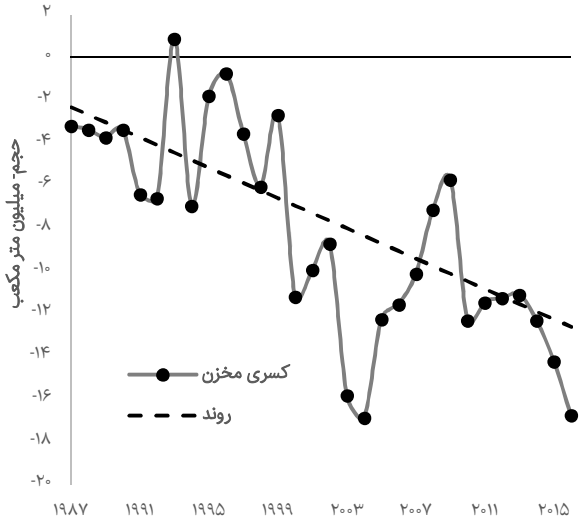
در این شکل مقادیر مؤلفه‌های ورودی و خروجی بیلان آبخوان مشخص شده است. بیلان منفی ۱۳/۳۶- میلیون مترمکعب حاکی از کسری مخزن و برداشت بیش از تغذیه آبخوان است. این نتیجه

www.SID.ir

Archive of SID

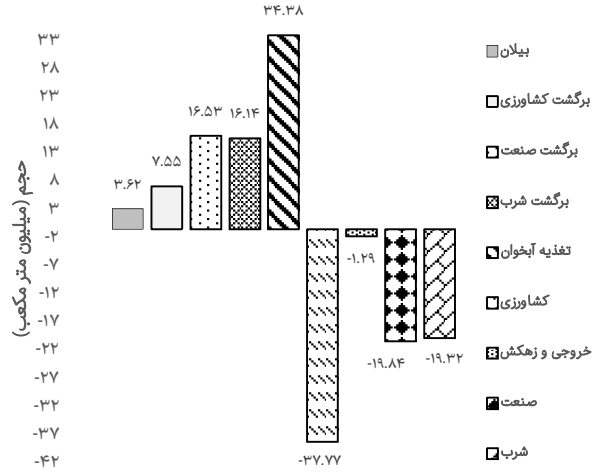
با نتایج گزارش بیلان منابع آب دشت بیرجند که از سوی شرکت آب منطقه‌ای استان تدوین شده است، کاملاً هم‌خوانی داشته و نتایج مدل WEAP را تأیید می‌نماید. با در نظر گرفتن مساحت آبخوان (۳۵٤/۸ کیلومتر مربع) و مقدار ۰/۰۵ برای ضریب آبدهی ویژه آبخوان، مقدار افت ارتفاع هیدرولیکی سطح آب زیرزمینی در سال ۲۰۱۷ معادل ۷۵ سانتی‌متر برآورد می‌شود. پس از اطمینان از صحت مدل‌سازی انجام‌شده در محیطWEAP می‌توان نسبت به اعمال سناریوهای گوناگون مدیریت منابع آب در محیط نرم‌افزار اقدام نمود.

همچنین براساس آمار کسری مخزن اتخاذ شده از دفتر مطالعات پایه منابع آب و استفاده از روش من کندال اصلاح شده، روند تغییرات کسری مخزن آبخوان دشت بیرجند طی سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۸۷ در شکل ۳ مشخص شده است. با به دست‌آوردن روند تغییرات کسری مخزن می‌توان مقدار این مؤلفه را برای سال‌های آتی پیش‌بینی نمود. از این‌رو چنانچه روند کسری مخزن به صورت وضعیت فعلی ادامه نماید، مجموع کسری مخزن آبخوان بیرجند از سال ۲۰۱۷ تا پایان سال ۲۰۳۰ حدوداً ۲۱۳ میلیون متر مکعب برآورد خواهد شد. برآورد حجم استاتیک آبخوان بیرجند در سال ۲۰۱۷ نشان می‌دهد که ظرفیت آب ذخیره شده و موجود در آبخوان به نحوی است که با وجود روند کسری مخزن فعلی آبخوان نمی‌توان برای یک توسعه پایدار روی سیاست‌های فعلی مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند اتکاء نمود.



شکل ۳) تغییرات کسری مخزن دشت بیرجند [Southern Khorasan Regional Water Authority, 2017]

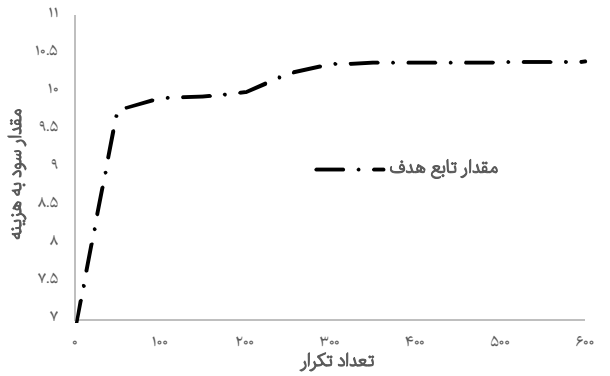
پس از حصول اطمینان از مدل‌سازی درست بهره‌برداری از آب زیرزمینی در محیط WEAP، سناریوی دوم تخصیص این منابع در نرم‌افزار اجرا و بیلان آبخوان شبیه‌سازی گردید. نتایج مربوط به اعمال سناریوی دوم تخصیص منابع آب زیرزمینی در مدل WEAP در شکل ٤ ارایه شده است. این سناریو نشان می‌دهد که افزایش ۲۰% تخصیص منابع آب زیرزمینی در بخش صنعت موجب کاهش کسری مخزن آبخوان بیرجند خواهد شد. به طوری‌که میزان کسری مخزن از ۱۳/۳- میلیون متر مکعب به ۳/۵۸- میلیون متر مکعب خواهد رسید. با درنظر گرفتن مساحت آبخوان و ضریب آبدهی ویژه مقدار افت ارتفاع هیدرولیکی آبخوان با ۵۵ سانتی‌متر کاهش به ۲۰ سانتی‌متر خواهد رسید.



شکل ٤) نتایج مدل WEAP مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی در سناریوی دوم

در واقع باید پذیرفت که تخصیص مستمر ۳۰ ساله قریب به ۷۰% برداشت‌های آب زیرزمینی به مصارف کشاورزی، به معنای توسعه بر مبنای شکوفایی کشاورزی است و الگوی مناسبی برای ارتقای اقتصادی دشت بیرجند نخواهد بود. توسعه بر مبنای این شیوه تخصیص منابع آب زیرزمینی ضمن ایجاد هدررفت منابع آب، جوابگوی نیازهای آینده نخواهد بود. در صورتی‌که افزایش سهم بخش صنعت از برداشت‌های آب زیرزمینی، موجب صرفه‌جویی سالانه ۱۰ میلیون متر مکعب در مصرف آب خواهد شد.

در ادامه به بررسی نتایج مربوط به بهینه‌سازی الگوی کشت به عنوان دومین راهکار پرداخته می‌شود. مقدار تابع هدف الگوریتم PSO پس از چندین بار اجرا و در بهترین جواب خود به ۱۰/٤۸ رسید. نمودار همگرایی تابع هدف مطابق شکل ۵ است. به جهت این‌که الگوریتم از تکرار ۲۹۵ به بعد هیچ بهبودی در مقدار تابع هدف نداشته است، از فرآیند جستجوی نقاط بهینه خارج و بهینه‌سازی اتمام یافته است.

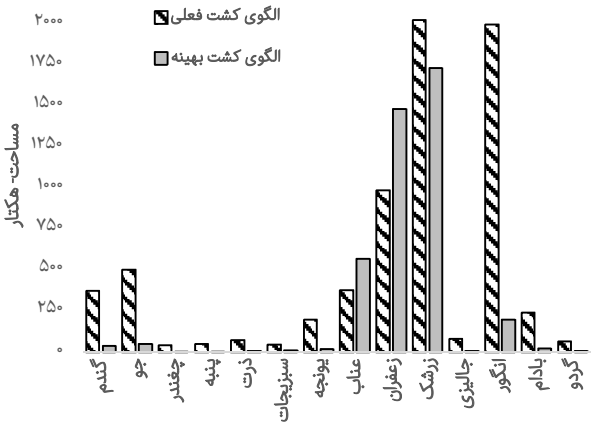


شکل ۵) نمودار همگرایی تابع هدف الگوریتم PSO

www.SID.ir

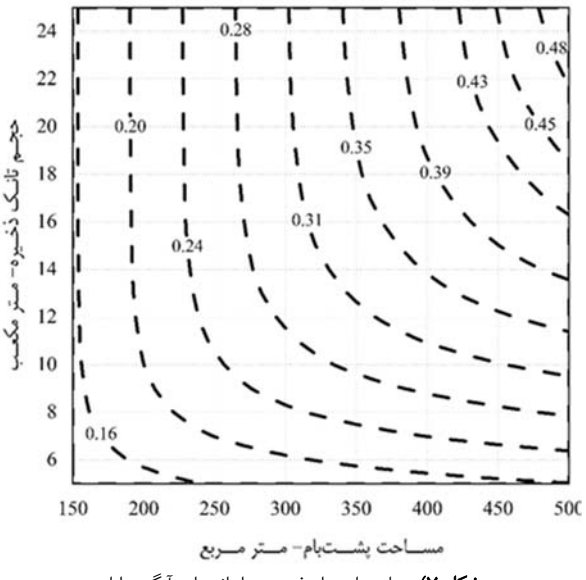
Archive of SID

سطوح بهینه الگوی کشت محصولات زراعی و باغی دشت بیرجند در شکل ٦ در کنار مساحت محصولات در وضعیت فعلی به نمایش در آمده است. همان طور که نتایج بهینه‌سازی الگوی کشت نشان می‌دهد به استثناء سه محصول استراتژیک منطقه (عناب، زرشک و زعفران) سطح زیرکشت عمده محصولات کشاورزی دشت، با کاهش روبه رو شده‌اند. البته این کاهش سطح زیر کشت برای محصولات مختلف، متفاوت است. در این بین زرشک، زعفران، انگور، جو و عناب به ترتیب دارای بیشترین سطوح زیر کشت هستند. مجموع سطح زیرکشت محصولات در وضعیت بهینه حدود ۷۱۰٦ هکتار است که در مقایسه با وضعیت فعلی (۷۱۹۲ هکتار) تقریباً تغییرات چندان زیادی نداشته است.



شکل ٦) الگوی کشت بهینه و فعلی محصولات کشاورزی دشت بیرجند

به‌عنوان سومین راهکار نتایج شبیه‌سازی استفاده از سامانه‌های آبگیر باران به‌منظور جبران بخشی از نیازهای غیر شرب خانگی در ادامه ارایه می‌شود. شکل ۷ سطوح اعتمادپذیری مختلف پیاده‌سازی این سامانه‌ها را برای شهر بیرجند نشان می‌دهد.



شکل ۷) سطوح اعتمادپذیری سامانه‌های آبگیر باران

میزان نیاز آب غیر شرب یک خانواده ۵ نفره در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹٦۱ معادل ۸٤۰ متر مکعب است که با پیاده‌سازی سامانه‌های آبگیر خانگی این ظرفیت وجود دارد تا قریب به ٤۸% از این نیاز خانگی (۳۷۸ متر مکعب) برطرف شود. در شهر بیرجند تعداد ۷۵۹۰۰ مشترک در شبکه توزیع آب شهری وجود دارد [Southern Khorasan MPO, 2015] چنانچه این سامانه‌ها را بتوان برای کلیه واحدهای مسکونی، اماکن آموزشی و مذهبی، مجتمع‌های تجاری و ساختمان‌های عمومی و دولتی پیاده‌سازی کرد (۷٤٦٦۰ مشترک)، این ظرفیت وجود دارد که بتوان سالانه قریب به ۲ میلیون متر مکعب در مصرف آب صرفه‌جویی نمود.

نتایج مطالعه استفاده از ظرفیت پساب واحد تصفیه‌خانه شهری بیرجند نشان می‌دهد که در وضعیت فعلی حجم کل پساب خروجی واحد تصفیه‌خانه شهری معادل ۵/٦۸ میلیون متر مکعب است. با درنظر گرفتن سهم بخش صنعت از تخصیص آب زیرزمینی در شرایط کنونی (٤/٤۵ میلیون متر مکعب در سال)، حجم پساب تصفیه‌خانه ۱/۳ برابر سهم بخش صنعت است. در واقع این مهم بیان‌گر این موضوع است که با ارایه پساب واحد تصفیه‌خانه به بخش صنعت می‌توان ضمن ثابت نگه‌داشتن سهم سایر بخش‌ها، ظرفیت این بخش را تا سقف ۱۳۰% توسعه داد این در حالی است که چنانچه طرح تجمیع رواناب و فاضلاب شهری ۱۰۰% مناطق شهر بیرجند را پوشش دهد، حجم پساب تا سقف ۱٤/۲ میلیون متر مکعب در سال افزایش می‌یابد. استفاده از پساب تصفیه شده تجربه موفقی است که در اکثر کشورهای توسعه‌یافته دنیا اجرایی شده است.

در نهایت مهم‌ترین راهکارهای بهبود وضعیت بحرانی منابع دشت بیرجند در جدول ۳ مشخص شده است. در این جدول تأثیر هرکدام از راهکارهای در بهبود کسری مخزن آبخوان دشت بیرجند به ازای میزان صرفه‌جویی ذکر شده است. همچنین هر کدام از راهکارها دارای ارزش ریالی در بهبود شرایط اقتصادی هستند که در ستون سوم ارایه شده است. ارزش اقتصادی هر کدام از راهکارهای فوق با استفاده از رابطه (۵) و در افق ۱٤۰٤ در ستون چهارم درج گردیده است.

جدول ۳) حجم صرفه‌جویی و ارزش اقتصادی راهکارهای بهبود بحران آب

عنوان راهکار	بهبود کسری مخزن (میلیون متر مکعب در سال)	بهبود اقتصادی (میلیارد ریال)	بهبود اقتصادی در ۱٤۰٤ (میلیارد ریال)
تغییر شرایط تخصیص	۱۰	۱۵۰	۳۹۹
سامانه‌های آبگیر باران	۲	۳۰/۲	۸۰/۳
پساب تصفیه‌خانه	۵/۷	۵۹/٦	۱۵۸/۵
مجموع	۱۷/۷	۲۳۹/۸	٦۳۷/۸

طبق نتایج مندرج در جدول ۳ می‌توان بیان نمود که با عملیاتی‌شدن اقدامات مذکور تا سقف ۱۷/۷ میلیون متر مکعب

www.SID.ir

Archive of SID

کسری مخزن آبخوان بیرجند بهبود خواهد یافت. ارزش اقتصادی این میزان صرفه‌جویی در مصرف آب قریب به ۲۴۰ میلیارد ریال خواهد شد. همچنین این راهکارها در افق ۱۴۰۴ معادل ۶۳۷/۸ میلیارد ریال بهبود اقتصادی را در پی خواهد داشت. مطالعه *مالیانووسکی* و همکاران [Malinowski *et al*, 2015] که با هدف بررسی ظرفیت استفاده از آب خاکستری و جمع‌آوری آب باران در کاهش مصرف منابع آب انجام شد، نیز به نتیجه مشابهی رسید. نتایج مطالعه مذکور نشان می‌دهد که با به کارگیری این منابع آب نامتعارف می‌توان تا سقف ۲۷۰ میلیون دلار سالانه در هزینه تأمین و توزیع آب شهری صرفه‌جویی اقتصادی نمود. همچنین نتایج مطالعه پیش‌رو با نتایج مطالعات *اودا* و همکاران [Ouda *et al*, 2013] و *فنگ* و همکاران [Feng *et al*, 2014] نیز با کاملاً یکسان است.

بحث

مطالعه فوق با هدف ارایه و ارزیابی راهکارهای عملیاتی حفاظت از منابع آب زیرزمینی و تحلیل اقتصادی آنها در مناطق خشک (دشت بیرجند) انجام شد. تغییر شرایط تخصیص آب زیرزمینی، بهینه‌سازی الگوی کشت، ذخیره و استفاده از آب باران و به چرخه‌آوردن پساب تصفیه‌خانه فاضلاب خانگی به‌عنوان مهم‌ترین راهکارهای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در منطقه دشت بیرجند پیشنهاد گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که عملیاتی‌نمودن راهکارهای اقتصادی فوق می‌توان ضمن بهبود کسری مخزن آبخوان دشت بیرجند، تا حد قابل توجهی صرفه‌جویی اقتصادی ایجاد نمود. تغییر شرایط تخصیص مصارف بخش‌های مختلف از طریق برداشت کنترل‌شده از منابع آب زیرزمینی و بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات کشاورزی می‌تواند سالانه حدود ۱۰ میلیون متر مکعب از کسری مخزن آبخوان دشت بیرجند را کاهش دهد. همچنین استفاده از سامانه‌های آبگیر باران و پساب تصفیه‌خانه فاضلاب هر کدام به ترتیب ۲ و ۵/۶ میلیون متر مکعب ظرفیت کاهش فشار از منابع آب زیرزمینی را دارا هستند. نتایج تحلیل کمی این مطالعه نشان می‌دهد که با پیاده‌سازی این اقدامات حفاظتی، سالانه می‌توان تا سقف ۱۷/۷ میلیون متر مکعب در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. ارزش ریالی این میزان کاهش مصرف و بهبود در کسری مخزن در حال حاضر و در افق ۱۴۰۴ معادل ۲۴۰ و ۶۳۷/۸ میلیارد ریال تخیمن زده شد.

محققانی که هدف پژوهش آنها بررسی شرایط تخصیص منابع آب است به یافته‌های مشابهی در این خصوص رسیدند [Aein & Alizadeh, 2018; Ahmadi *et al*, 2015]. نتایج مطالعه *احمدی* و همکاران [Ahmadi *et al*, 2015] نشان داد که مدیریت مصرف از طریق اصلاح الگوی مصرف، اجرای طرح‌های توسعه و محدودیت توسعه کشاورزی، امکان بهره‌مندی بلندمدت از آبخوان‌ها را در پی خواهد داشت.

ارزیابی بهینه‌سازی الگوی کشت در این پژوهش نشان می‌دهد که حتی در حالتی که سهم مصارف کشاورزی تا ۳۷/۷ میلیون مترمکعب کاهش داشته است، می‌توان با کاهش سطح زیر کشت محصولات آب‌بَر، علاوه بر توسعه اقتصادی به حفاظت از منابع آب زیرزمینی نیز کمک شایانی نمود. از این حیث نتایج مطالعه با پژوهش *جعفرزاده* و همکاران [Jafarzadeh *et al*, 2016] کاملاً مطابقت دارد. ایشان نیز در مطالعه خود بر کاهش محصولات آب‌بَر و تمرکز بر محصولات استراتژیک دشت تأکید نمودند. همچنین یافته‌های این مطالعه قویاً با نتایج ارایهشده در پژوهش‌های *محمدی* و همکاران [Mohammadi *et al*, 2015]، *اسعدی مهربانی* و همکاران [Asaadi Mehrabani *et al*, 2018]، *رفیعی* و همکاران [Rafie *et al*, 2017] و *نخعی* و همکاران [Nakhaee *et al*, 2016] تطبیق دارد. در پژوهش *محمدی* و همکاران [Mohammadi *et al*, 2015] و *اسعدی مهربانی* و همکاران [Asaadi Mehrabani *et al*, 2018] به طور مستقیم بر کاهش مصولات با نیاز آبی بالا جهت توسعه پایدار کشاورزی مناطق مورد مطالعه اشاره شده است. همچنین ایشان در مطالعه خود صراحتاً اعلام داشته‌اند که الگوی بهینه کشاورزی در مقایسه با الگوی فعلی دارای مزیت‌های اقتصادی بیشتری برای کشاورزان است.

ارزیابی استفاده از سامانه‌های آبگیر آب باران به‌عنوان یکی از راهکارهای حفاظت از منابع آب دشت بیرجند نشان می‌دهد که این ظرفیت وجود دارد که پیاده‌سازی گسترده این سامانه‌ها سالانه تا سقف ۲ میلیون متر مکعب در مصرف آب صرفه‌جویی کرد. نتایج پژوهش *کومه* و همکاران [Komeh *et al*, 2015] و جعفرزاده و همکاران [Jafarzadeh et al, 2016] با یافته‌های این قسمت از پژوهش پیش‌رو کاملاً مطابقت دارد. در هر دو مطالعه ذکر شده ظرفیت استفاده از سامانه‌های آبگیر باران در شهر بیرجند مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج پژوهش ایشان نشان می‌دهد که با اتکا با پیاده‌سازی این سامانه‌ها، می‌توان بخش قابل توجهی از نیازهای خانگی را بر طرف کرد. همچنین یافته‌های پژوهش *پهلوانی* و همکاران [Pahlavani *et al*, 2016] *نوری و زارع چاهوکی* [Noori & Zare Chahouki, 2018] و *پارسامهر و خسروانی* [Parsamehr & Khosravani, 2017]، با نتایج مطالعه پیش‌رو هم‌خوانی دارد. به‌عنوان مثال یافته‌های *پهلوانی* و همکاران [Pahlavani *et al*, 2016] نشان می‌دهد که فقط در فصل بهار سال ۱۳۹۵ و از پشت‌بامی با مساحت ۱۱۰ مترمربع می‌توان قریب به ۸ متر مکعب آب باران استحصال نمود.

نتیجه ظرفیت استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری بیرجند نشان داد که می‌توان تا سقف ۵/۷ میلیون متر مکعب در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. نتایج مطالعه *کاسیمانو* و همکاران [Cusimano *et al*, 2015] نشان داد که در ایالت آریزونای آمریکا بالغ بر ۲۴۶ میلیون متر مکعب از پساب احیاشده برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود. در نهایت و به‌عنوان جمع‌بندی باید توجه داشت که با اجرایی‌شدن فاز دوم و پوشش کامل این

www.SID.ir

Archive of SID

طرح حجم قابل توجهی از منابع آب احیا شده در اختیار متولیان منابع آب شهر بیرجند قرار خواهد گرفت که در صورت مدیریت درست آن می‌تواند بخش بزرگی از مشکل کم‌آبی منطقه را رفع نماید. البته باید توجه داشت که به‌منظور تحقق این هدف لازم است تا ابتدا ضمن تعریف بودجه مشخص شرایط لازم جهت دستیابی به پساب با کیفیت مناسب در واحد تصفیه‌خانه فراهم گردد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی اقتصادی و فنی راهکارهای ارایه‌شده در این مطالعه نشان داد که با اجرایی‌شدن راهکارهای فوق این ظرفیت وجود دارد که سالانه تا سقف ۱۷/۷ میلیون مترمکعب از فشار تخلیه آبخوان کاسته شود. ارزش اقتصادی این میزان بهبود در کسری مخزن آبخوان حدود ۲۳۹/۸ میلیارد ریال برآورد گردید.

تقدیر و تشکر: برخود لازم میدانیم از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه بیرجند که با حمایت های علمی، معنوی و مادی زمینه را برای انجام این تحقیق فراهم آورده اند تقدیر و تشکر نماییم.

تأییدیه‌های اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: علی شهیدی (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی /نگارنده بحث اصلی (۵۰٪)؛ عباس خاشعی سیوکی (نویسنده دوم)، پژوهشگر کمکی/ روش‌شناس و تحلیلگر آماری (۲۵٪)؛ احمد جعفرزاده (نویسنده سوم)، پژوهشگر کمکی/ روش‌شناس و تحلیلگر آماری (۲۵٪).

منابع مالی: این مقاله با حمایت علمی، مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه بیرجند در قالب طرح پژوهشی با شماره ابلاغ ۱۷۷۶۵/د/۱۳۹۵ مورخ ۱۳۹۵/۹/۲۳ انجام شده است. از این رو نویسندگان مقاله به جهت تأمین هزینه‌های مالی از این دانشگاه کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

Abrishamchi A, Alizadeh H, Tajrishy M (2007). Water resources management scenario analysis in Karkheh River basin, Iran, using WEAP model. Hydrological Science and Technology. 23(1-4)

Aein R, Alizadeh H (2018). Hydro-economic simulation-optimization model for optimal design of water resources development projects and policies in helleh river basin. Iran Water Resources Research. 14(3):220-235. [Persian]

Agricultural Jihad Organization of South Khorasan Province (2019). Economical and planning deputy, the office of sttistics and information technology. [Persian]

Ahmadi A, Zadehvakili N, Safavi HR, Ohab Yazdi SA (2015). Development of a dynamic planning model for surface and groundwater allocation, case study: Zayandehroud river basin. Iran Water Resources Research. 11(1):21-31. [Persian]

Ahmadi L, Mousavi SF, Karami H (2018). Water allocation using WEAP and vensim softwares case study: Nazloo-chai basin. Water and Soil Science. 28(4):211-223. [Persian]

Asaadi Mehrabani M, Banihabib ME, Roozbahany A (2018). Fuzzy linear programming model for the optimization of cropping pattern in Zarrinehroud basin. Iran Water Resources Research. 14(1):13-24. [Persian]

Bailey RT, Beikmann A, Kottermair M, Taboroši D, Jenson JW (2018). Sustainability of rainwater catchment systems for small island communities. Journal of Hydrology. 557:137–146.

Burnham M, Ma Z, Zhu D (2015). The human dimensions of water saving irrigation: Lessons learned from Chinese smallholder farmers. Agriculture and Human Values. 32(2):347-360.

Carvalho IDC, Calijuri ML, Assemany PP, Silva, MDFM, Moreira Neto, RF, Santiago ADF, et al (2013). Sustainable airport environments: A review of water conservation practices in airports. Resources, Conservation and Recycling. 74:27-36.

CDA [Internet] (2010). Chicago department of aviation. Sustainable airport manual. [Published 2010, 25 May; Cited 2010, 15 July]. Available from: https://www.chicago.gov [Persian]

Cusimano J, McLain JE, Eden S, Rock C (2015). Agricultural use of recycled water for crop production in Arizona. Arizona: The University of Arizona Cooperative Extension.

Deng X P, Shan L, Zhang H, Turner NC (2006). Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China. Agricultural Water Management. 80(1-3):23-40.

Falkenmark M, Lindh G (1993). Water and economic development. In: Gleick PH, editors. New York: Water in Crisis. pp.80-91.

Fang Q X, Ma L, Green T R, Yu Q, Wang TD, Ahuja LR (2010). Water resources and water use efficiency in the north China Plain: Current status and agronomic management options. Agricultural Water Management. Elsevier. 97(8):1102-1116.

Feng K, Hubacek K, Siu Y L, Li X (2014). The energy and water nexus in Chinese electricity production: A hybrid life cycle analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 39:342-355.

Fowdar HS, Hatt BE, Breen P, Cook PLM, Deletic A (2017). Designing living walls for greywater treatment. Water Research. 110:218-232.

Hamdy A (1992). Irrigation with treated municipal wastewater. A Mediterranean Journal of Economics, Agriculture and Environment. 3(1):50–54.

Heydarzadeh R, Eslami J (2014). Use of gray water in residential buildings case study: Birjand city, water engineering Conference & Exhibition. 2019, 30 Sep - 03 Octobr: Tehran. [Persian]

Jafarzadeh A, Khaseii A, Shahidi A (2016). Designing a multiobjective decision-making model to determine optimal crop pattern influenced by climate change phenomenon case study: Birjand plain. Iranian Journal of Soil and Water Research. 47(4):849-859. [Persian]

Jafarzadeh A, Khashei-Siuki A, Shahidi A (2015). Designing a decision model multi-objective sampling to determine optimal cropping pattern influenced by climate change phenomenon, case study: Birjand plain. Iranian Journal of Irrigation & Drainage. 9(3):489-498. [Persian]

www.SID.ir

Archive of SID

(2013). Review of domestic water conservation practices in Saudi Arabia. Applied Water Science. 3(4):689-699.
Pahlavani P, Dastorani M, Tabatabaee J, Vafakhah M (2016). Evaluation and comparison of rainwater harvesting potential from roof catchments in different climatic conditions, case study: Mashhad and Noor in Iran. Journal of Rainwater Catchment Systems. 4(3):1-10. [Persian]
Parsamehr AH, Khosravani Z (2017). Investigating the potential of rainwater harvesting from the rooftops and its economic assessment, case study: Fasa University. Journal of Rainwater Catchment Systems. 5(3):1-8. [Persian]
Qasemi SA, Alipour MR, Ghanbari F, Tavakoli AS (2016). Economical analysis of rainwater harvesting sytems. 6th Iranian National Water Resources Management Conference. 2016, 20 April: Sanandaj. pp. 128-132. [Persian]
Rafei V, Shoorian M, Attari J (2017). Optimum crop patterning by integrating SWAT and the harmony search optimization algorithm. Iran Water Resources Research. 13(3):73-88. [Persian]
Rohani Farahmand A, Tizghadam Ghazani M (2017). Economic and technical investigation of grey water reuse in high-Rise buildings in Iran. Journal of Water and Wastewater. 28(3):13-22. [Persian]
Southern Khorasan meteorological [Internet] (2019). Statistics and information office, climate statistics of province stations gauge. [Published 2019, 3 September; Cited 2019, 8 August].
Southern Khorasan MPO [Internet] (2015). Statistics and information office Southern Khorasan Statictical. [Published 2015, 11 July; Cited 2015, 15 May].
Southern Khorasan Regional Water Authority [Internet] (2014). The ofiice of water resources base studies. Groundwater billan report of Birjand plain. [Published 2014, 4 March; Cited 2014, 16 February].
Stillwell AS, Webber M E (2010). Water conservation and reuse: A case study of the energy-water nexus in Texas. In World Environmental and Water Resources Congress 2010: Challenges of Change. 2010, 16-20 May: United States. pp. 4093-4108).
Wallace CD, Bailey RT, Arabi M (2015). Rainwater catchment system design using simulated future climate data. Journal of Hydrology. 529(3):1798–1809.
Wang H, Liu C, Zhang L (2002). Water-saving agriculture in China: An overview. Advances in Agronomy. 75:135-171.
Xu Y, editor (1992). Trends of water-saving agriculture in China. Study on water-Saving agriculture. Beijing: Science Press, pp. 1–13.
Yousefi M, Banihabib M, Soltani J, Rouzbahani A (2017). Non-Linear programming and particle swarm optimization model for management of conjunctive use of wastewater and groundwater in Varamin Plain. Journal of Water Research in Agriculture. 31.3(3):441-454. [Persian]
Zhang B, Fu Z, Wang J, Zhang L (2019). Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China. Agricultural water Management. 212:349-357.
Jafarzadeh A, Pourreza-Bilondi M, Afshar A A, Khashei-Siuki A, Yaghoobzadeh M (2018). Estimating the reliability of a rainwater catchment system using the output data of general circulation models for the future period. Case study: Birjand City, Iran. Theoretical and Applied Climatology. 1-12.
Jenkins D, Pearson F, Moore E, Kim S J, Valentine R (1978). Feasibility of rainwater collection systems in California. California: California University.
King CW, Stillwell AS, Twomey KM, Webber ME (2013). Coherence between water and energy policies. Natural. Resources Journal. 53(1):117-125.
Komeh Z, Memarian H, Tajbakhsh SM (2015) Investigation performance of rooftop water harvesting systems and reservoir volume optimization, case study: Birjand, Iran. Journal of Rainwater Catchment Systems. 3(2):23-32. [Persian]
Lee M, Tansel B, Balbin M, Barney B (2011). Residential water use trend shifts by implementation of best management practices for water conservation. In World Environmental and Water Resources Congress 2011. 2011, 21March: California. pp. 3198-3202.
Li Y (1999) Novel combination scheme of agricultural high-efficiency water use in loess plateau area. China Rural Water Hydropower. 1:10–12.
Malinowski P A, Stillwell AS, Wu J S, Schwarz P M (2015). Energy-water nexus: Potential energy savings and implications for sustainable integrated water management in urban areas from rainwater harvesting and gray-water reuse. Journal of Water Resources Planning and Management. 141(12).
McVicar T R, Zhang G, Bradford AS, Wang H, Dawes WR, Zhang L, Lingtao L (2002). Monitoring regional agricultural water use efficiency for Hebei province on the north China plain. Crop and Pasture Science Journal. 53(1):55-76.
MOE Ministery of Energy [Internet] (2014). Economic affairs and planning deputy, the office of the water and power market rights, water and sewage disposal tariff. [Published 2014, 16 June; Cited 2014, 10 May]. Available
Mohammadi H, Sargazi A, Dehbashi V, Poudineh M (2015). Optimization of cropping pattern with an emphasis on social benefits in the rational exploitation of water, a case study of Fars province. Journal of Environmental Science and Technology. 17(4):107-115. [Persian]
Mutiga J K, Mavengano ST, Zhongbo S, Woldai T, Becht R (2010). Water allocation as a planning tool to minimise water use conflicts in the upper Ewaso Ng'iro north basin, Kenya. Water Resources Management. 24(14):3939-3959.
Nakhaee M, Hashemi R, Khashee Sivaki A, Ahmadi M (2016). Optimization of crop pattern using analytical hierarchy process and linear programming, case study: Plain Birjand. Irrigation Sciences and Engineering. 39(2):115-124. [Persian]
Noori Z, Zarei Chahouki MA (2018). Optimal use of rainwater harvesting a strategy to deal with water shortages in arid and Semi-Arid Regions. Water and Sustainable Development. 5(1):115-122. [Persian]
Ouda O K, Shawesh A, Al-Olabi T, Younes F, Al-Waked R

www.SID.ir