The University of Tehran Press

Iranian Journal Agricultural Economics and Development Research

Online ISNN: 2008-4838

Homepage: http://ijaedr.ut.ac.ir/

Economic and Environmental Effects of Using Treated Wastewater with Robust Feasibility Chance Constraint Programming

Seyedeh Samaneh Abbasmiri[1], Seyed Abolghasem Mortazavi [2]✉, Hamed Najafi Alamdarlo[3], Mohammad Hassan Vakilpoor[4]

1. Department of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: samanehmiri@modares.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: samortazavi@modares.ac.ir
3. Department of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: hamed_najafi@modares.ac.ir
4. Department of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: vakilpoormh@modares.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 24 October 2023

Received in revised form: 8 June 2024

Accepted: 14 August 2024

Published online: Autumn 2024

Keywords:

Groundwater,

South of Tehran,

Uncertainty,

Fertilizer,

SWAT model.

ABSTRACT

Managing the pollution of water resources while allocating water resources appropriately to different sectors can lead to socio-economic and environmental developments. Surface water sources have a high pollution load in the south of Tehran Province due to the upstream discharge of domestic and industrial wastewater. However, these sources are used for irrigation in the agricultural sector, leading to environmental problems. As a measure to solve this problem, a plan is to build surface water treatment plants before using the water for agricultural and industrial purposes. This study investigates the economic and environmental effects of the using treated wastewater in the south of Tehran Province. This study employed a hydro-economic model under conditions of uncertainty. The results indicate that under the existing conditions, the net system benefit will decrease in pursuit of the economic-environmental optimal state. So that for reducing each ton of nitrate input to water resources due to the reduction of the level of economic activities, the net system benefit is reduced by 36167 million rials. This decline in benefit can be compensated by adopting solutions such as the application of treated wastewater, using the fertilizer potential of water sources or increasing the treatment level of the wastewater generated in industrial and municipal sectors.

Cite this article: Abbasmiri, S. S., Mortazavi, S. A., Najafi Alamdarlo, H. & Vakilpoor, M. H. (2024). Economic and Environmental Effects of Using Treated Wastewater with Robust Feasibility Chance Constraint Programming. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 55-2 (3), 467-488. DOI: https://doi.org/10.22059/ijaedr.2024.367113.669262

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijaedr.2024.367113.669262

Extended Abstract

Objectives

Surface water sources have a high pollution load in the south of Tehran Province due to the upstream discharge of domestic and industrial wastewater. However, these sources are used for irrigation in the agricultural sector, leading to environmental problems. To solve this problem, a plan is to build the irrigation network and surface water treatment plants before using the water for agricultural and industrial purposes. The present study aims to investigate the economic and environmental effects of controlling nitrate input on water resources, which is to be accomplished by implementing the treated wastewater application plan in industrial

and agricultural sectors and applying environmental constraints. The results will be subsequently compared with the status quo where polluted water is used for irrigation of agricultural lands.

Methods

A simulation-optimization model was used to investigate treated wastewater's economic and environmental effects. The SWAT model is used as a simulation model. The SWAT model has been used to compute the amount of surface runoff from and the amount of nitrate transported with surface runoff from agricultural fields**.** The results of the SWAT model will be entered as input in the robust feasibility chance constraint programming. The robust feasibility chance constraint programming will effectively deal with uncertainties existing in water resource systems**.**

Results

Applying environmental constraints will increase the contribution of crops that cause less pollution, so that the share of orage corn increases from 26 to 36 percent in the economic optimal state compared to the economic-environmental optimal state. The results indicate that under the existing conditions, the net system benefit will decrease in pursuit of the economic-environmental optimal state. So that for reducing each ton of nitrate input to water resources due to the reduction of the level of economic activities, the net system benefit is reduced by 36167 million rials.

Discussion

The cultivation area and the net system benefit will be reduced by applying environmental constraints compared to optimal economic situation in the study area. The decline in benefit can be compensated by adopting solutions such as the application of treated wastewater, using the fertilizer potential of water sources or increasing the treatment level of the wastewater generated in industrial and municipal sectors. According to the results, the required nitrogen fertilizer for the crop will be provided by using the fertilizer potential of treated wastewater and groundwater, which will reduce the amount of nitrogen leaching into the soil and water sources in the region. In fact, it can be claimed that treated wastewater is both a source of water and a source of nutrients in the agricultural sector. It is also possible to allocate more conventional water resources to the municipal sector by treated wastewater allocating to the industry and agriculture sectors.

انتشارات دانشگاه تهران

مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، دوره ۲- ۵۵، شماره ۳

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۸۵X

Homepage: http://ijaedr.ut.ac.ir/

اثرات اقتصادی و محیط‌زیستی کاربرد پساب با کمک برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس استوار

سیده سمانه عباس میری [۱] | سید ابوالقاسم مرتضوی [۲]✉ | حامد نجفی علمدارلو [۳] | محمدحسن وکیل پور [۴]

۱. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی،دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: samanehmiri@modares.ac.ir

۲. نویسنده مسئول،گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: samortazavi@modares.ac.ir

۳. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: hamed_najafi@modares.ac.ir

۴. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: yakilpoormh@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴
تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۳

کلیدواژه‌ها:
آب زیر زمینی، جنوب تهران، عدم قطعیت، کود، مدل SWAT.

چکیده

مدیریت و کنترل آلودگی منابع آب همزمان با تخصیص منابع آب میان مصارف مختلف توسعه اجتماعی- اقتصادی و محیط زیستی را به همراه دارد. منابع آب سطحی جنوب استان تهران به واسطه تخلیه فاضلاب‌های خانگی و صنعتی در بالادست دارای بار آلودگی بالایی می‌باشد ولی این منابع برای آبیاری در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و این امر مشکلات محیط زیستی فراوانی را به دنبال داشته است. برای رفع این مشکل طرح احداث تصفیه خانه‌های آب‌های سطحی در جهت استفاده از پساب حاصل از تصفیه خانه‌ها در بخش کشاورزی و صنعت در نظر گرفته شده است. هدف از این مطالعه بررسی اثرات اقتصادی و محیط زیستی استفاده از پساب حاصل از این تصفیه خانه‌ها در دشت جنوب استان تهران می‌باشد. در این مطالعه از یک مدل هیدرو- اقتصادی در شرایط عدم قطعیت استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در شرایط فعلی در منطقه دستیابی به بهینه اقتصادی- محیط زیستی بدون کاهش سود در بخش کشاورزی و سود سیستم امکان پذیر نیست. به طوریکه به ازای کاهش هر یک تن نیترات وارد شده به منابع آب سطحی به واسطه کاهش سطح فعالیت‌های اقتصادی، سود سیستم ۳۶۱۶۷ میلیون ریال کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر یک مبادله بین سود و تلفات نیترات وجود دارد که می‌توان با اعمال راهکارهایی همانند کاربرد پساب در منطقه، استفاده از پتانسیل کودی منابع آب و بهبود سیستم آبیاری و یا افزایش سطح میزان تصفیه فاضلاب تولید شده در بخش صنعت و شهری کاهش سود سیستم را جبران نمود.

استناد: عباس میری، سیده سمانه؛ مرتضوی، سیدابوالقاسم؛ نجفی علمدارلو، حامد و وکیل پور، محمدحسن (۱۴۰۳). اثرات اقتصادی و محیط‌زیستی کاربرد پساب با کمک برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس استوار. *مجلهٔ تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، ۲-۵۵ (۳)، ۴۸۸-۴۶۷. DOI: https://doi.org/10.22059/ijaedr.2024.367113.669262

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijaedr.2024.367113.669262

مقدمه

به علت مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی دربخش کشاورزی، این بخش تهدیدی جدی برای محیط زیست به حساب می‌آید (Xu & Qin 2010). در واقع بخش قابل توجهی از کودهای شیمیایی به دلیل عدم جذب کامل توسط گیاه به زهآب منتقل می‌شود. تجمع مواد مغذی در زهآب کشاورزی و راهیابی آنها به منابع آب معضلات محیط زیستی فراوانی را به همراه خواهد داشت. هم‌چنین بهره برداری بیش از حد از منابع آب در بخش شرب و صنعت به دلیل رشد سریع جمعیت، باعث تخریب اکوسیستم‌های آبی به ویژه در مناطق دارای تنش آبی شده است (Gao et al. 2008; Xia et al. 2012; Meng et al. 2018). افزایش بهره‌برداری از منابع آب، تولید بیشتر فاضلاب را به همراه داشته و در صورت تخلیه آن به منابع آب کیفیت منابع آب را کاهش می‌دهد (Miloradov et al. 2014; Sun et al. 2015; Meng et al. 2018; Yazdani et al. 2021). در صورت تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب، به دلیل وجود مواد مغذی در فاضلاب تصفیه شده، پساب می‌تواند هم به عنوان یک منبع غذایی، جایگزینی برای کود باشد و هم به عنوان یک منبع آب در آبیاری مزارع استفاده شود و فشار روی منابع آب متعارف را کاهش دهد (Oron et al. 2007; Metcalf et al. 2007; Yousefi et al. 2018).

از همین رو، در برخی از کشورها برای آبیاری در بخش کشاورزی به جای استفاده از منابع آب متعارف از منابع آب نامتعارف نظیر پساب (یا فاضلاب خام) استفاده می‌کنند (Scott et al. 2010; Gourbesville 2008; Jimenez & Asano 2008; Winpenny et al. 2010; Yazdani et al. 2014; Elgallal 2017; Zanjbar & Maleksaeidi 2019). در واقع می‌توان اینطور بیان نمود که به علت کمبود منابع آب در جهان و کاهش بار آلودگی وارده به محیط زیست و با توجه به اولویت اختصاص منابع آب شیرین و با کیفیت بالاتر به شرب، تقاضا برای فاضلاب تصفیه شده که یک جایگزین مناسب برای آب‌های متعارف در بخش کشاورزی و بخش صنعت است، به صورت فزاینده در حال افزایش است.

بر اساس برآوردهای سازمان ملل متحد، سازمان غذا و کشاورزی و آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده امریکا، حجم فاضلاب تولیدی در بخش شرب و صنعت در منطقه MENA[1] برابر با ۱۳/۲ میلیارد متر مکعب در سال است. که ۴۳ درصد از آن (معادل ۵/۷۱ میلیارد متر مکعب) تصفیه می‌شود. هم‌چنین ۸۳ درصد از فاضلاب تصفیه شده که معادل ۴/۷۳ میلیارد متر مکعب است در کشاورزی و برای آبیاری طیف وسیعی از محصولات زراعی استفاده می‌شود (Qadir 2007; Qadir & Scott 2010).

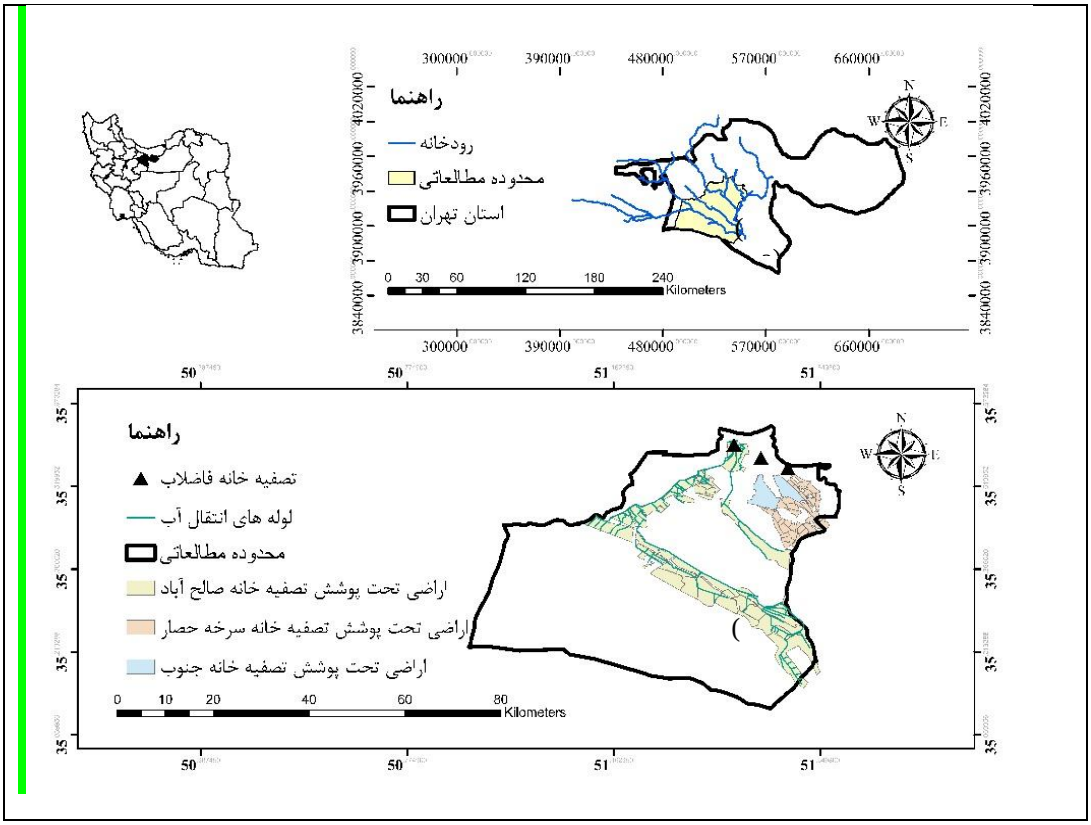
ایران به عنوان یکی از کشورهای منطقه خاورمیانه، با کاهش منابع آب تجدید پذیر مواجه می‌باشد. بنابراین یکی از سیاست‌های این کشور، استفاده از پساب در بخش کشاورزی و صنعت است. از سوی دیگر حجم قابل توجهی از منابع آبی ایران به دلیل کیفیت پایین مورد استفاده قرار نگرفته یا در کاربرد آن‌ها استانداردهای محیط زیستی رعایت نشده است (Ministry of Energy 2016).

طبق گزارش FAO، در ایران حجم فاضلاب شهری تولید شده در سال ۱۹۹۴ میلادی ۳۱۰۰ میلیون متر مکعب در سال بوده است و این میزان در سال ۲۰۱۰ به ۳۵۴۸ میلیون متر مکعب افزایش یافته است. در سال۱۹۹۴ میزان فاضلاب شهری تصفیه شده ۱۵۴ میلیون متر مکعب بوده است و در سال ۲۰۱۲ این میزان به ۸۸۵ میلیون متر مکعب رسیده است. هم‌چنین بر طبق اطلاعات دریافتی از شرکت مدیریت منابع آب ایران در سال ۱۳۹۶ میزان فاضلاب تصفیه شده معادل ۱۲۶۷ میلیون متر مکعب بوده است. سهم استان تهران ۲۲۶ میلیون متر مکعب می‌باشد که معادل ۱۷/۸ درصد پساب تولیدی تصفیه خانه‌های فاضلاب کل کشور می‌باشد.

جریانات سطحی شمال تهران از ارتفاعات ۴۱۷۷ متر از سطح دریا به سمت جنوب تهران با ارتفاع ۶۴۳ متر از سطح دریا حرکت می‌کند و در مسیر، فاضلاب‌های صنعتی و شهری به این جریانات اضافه می‌شود. در نتیجه حجم قابل توجهی از روانآب‌های سطحی شهر تهران در مسیل‌ها، نهرها و کانال‌های دشت ری در جنوب تهران وارد می‌شود و با وجود بار آلودگی

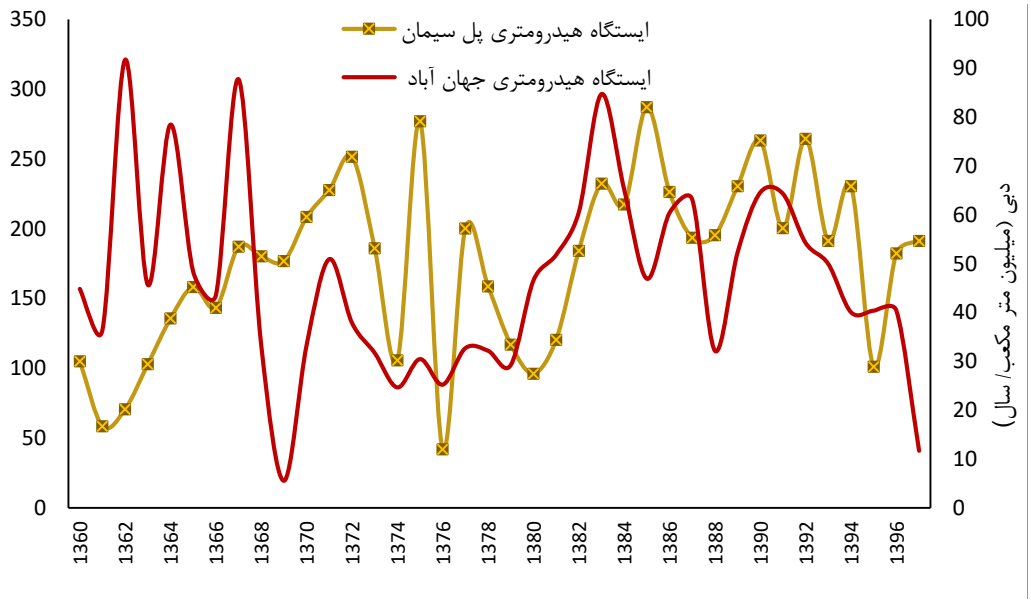
1Middle East and North Africa

بالا در کشاورزی دشت ری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جهت رفع معضل ناشی از مصرف روانآب‌های آلوده در کشاورزی جنوب تهران، طرح ساماندهی آب‌های سطحی آلوده جنوب تهران در شرکت آب منطقه‌ای تهران مورد مطالعه قرار گرفته است. در راستای این طرح، در نظر گرفته شده است دو تصفیه خانه آب سطحی در محدوده شهر ری (تصفیه‌خانه آب‌های سطحی سرخه حصار در محل رودخانه سرخه‌حصار با ظرفیت ۶ متر مکعب بر ثانیه و تصفیه‌خانه آب‌های سطحی صالح آباد با ظرفیت ۴ متر مکعب بر ثانیه) و شبکه آبیاری و زهکشی ری در جهت انتقال پساب این تصفیه‌خانه‌ها، ساخته شود. هم چنین قرار است آب بخشی از شبکه آبیاری و زهکشی ری از پساب حاصل از تصفیه خانه جنوب تهران (در حال بهره‌برداری) تأمین شود. محدوده طرح در استان تهران، مکان تصفیه‌خانه‌ها و شبکه آبیاری و زهکشی ری که طبق طرح باید ساخته شود در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. a) مرز محدوده مطالعاتی در استان تهران و رودخانه‌های عبوری از استان تهران b) محل شبکه آبیاری و زهکشی ری و تصفیه خانه‌های جنوب تهران، سرخه حصار و صالح آباد و اراضی تحت پوشش هر یک از تصفیه‌خانه‌ها

به دلیل آنکه منبع آب سطحی در این محدوده تحت تأثیر عوامل جوی قرار دارد در نتیجه، موجودی این منبع با عدم قطعیت مواجه است و در صورت اجرای طرح، یکی از منابع آبی در این منطقه پساب تصفیه‌خانه‌های این منطقه خواهد شد و از آنجا که تصفیه خانه آب سطحی صالح آباد و تصفیه خانه آب سطحی سرخه حصار بر روی رودخانه مستقر خواهند شد، در نتیجه میزان آب آلوده ورودی به تصفیه‌خانه‌ها با عدم قطعیت مواجه می‌باشد برای نمایش عدم قطعیت در میزان موجودی منبع آب سطحی از آمار نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هیدرومتری به تصفیه خانه آب سطحی صالح آباد و تصفیه خانه آب سطحی سرخه حصار استفاده شده است (شکل ۲).



شکل ۲. دبی آب سطحی آلوده در منطقه

مأخذ: شرکت مدیریت منابع آب ایران

در بخش کشاورزی علاوه بر منابع آب سطحی از منابع آب زیرزمینی (چاه و قنات) استفاده می‌شود. در این محدوده تنها از منابع آب زیرزمینی در صنعت و شهری استفاده می‌شود. در این دشت بخشی از فاضلاب تولیدی بخش شهری و صنعت به منابع آب‌های سطحی تخلیه می‌شود و از سوی دیگر به علت آبیاری اراضی با آب آلوده و مصرف بالای کود در بخش کشاورزی، عناصر غذایی در خاک تجمع پیدا کرده و در اثر آبشویی وارد آب‌های سطحی می‌شوند. در نتیجه منابع آب در این دشت در معرض آلودگی هستند. در نتیجه با مدیریت و تخصیص بهینه منابع آب نامتعارف و منابع آب متعارف موجود با لحاظ ملاحظات محیط زیستی در این منطقه، علاوه بر تأمین نیاز آب در بخش‌های مختلف مصرف می‌توان به توسعه همزمان اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی دست یافت.

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثرات اقتصادی و زیست محیطی کنترل نیترات ورودی به منابع آب از طریق اجرای طرح ساماندهی آب‌های سطحی آلوده جنوب تهران و اعمال محدودیت‌های محیط زیستی در دشت ری و مقایسه نتایج با شرایط کنونی منطقه می‌باشد. در این بررسی، از مدل SWAT به عنوان یک مدل شبیه‌ساز برای محاسبه میزان روانآب و مقدار نیترات انتقال یافته با روانآب از مزارع کشاورزی استفاده شده است و نتایج آن به عنوان ورودی در مدل برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس استوار[1] وارد می‌شود.

به تفصیل این مطالعه اهداف زیر را دنبال خواهد نمود: (۱) شناسایی الگوی کشت بهینه بر اساس محدودیت‌های کمی و محیط زیستی(۲) تعیین مقدار بهینه نیتروژن داده شده به محصول در هر هکتار از طریق کود نیتروژن و (۳) تخصیص کمی و کیفی منابع آب متعارف (آب‌های زیرزمینی) و نامتعارف (پساب) در بین بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شهری در شرایط اجرای طرح و مقایسه نتایج با شرایط موجود در منطقه.

پیشینه پژوهش

برنامه ریزی برای مدیریت سیستم‌های منابع آب اغلب باید در مواجهه با عدم قطعیت‌های مختلف مانند تغییرپذیری بارندگی یا نبود اطلاعات کافی و دقیق در مورد میزان منابع آب در منطقه صورت گیرد (Birge & Louveaux 1997; Housh et al. 2013).

1Robust Feasibility Chance Constraint Programming (FCCP)

در بسیاری از مسائل عملی، به دلیل عدم قطعیت در دنیای واقعی، نمی‌توان ضرایب و متغیرهای مسئله را به عنوان اعداد دقیق در نظر گرفت. منابع عدم قطعیت در دو دسته عمده قرار می‌گیرند؛ عدم قطعیتی که ماهیت تصادفی دارد و پارامترهای مدل مورد بررسی ماهیتی تصادفی دارند مانند پارامتر موجودی آب سطحی در یک منطقه که تحت تأثیر عوامل جوی هستند و عدم قطعیتی که ناشی از فقدان دانش می‌باشد در این شرایط اطلاعات کافی برای یکی و یا تمام پارامترهای مدل وجود ندارد. در شرایطی که عدم قطعیت ماهیت تصادفی دارد برای مدلسازی از مدل‌های مختلف موجود در شاخه برنامه‌ریزی تصادفی استفاده می‌شود. برنامه‌ریزی تصادفی در چندین مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است (Housh et al. 2013; Castillo et al. 2017; Badri et al. 2017) و هنگامی که عدم قطعیت بخاطر کمبود اطلاعات است برای مدلسازی عدم قطعیت از برنامه‌ریزی فازی و برنامه‌ریزی استوار استفاده می‌شود. برنامه‌ریزی فازی شامل دو رویکرد برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر و برنامه‌ریزی امکانی می‌باشد (Mula et al. 2006; Torabi et al. 2008; Pishvaee et al. 2012). رویکرد برنامه‌ریزی انعطاف پذیر که برای برخورد با انعطاف (ماهیت فازی) ارضاء محدودیت‌ها و اهداف مورد استفاده قرار می‌گیرد و از مجموعه‌های فازی مبتنی بر ترجیح استفاده می‌کند، رویکرد برنامه‌ریزی امکانی برای مقابله با عدم قطعیت مرتبط با فقدان داده و یا دانش در مورد مقدار دقیق پارامترهای ورودی مسئله می‌باشد. لازم به ذکر است که پارامترهای غیرقطعی توسط توابع امکانی مقتضی مانند تابع امکانی مثلثی و یا ذوزنقه‌ای، بر اساس داده‌های ناکافی موجود و یا دانش و تجربه تصمیم گیرندگان قابل مدلسازی می‌باشند.

رویکردی که در سال‌های اخیر برای مقابله با عدم قطعیت داده‌ها توسعه داده شده است، بهینه‌سازی استوار است. رویکرد استوار برای حل مسائل بهینه سازی با عدم قطعیت داده در اوایل دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد شد و اخیراً به طور گسترده مورد مطالعه و توسعه قرار گرفته است. استواری به این معنی است که خروجی مدل نباید به مقادیر دقیق پارامترهای مدل حساسیت بالایی داشته باشد(Pishvaee et al. 2012). در برخی مطالعات برای بررسی و مدلسازی مدیریت کمی منابع آب از ترکیب مدل‌های مختلف در شاخه‌های برنامه‌ریزی استوار، فازی و تصادفی استفاده نموده‌اند (Guo et al. 2010; Xie et al. 2013; Zhang & Li 2014; Li et al. 2015; Ji et al. 2017)

یکی از راهکارها در جهت مدیریت کیفی منابع آب اعمال قوانین و مقررات محیط زیستی همانند تعیین حد مجاز تخلیه هر یک از آلاینده‌ها به منابع آب می‌باشد. از اینرو در مطالعاتی در جهت مدیریت کیفی منابع آب از محدودیت‌های محیط زیستی کمک گرفته‌اند. در این مطالعات از ترکیب مدل‌های مختلف در شاخه‌های برنامه‌ریزی فازی، تصادفی و استوار استفاده کرده‌اند (Huang & Loucks 2000; Xie & Huang 2014; Dong et al. 2014; Zhang & li 2014; Zhou et al. 2015; Wang et al. 2016; Zeng et al. 2017; Meng et al. 2018; Meng et al. 2021).

Dong et al (2014), به منظور مدیریت کمی و کیفی منابع آب و زمین در منطقه‌ای در چین، با کمک مدل برنامه‌ریزی نادقیق که ترکیب دو مدل ILP (برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای) و CCP (برنامه ریزی محدودیت شانس[۱]) است، تخصیص بهینه منابع آب با لحاظ مدیریت تخلیه آلاینده‌ها به منابع آب را مورد بررسی قرار دادند. Zeng et al. (2017) تخصیص بهینه منابع آب و مدیریت کیفیت آب تحت عدم قطعیت را به طور همزمان در حوزه رودخانه کایدو- کنگو (Kaidu-kongque) در چین مورد بررسی قرار دادند و در این راستا از مدل برنامه‌ریزی کسری بازه‌ای تصادفی سناریو محور با معیار لاپلاس استفاده کردند. در این مطالعه در جهت اعمال محدودیت‌های محیط زیستی، حد مجاز تخلیه آلاینده‌ها (نیتروژن، فسفر و COD) به منابع آب به صورت محدودیت در مدل آورده شده است. Meng et al. (2018) در مقاله خود با کاربرد مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای نادقیق، میزان تخصیص بهینه منابع آب را در میان مصرف‌کنندگان مختلف (صنعت، کشاورزی، شرب و مصارت زیست محیطی) با در نظر گرفتن مدیریت تخلیه آلاینده‌ها به منابع آب، تحت سه سناریوی جریان آب مورد ارزیابی قرار دادند. بر طبق نتایج حاصل شده، مقدار تخصیص منابع آب به بخش‌های مختلف به میزان ظرفیت تصفیه فاضلاب در منطقه و میزان کنترل آلودگی منابع آب بستگی دارد.

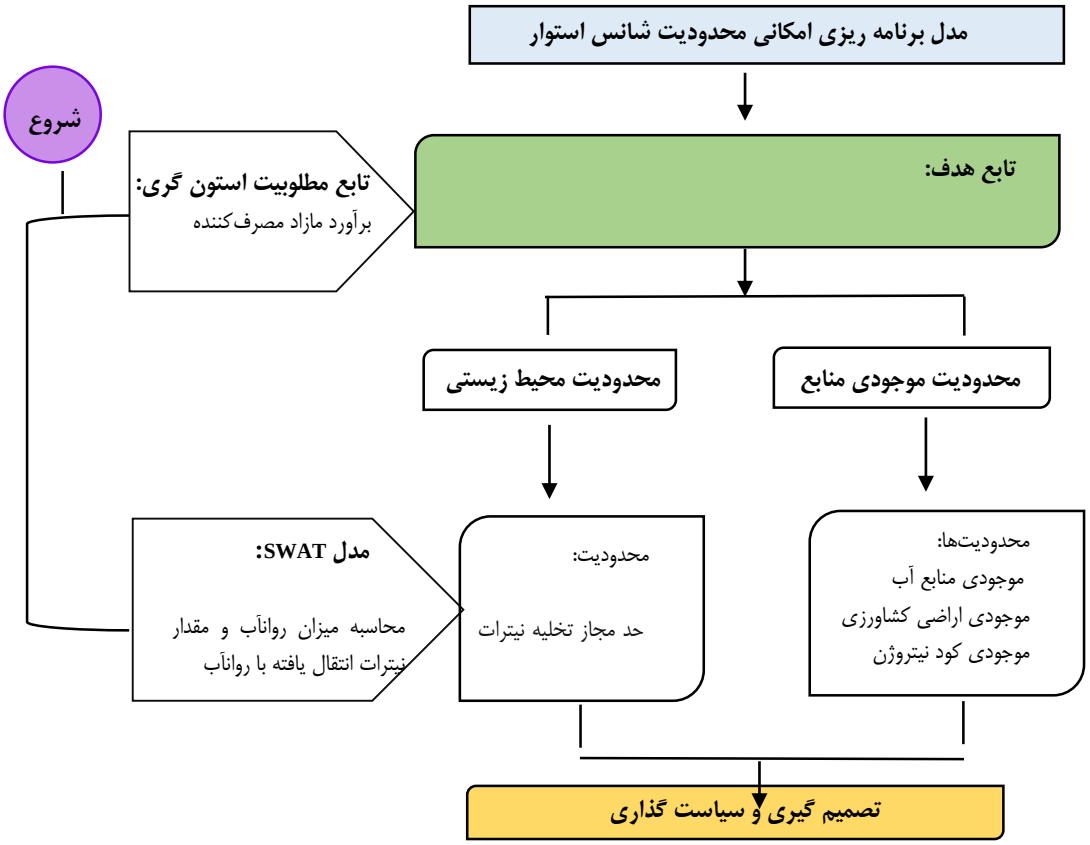
---

۱ Chance-Constrained Programming

تاکنون مطالعه‌ای انجام نشده است.که به بررسی اثرات اقتصادی و محیط زیستی مدیریت کمی و کیفی منابع آب از طریق کاربرد پساب در بخش کشاورزی و صنعت و استفاده از پتانسیل کودی منابع آب در بخش کشاورزی با در نظر گرفتن محدودیت‌های محیط زیستی بپردازد.

روش‌شناسی پژوهش

برای بررسی اثرات اقتصادی و محیط زیستی استفاده از فاضلاب تصفیه شده از یک مدل هیدرو- اقتصادی ساز استفاده شد. در این مطالعه خروجی مدل SWAT به عنوان ورودی در مدل برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس استوار وارد می‌شود. مدل SWAT برای محاسبه میزان رواناب و مقدار نیترات انتقال یافته با رواناب سطحی از مزارع کشاورزی (در هر دو وضعیت موجود و شرایط اجرای طرح) استفاده شده است.



شکل ۳. چارچوب کلی تحقیق

مدل SWAT

مدل SWAT مدلی جامع به منظور شبیه‌سازی فرایندهای مختلف درون حوضه می‌باشد. این مدل یک مدل مفهومی است، بنابراین بجای استفاده از روابط رگرسیونی، SWAT به شبیه‌سازی فرآیندهایی مانند حرکت آب، رسوب، رشدگیاه، سیکل مواد غذایی در خاک، انتقال مواد آلاینده و غیره می‌پردازد. بدین منظور لزوم استفاده از اطلاعات اقلیمی، خواص خاک، توپوگرافی و

نوع پوشش اراضی مطرح می‌گردد. در این مدل برای انجام شبیه‌سازی، ابتدا حوضه را به چند زیرحوضه[1] و هر زیر حوضه را بسته به میزان تنوع در خاک، شیب و کاربری اراضی آن، به چند قسمت کوچکتر به نام واحد واکنش هیدرولوژیکی[2] تقسیم می‌کند. در ابتدا آب موجود در خاک، روانآب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر واحد واکنش هیدرولوژیک و سپس برای هر زیر حوضه بصورت متوسط وزنی محاسبه می‌شود.

اساس چرخه هیدرولوژی در مدل SWAT رابطه تعادل (بیلان) آبی است که به شکل زیر می‌باشد:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}\left(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}\right) \quad \text{رابطه ۱)}$$

SW_t : مقدار فعلی(نهایی) آب در خاک (برحسب میلی‌متر آب)؛ SW_0 : مقدار اولیه آب در خاک (برحسب میلی‌متر آب)؛ R_{day} : مقدار بارندگی در روز i ام (برحسب میلی‌متر آب)؛ Q_{surf} : مقدار روانآب سطحی در روز i ام (برحسب میلی‌متر آب)؛ E_a : مقدارتبخیر و تعرق در روز i ام (برحسب میلی‌متر آب)؛ W_{seep}: مقدار آبی که از پروفیل خاک به ناحیه غیر اشباع در روز i ام وارد می‌شود (برحسب میلی‌متر آب)؛ Q_{gw} : مقدار جریان برگشتی در روز i ام (برحسب میلی‌متر آب).

در این مدل، روانآب سطحی از روش شماره منحنی و نرخ دبی حداکثر برای هرHRU شبیه‌سازی و سپس کل روانآب حاصل برای حوضه روندیابی می‌شود. مقدار بارشی که در طول شیب سطح زمین نفوذ نکرده روانآب سطحی(Q_{surf}) را تشکیل می‌دهد. عمق روانآب سطحی (Q_{surf}) با استفاده از رابطه ۵ تخمین زده می‌شود:

$$Q_{surf} = \frac{\left(R_{day} - I_a\right)^2}{\left(R_{day} + I_a + S\right)} \quad \text{رابطه ۲)}$$

که در آن R_{day} : عمق بارش روزانه (میلی‌متر)؛ I_a: نگه داشت اولیه شامل ذخیره سطحی، جذب گیاه و میزان نفوذ پیش از شروع روانآب (میلیمتر) می‌باشد؛ S: حداکثر یا پتانسیل نگهداشت رطوبت روی زمین (میلی‌متر).

۳.۱.۱. انتقال نیترات

بیشتر خاک‌های معدنی در PH نرمال دارای بار منفی هستند و واکنش خالص آنیون‌هایی چون نیترات که دارای بار منفی هستند دور شدن از سطح ذرات است. به این دور شدن جذب منفی یا منع آنیونی گفته می‌شود. آنیون‌های منع شده به علت جذب انتخابی کاتیون‌ها در کنار سطح باقی می‌مانند. این مورد اثر مستقیمی بر انتقال آنیون‌ها در درون خاک دارد زیرا آنیون‌ها را از حجم آب نزدیک به سطح باردار ذرات که دارای سرعت انتقال پایینی است دور می‌کند (Jury et al. 1991). اگر تمام آب خاک مورد استفاده قرار بگیرد، مسیر خالص عبور آنیون‌ها در درون خاک کوتاه‌تر می‌شود (Thomas & McMahon 1972).

نیترات به وسیله روانآب سطحی، جریان جانبی و نفوذ عمقی منتقل می‌شود. غلظت نیترات در آب متحرک از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$conc_{NO_{3mobile}} = \frac{NO_{3_{ly}}0\left(1 - \exp\left[\frac{-W_{mobile}}{(1-\theta_e): SAT_{ly}}\right]\right)}{W_{mobile}} \quad \text{رابطه ۳)}$$

$conc_{NO_{3mobile}}$: غلظت نیترات در آب جاری برای لایه مورد نظر(کیلوگرم نیتروژن در میلی‌لیتر در آب)؛ $NO_{3_{ly}}$: مقدار نیتروژن در لایه (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)؛ W_{mobile} : مقدار آب جاری در لایه (میلی لیتر)؛ θ_e: درصدی از تخلخل است که در آن آنیون‌ها پراکنده می‌شوند. SAT_{ly} : میزان آب اشباع لایه خاک (میلی‌لیتر).

1 Sub- basin
2 Hydrological Response Unit (HRU)

تابع تقاضای آب شهری و مازاد مصرف کننده

جهت استخراج تابع تقاضای آب شهری در بخش خانگی از نظریه اقتصاد خرد و با استفاده از روش حداکثر کردن مطلوبیت مصرف‌کننده، با توجه به قید بودجه وی استفاده شده است. از آنجا که مصرف آب ضروری است و به عبارت دیگر آب به عنوان یک کالای ضروری همواره از حداقل مصرف برخوردار است. بنابراین تابع مطلوبیت استون‌گری که به تابع مطلوبیت پایه‌ریزی شده برای کالاهای ضروری مشهور است، سازگارترین نوع تابع مطلوبیت برای این منظور است (Khosh Akhlaq & Shahraki 2002; Sabohi & Nobakht 2008).

تابع تقاضای آب شهری با کمک تابع مطلوبیت استون‌گری برای محدوده مطالعاتی به صورت رابطه ۴ فرموله می‌شود. لازم به ذکر است که با توجه به پیشینه تجربی در این زمینه متغیرهای قیمت آب، قیمت سایر کالاهای مصرفی (از شاخص قیمت کالاها و خدمات مصرفی به عنوان جانشینی برای قیمت سایر کالاها و خدمات استفاده شده است)، درآمد خانوار و متغیر جوی (میزان بارش) به عنوان متغیرهای اثرگذار بر روی تقاضای آب در نظر گرفته شده است و هم‌چنین دوره زمانی مورد بررسی حد فاصل سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۷ است.

$$Q_A = \theta_0 + \theta_1 \frac{I}{P_W} + \theta_2 \frac{CPI}{P_W} + \theta_3 w \qquad \text{رابطه ۴)}$$

که در آن؛Q، میزان تقاضای آب در بخش خانگی در شهرستان ری؛$\frac{I}{PW}$، نسبت متوسط درآمد سرانه هر خانوار در هر سال به متوسط قیمت آب در آن سال؛ $\frac{CPI}{PW}$، نسبت شاخص قیمت کالا و خدمات مصرفی (که به عنوان جانشینی برای قیمت سایر کالاها به غیر از آب استفاده شده است) به متوسط قیمت آب در آن سال؛W، میزان بارش سالیانه و θ_0،θ_1،θ_2،θ_3 پارامترهای مدل هستند.

مازاد مصرف‌کننده به این معنی است که خریداران تمایل دارند برای هر مقدار از کالا مبلغی را بپردازند، در حالی که اگر مبلغی که واقعاً می‌پردازند کمتر از آن مقداری باشد که تمایل به پرداخت دارند، بدین ترتیب منافعی برای مصرف‌کننده از هر واحد کالا حاصل می‌شود که همان مازاد مصرف‌کننده است. بدین سان فاصله‌ی زیر منحنی تقاضا بین قیمت های اولیه و ثانویه بیان کننده تغییرات مازاد مصرف‌کننده ناشی از تغییرات قیمت است.

۳.۳. مدل برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس استوار

برای مقابله با عدم قطعیت محدویت‌ها در مسئله از برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس استوار مبتنی بر اندازه‌های فازی نظیر؛ اندازه امکان، اندازه الزام و اندازه اعتبار استفاده می‌شود در این مطالعه به منظور ساختن برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس از اندازه الزام در محدودیت‌هایی که پارامتر فازی دارند، استفاده شده است. بنابراین فرم پایه‌ای برنامه ریزی فازی محدودیت شانس به فرم زیر است:

$$\text{Max} \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad \text{رابطه ۵)}$$

subject to:

$$\text{pos}\left\{\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_{ij} \le \tilde{b_i}\right\} \ge \alpha_i \qquad i = 1.2 \ldots . m \qquad \text{رابطه ۶)}$$

$$x_j \ge 0 \qquad j = 1.2 \ldots . n \qquad \text{رابطه ۷)}$$

که در این رابطه α_i، اندازه الزام است. برای ساده‌سازی محدودیت‌های شانس در مسئله به فرم $r \le \tilde{b}$ و تبدیل آن به محدودیت قطعی متناظر، با در نظر گرفتن عدد حقیقی r و تعریف اندازه الزام، عبارت $r \le \tilde{b}$ به صورت زیر می‌باشد (Cadenas 1997; Pishvaee et al. 2012; Wan & dong. 2014; Papi et al. 2018).

رابطه ۸) $$pos(r \le \tilde{b}) = \sup_{x \ge r} \mu_{\tilde{b}}(x)$$

رابطه ۹) $$pos(r \le \tilde{b}) \ge \alpha \quad \rightarrow \quad r \le \alpha b_1 + (1-\alpha)b^2$$

برای بهبود عملکرد مدل اخیر، در تحقیق انجام شده توسط Pishvaee et al. (2012); با در نظر گرفتن دو مفهوم استواری بهینگی و استواری موجه بودن، رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استوار توسعه داده شده است که در آن سطح امکان α_i به صورت تعاملی و با توجه به مفاهیم استواری بهینگی و استواری موجه بودن تعیین می‌شود. فرم کلی مدل برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس استوار بصورت زیر می‌باشد:

رابطه ۱۰) $$\text{Max} \sum_{j=1}^{n} c_j x_j - \varphi[b^1 - (\alpha b^1 + (1-\alpha)b^2)]$$

subject to:

رابطه ۱۱) $$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_{ij} \le \alpha b^1 + (1-\alpha)b^2 \qquad i = 1.2 \ldots . m$$

رابطه ۱۲) $$0.5 \le \alpha \le 1$$

رابطه ۱۳) $$x_j \ge 0 \qquad j = 1.2 \ldots . n$$

که در آن φ پارامتر کنترلی است که با تحلیل حساسیت به دست می آید.

از آنجایی که میزان موجودی آب سطحی در مسئله مورد نظر یک پارامتر غیر قطعی می‌باشد و آنرا می‌توان بصورت یک عدد فازی ذوذنقه‌ای بیان کرد. در نتیجه الگوی تجربی برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس استوار در این مطالعه به صورت زیر طراحی شده است:

رابطه ۱۴)
$$\begin{aligned} f = & \sum_{i=1}^{5}\sum_{k=1}^{3} P_{ik} Y_{ik} X_{ik} - \sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} C_{ik} X_{ik} \\ & - \sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} CWA_{ik}\, WA_{ik} - \sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} CGA_k\, GA_{ik} \\ & - TFC \sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} N_{fert_{ik}} X_{ik} + NI \sum_{k=1}^{3} (WI_k + GI) \\ & - CTI\, \beta_I\, \omega_I \left(\sum_{k=1}^{3} WI_k + GI \right) + (NM\, GM) \\ & - \varphi \sum_{k=1}^{k=3} \left[TW_k{}^2 - \left(\alpha_k TW_k{}^1 + (1-\alpha_k) TW_k{}^2 \right) \right] \end{aligned}$$

رابطه ۱۴ تابع هدف می‌باشد که سود سیستم را نشان می‌دهد.تصفیه خانه‌ها و آب های زیرزمینی منابع آبی منطقه مورد مطالعه هستند. از آنجاکه هر یک از تصفیه خانه‌ها بخشی از اراضی منطقه را تحت پوشش قرار می‌دهند در نتیجه اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه به سه منطقه کشاورزی؛ اراضی کشاورزی تحت پوشش تصفیه خانه آب‌های سطحی صالح آباد (منطقه کشاورزی صالح آباد)، اراضی کشاورزی تحت پوشش تصفیه خانه آب‌های سطحی سرخه حصار (منطقه کشاورزی سرخه حصار) و اراضی کشاورزی تحت پوشش تصفیه خانه فاضلاب جنوب تهران (منطقه کشاورزی جنوب)؛ تقسیم شده است. بنابراین، K هم نمایانگر منبع آب سطحی (تصفیه خانه آب‌های سطحی صالح آباد، تصفیه خانه آب‌های سطحی سرخه حصار

و تصفیه خانه فاضلاب جنوب تهران) می‌باشد و هم نشان‌دهنده منطقه کشاورزی (منطقه کشاورزی صالح آباد، منطقه کشاورزی سرخه حصار و منطقه کشاورزی جنوب) می‌باشد؛ اندیس i نشان‌دهنده نوع محصول (گندم، جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای و سبزیجات)؛ f: سود سیسم؛ P_{ik}: قیمت محصول i ام در منطقه کشاورزی k ام؛ Y_{ik} : عملکرد محصول iام در منطقه کشاورزی k ام؛ C_{ik} : هزینه تولید محصول i ام در منطقه کشاورزی k ام؛ X_{ik}: سطح زیر کشت محصول i ام در منطقه کشاورزی k ام؛ CWA_{ik} : قیمت پساب برای محصول i ام در منطقه کشاورزی k ام؛ WA_{ik}: مقدار پساب تخصیص یافته به محصول i ام در منطقه کشاورزی k ام؛ CGA_k: هزینه برداشت آب زیرزمینی در منطقه کشاورزی k ام؛ GA_{ik} : مقدار آب زیرزمینی تخصیص یافته به محصول i ام در منطقه کشاورزی k ام؛ TFC: قیمت کود ازته؛ $N_{fert_{ik}}$: مقدار نیتروژن داده شده به محصول i ام در هر هکتار در منطقه کشاورزی k ام از طریق کود نیتروژن (کود نیتروژن تحویلی به محصول)؛ NI: ارزش افزوده هر واحد از آب تخصیص یافته به بخش صنعت؛ WI: مقدار فاضلاب تصفیه شده اختصاص داده شده به بخش صنعت؛GI : مقدار آب زیر زمینی اختصاص داده شده به بخش صنعت؛ NM: سود هر واحد از آب تخصیص یافته به بخش شهری؛ GM: مقدار آب زیر زمینی اختصاص داده شده به بخش شهری؛ CTI : هزینه تصفیه هر واحد فاضلاب تولیدی در بخش صنعت؛ ω_I: نسبتی ازآب تخصیص داده شده به بخش صنعت که تبدیل به فاضلاب می‌شود؛ ω_M : نسبتی ازآب تخصیص داده شده به بخش شهری که تبدیل به فاضلاب می‌شود؛ β_I: نسبتی ازفاضلاب تولیدی در بخش صنعت که تصفیه می‌شود.

$$\sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} X_{ik} \le LAND_k$$ رابطه ۱۵)

رابطه ۱۵ مربوط به موجودی اراضی قابل کشت در هر یک از مناطق کشاورزی می‌باشد؛ $LAND_k$: موجودی اراضی کشاورزی در منطقه کشاورزی k ام.

$$Nec\left\{\sum_{i=1}^{5}\sum_{k=1}^{3} WA_{iK} + \sum_{k=1}^{3} WI_k \le \widetilde{TW_K}\right\} \ge \alpha_k$$ رابطه ۱۶)

با توجه به رابطه ۱۱، رابطه ۱۶ بصورت زیر باز نویسی می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{5}\sum_{k=1}^{3} WA_{iK} + \sum_{k=1}^{3} WI_k \le \alpha_k {TW_k}^1 + (1-\alpha_k){TW_k}^2$$

معادلات ۱۶، ۱۷ و ۱۸ مربوط به محدودیت موجودی منابع آب متعارف و نامتعارف در محدوده مطالعاتی می‌باشد.α_k : حداقل سطح اطمینان محدودیت شانس؛ $\widetilde{TW_K}$: میزان موجودی پساب در تصفیه خانه k ام (میزان آب آلوده سطحی در منطقه کشاورزی k ام) که بصورت عدد فازی ذوذنقه‌ای می‌باشد و $({TW_k}^1.{TW_k}^2.{TW_k}^3.{TW_k}^4)$ اعداد قطعی هستند.

$$\sum_{i=1}^{5}\sum_{k=1}^{3} GA_{iK} \le TG_K$$

TG_K: میزان موجودی آب زیرزمینی قابل برداشت در منطقه کشاورزی k ام.

$$\sum_{i=1}^{5}\sum_{k=1}^{3} GA_{iK} + GI + GM \le TG$$

$$\sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} N_{fert_{ik}}\, X_{iK} \le TFN$$

محدودیت مربوط به موجودی کود در رابطه ۱۹ نشان داده شده است؛ TFN: موجودی کود ازته در محدوده مطالعاتی.

$$\sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} IR_{ik} = \sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} WA_{ik} + \sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} GA_{ik}$$

ابطه ۲۰ بیانگر آن است که نیاز آبی محصولات مختلف از طریق پساب تصفیه خانه‌ها و آب زیر زمینی تأمین می‌گردد؛

IR_{ik}: نیاز ناخالص آبی محصول i ام در هر هکتار در منطقه کشاورزی k ام.

$$TIW_{min} \le GI + \sum_{k=1}^{3} WI_k \le TIW_{max}$$

معادلات ۲۱ و ۲۲ میزان عرضه آب به بخش صنعت و بخش شهری را نشان می‌دهد؛ TIW_{min}: حداقل میزان آبی که به بخش صنعت باید تخصیص داده شود؛ TIW_{max}: حداکثر میزان آبی که به بخش صنعت باید تخصیص داده شود.

$$TMW_{min} \le GM \le TMW_{max}$$

TMW_{min}: حداقل میزان آبی که به بخش شهری باید تخصیص داده شود؛ TMW_{max}: حداکثر میزان آبی که به بخش شهری باید تخصیص داده شود.

$$\sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} Nneed_{ik}\ X_{ik} \le \sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} N_{fert_{ik}}\ X_{ik} + \sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} WA_{ik}\ N_{waste_k} + \sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} GA_{ik}\ N_{ground_k}$$

$$- \sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} N_{runoff_{iK}} X_{ik} - \sum_{i=1}^{5}\sum_{K=1}^{3} N_{loss_{iK}}\ X_{ik}$$

محدودیت نیازی کودی گیاه (در این مطالعه کود ازته مد نظر می‌باشد) در رابطه ۲۳ بیان شده است، بر اساس این محدودیت نیاز کودی گیاه باید با مقدار نیتراتی که در آب آبیاری (پساب و آب زیرزمینی) وجود دارد وکود داده شده به زمین و با توجه به مازاد نیتراتی که از دسترس خارج می‌گردد ، تأمین شود؛ $Nneed_{ik}$: نیاز کودی (نیتروژن مورد نیاز) هر محصول در هر هکتار؛ $N_{groundk}$: میزان غلظت نیترات در آب زیرزمینی در منطقه کشاورزی k ام؛ N_{wastek}: میزان غلظت نیترات در پساب تصفیه خانه k ام (یا میزان غلظت نیترات در آب آلوده سطحی در منطقه کشاورزی k ام)؛ $N_{runoff_{iK}}$: مقدار نیترات انتقال یافته با روانآب سطحی از هر هکتار محصول i ام در منطقه کشاورزی k ام؛ N_{lossik}:مقدار نیتراتی که به شکل‌های مختلف (فرسایش خاک؛ فرآیند دنیتریفیکاسیون یا نفوذ به آب زیرزمینی) از دسترس خارج می‌شوند.

$$\sum_{i=1}^{5}\sum_{k=1}^{3} X_{iK}\ N_{runoff_{iK}} \le SE_A \qquad \text{رابطه ۲۴)}$$

محدودیت محیط زیستی مربوط به حد مجاز تخلیه نیترات به منابع آب سطحی در معادلات ۲۴، ۲۵ و ۲۶ نشان داده شده است.

$$\mathrm{NCI}\left((1-\beta_I)\ \omega_I\ \gamma_I\left(\sum_{k=1}^{3} WI_k + GI\right)\right) + \mathrm{NCTI}\left(\beta_I\ \omega_I\ \gamma_I\left(\sum_{k=1}^{3} WI_k + GI\right)\right) \le SE_I \qquad \text{رابطه ۲۵)}$$

NCTI: میزان غلظت نیترات در فاضلاب صنعتی بعد از تصفیه فاضلاب؛NCI: میزان غلظت نیترات در فاضلاب صنعتی قبل از تصفیه فاضلاب.

$$\mathrm{NCM}\ (\omega_M\ \gamma_M\ GM) \le SE_M \qquad \text{رابطه ۲۶)}$$

۱ . می‌تواند به صورت‌های مختلف مثل فرسایش خاک، نفوذ به آب زیرزمینی و یا فرآیند دنیتریفیکاسیون باشد.

NCM: میزان غلظت نیترات در فاضلاب بخش شهری قبل از تصفیه فاضلاب؛ γ_I: نسبتی از فاضلاب صنعتی که به منابع آب سطحی تخلیه می‌شود؛ γ_M: نسبتی از فاضلاب بخش شهری که به منابع آب سطحی تخلیه می‌شود.

SE_M , SE_I , SE_A : حد مجاز تخلیه نیترات به منابع آب سطحی برای بخش‌های کشاورزی، صنعت و شهری می‌باشد که معادل حاصلضرب میزان فاضلاب وارد شده به منابع آب سطحی در هر بخش و حد مجاز تخلیه نیترات به منابع آب سطحی حاصل می‌شود و این حد مجاز با توجه به استانداردهای خروجی فاضلاب[1]می‌باشد.

رابطه ۲۷) $0/5 \leq \alpha_k \leq 1$

رابطه ۲۷ بیان می‌کند که مقدار مربوط به اندازه الزام باید بین ۰/۵ تا ۱ نوسان کند.

رابطه ۲۸) $f; WA_{ik}; WI_k; GA_{ik}; GI; GM; X_{iK}; N_{fert_{ik}}; N_{loss_{iK}} \geq 0$

رابطه ۲۸ مربوط به این می‌باشد که متغیرهای تصمیم مقادیرشان باید مثبت باشد.

در این پژوهش، داده‌های مربوط به هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی، میزان عملکرد محصولات در منطقه، قیمت و میزان نهاده‌های مصرفی برای تولید هر محصول در هر هکتار و قیمت محصولات کشاورزی از وزارت جهاد کشاورزی اخذ شده است و با کمک داده‌های آماربرداری سراسری منابع آب که توسط شرکت مدیریت منابع آب ایران انجام می‌شود، میزان موجودی منابع آب در محدوده مطالعاتی استخراج شده است. داده‌های کیفی (میزان نیترات آب زیرزمینی و آب سطحی و میزان غلظت نیترات در فاضلاب بخش شهری و صنعت) از شرکت آب منطقه‌ای استان تهران اخذ شده است. میزان ارزش افزوده در بخش صنعت از مرکز آمار ایران اخذ شده است.

یافته‌های پژوهش

در این مقاله برای بررسی اثرات اقتصادی و محیط زیستی اجرای طرح تأسیس شبکه آبیاری و زهکشی ری و ساخت تصفیه‌خانه‌های آب‌های سطحی صالح آباد و سرخه حصار در جهت استفاده از پساب این تصفیه خانه‌ها در بخش کشاورزی و صنعت جنوب تهران، از مدل SWAT و مدل برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس استواراستفاده شده است. مدل SWAT در دو حالت اجرا شده است. یکبار در وضعیت موجود و یکبار در وضعیتی که پساب جایگزین آب آلوده در منطقه شده است و مصرف کود ازته به واسطه استفاده از پتانسیل کودی منابع آب حذف شده است. طبق نتایج مدل SWAT، میزان روانآب خروجی از هر هکتار و میزان نیترات خروجی همراه با روانآب از هکتار اراضی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مقدار روانآب (متر مکعب) و میزان نیترات (کیلوگرم) خروجی از هکتار اراضی

مناطق کشاورزی	نام محصول	وضعیت موجود		بعد از اجرای طرح	
		مقدار روانآب	میزان نیترات	مقدار روانآب	میزان نیترات
صالح آباد	گندم	۱۰۶	۸/۹۲	۹۶	۰/۰۷
	جو	۱۱۲	۳/۹۲	۹۹	۰/۰۶
	یونجه	۲۳۴	۳/۰۶	۲۲۵	۰/۵۶
	ذرت علوفه‌ای	۲۱	۰/۰۳	۲۲	۰
	سبزی	۲۳۶	۹/۱۹	۱۲	۰/۰۹
سرخه حصار	گندم	۱۳۶	۴۱/۱۶	۱۰۰	۰
	جو	۱۴۲	۱۲/۷۰	۱۰۵	۰
	یونجه	۳۰۱	۳/۴۱	۱۸۳	۰/۲
	ذرت علوفه‌ای	۳۱	۰/۰۶۲	۳۱	۰

۱ . استانداردهای خروجی فاضلاب به استناد ماده ۵ آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب و با توجه به ماده (۳) همین آیین نامه و با همکاری وزارتخانه بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ، نیرو ، صنا یع ، معدن و فلزات ، کشور و کشاورزی توسط سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و تدوین گردیده است.

	سبزی	۱۲۲۴	۵/۷۸	۳۱	۰
	گندم	۶۵	۸۲/۱۹	۶۳	۰
	جو	۷۶	۲۵/۳۲	۷۲	۰
جنوب	یونجه	۹۴	۶/۷۹	۸۱	۰/۳۳
	ذرت علوفه‌ای	۶۲	۰/۱۲۴	۶۲	۰
	سبزی	۱۷۴	۱۱/۵۶	۶۲	۰
میانگین		۲۰۱	۱۴/۲۸	۸۲/۹	۰/۰۹

میزان روانآب خروجی از هر هکتار زمین در وضعیتی که طرح اجرا شده است، به علت بهبود سیستم آبیاری و افزایش راندمان آبیاری کمتر از وضعیت موجود می‌باشد. میزان نیترات خروجی از هر هکتار زمین در محصولات مختلف در وضعیتی که طرح اجرا شده است، بسیار اندک است. بطوریکه میزان نیترات موجود در روانآب خروجی به طور متوسط از ۱۴ به ۰/۱ کیلوگرم در هکتار کاهش یافته است. قبل و بعد از اجرای طرح میزان نیترات خروجی همراه با روانآب از ارضی ذرت علوفه‌ای نسبت به سایر محصولات کمتر می‌باشد و هم‌چنین با توجه به نتایج حاصله از مدل سوآت، نیترات بیشتری همراه با روانآب از اراضی گندم و سبزی به نسبت سایر محصولات خارج می‌شود. نتایج حاصل از مدل SWAT به عنوان ورودی در مدل برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس استوار وارد خواهد شد.

نتایج تخمین تابع تقاضای آب خانوار با کمک نرم افزار ایویوز در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج برآورد تابع تقاضای آب خانوار در محدوده مطالعاتی

نام متغیر	عرض از مبدأ	$\frac{I}{PW}$	$\frac{CPI}{PW}$	R
مقدار ضریب	۲۱۱/۲۸***	۰/۰۰۰۹۵***	۲۵۶۹/۱۲-***	۰/۰۷۴-
	(۱۴/۶۷)	(۳/۰۷)	(-۲/۸۸)	(-۱/۷۸)

*، ** و *** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد.

اعداد داخل پرانتز، مقادیر آماره t استیودنت می‌باشد.

روابط بین متغیرهای تابع تقاضای آب برآوردی حاکی از آن است که رابطه مثبت بین درآمد خانوار با تقاضای مصرفی آب و رابطه منفی میان شاخص قیمت مصرف‌کننده و بارش با تقاضای مصرفی آب وجود دارد. با توجه به تابع تقاضای برآورد شده و مفهوم مازاد مصرف‌کننده، در سال ۱۳۹۷میزان سود به ازای مصرف هر یک میلیون متر مکعب آب در بخش شهری معادل ۲۷۰۸۵/۲۵ میلیون ریال می‌باشد.

در این تحقیق سناریوهایی در جهت بررسی اثرات اقتصادی و محیط زیستی استفاده از پساب در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. در این سناریوها تخصیص منابع تحت شرایط مختلف انجام می‌شود. این شرایط در جدول ۳ توضیح داده شده است.

لازم به ذکر است که در وضعیت موجود کشاورزان بابت آب سطحی آلوده هزینه‌ای پرداخت نمی‌کنند ولی در صورت ساخت تصفیه خانه‌ها و یا ساخت شبکه آبیاری و زهکشی ری کشاورزان باید بابت کاربرد پساب هزینه پرداخت کنند. هم‌چنین در صورت ورود پساب به منطقه قوانین مربوط به ممنوعیت استفاده از پساب برای آبیاری سیزیجات اعمال خواهد شد.

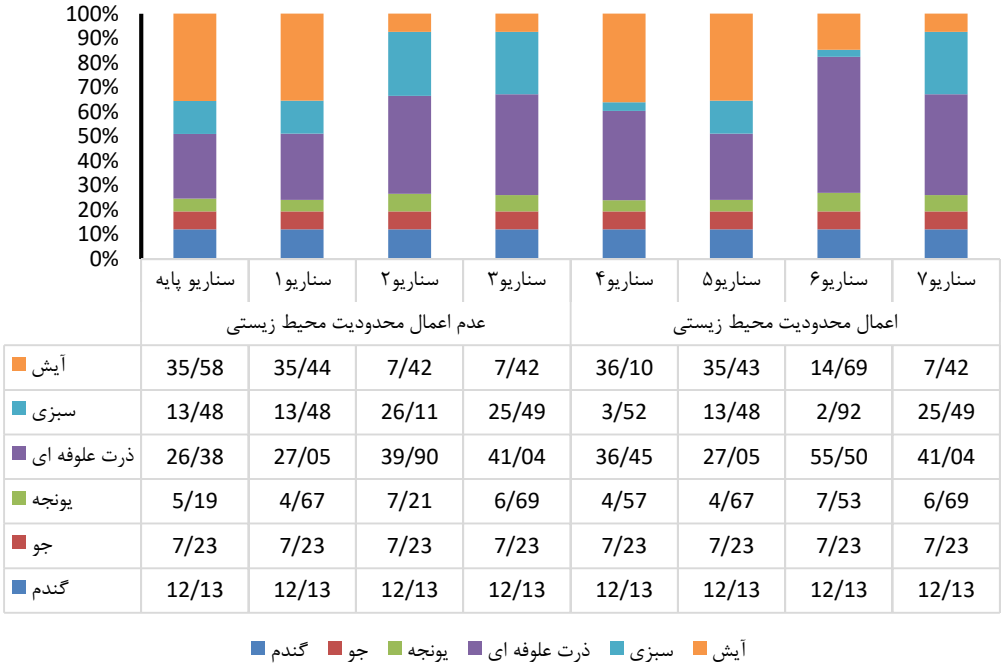
در واقع در سناریو پایه منطقه در شرایط بهینه اقتصادی قرار دارد و در سناریو ۱، شرایط بهینه اقتصادی در صورت ورود پساب به منطقه را نشان می‌دهد. سناریو ۲ بیانگر وضعیت بهینه اقتصادی در صورتیکه تنها شبکه آبیاری و زهکشی تأسیس شود و سناریو ۳ بیانگر وضعیت بهینه اقتصادی است در صورتیکه طرح ساماندهی آب‌های سطحی جنوب تهران اجرا شود.

در سناریو ۴ منطقه در شرایط بهینه اقتصادی- محیط زیستی قرار دارد و در سناریو ۵، شرایط بهینه اقتصادی- محیط زیستی در صورت ورود پساب به منطقه را نشان می‌دهد. سناریو ۶ بیانگر وضعیت بهینه اقتصادی- محیط زیستی در صورتیکه تنها شبکه آبیاری و زهکشی تأسیس شود و سناریو ۷ بیانگر وضعیت بهینه اقتصادی- محیط زیستی است در صورتیکه طرح ساماندهی آب‌های سطحی جنوب تهران اجرا شود.

از نرم افزار GAMS برای تخمین مدل برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس استوار در سناریوهای مختلف استفاده شده است.

جدول ۳. شرایط سناریوها

سناریوهای مختلف		شرایط سناریو
عدم اعمال محدودیت محیط زیستی	سناریو پایه	• وضعیت موجود
	سناریو ۱	• ساخت تصفیه خانه‌ها و کاربرد پساب آن در بخش کشاورزی و صنعت • استفاده از پتانسیل کودی منابع
	سناریو ۲	• بهبود سیستم آبیاری در بخش کشاورزی
	سناریو ۳	• ساخت تصفیه‌ها خانه و کاربرد پساب آن در بخش کشاورزی و صنعت • استفاده از پتانسیل کودی منابع • بهبود سیستم آبیاری در بخش کشاورزی
اعمال محدودیت‌های محیط زیستی	سناریو ۴	• وضعیت موجود
	سناریو ۵	• ساخت تصفیه خانه‌ها و کاربرد پساب آن در بخش کشاورزی و صنعت • استفاده از پتانسیل کودی منابع
	سناریو ۶	• بهبود سیستم آبیاری در بخش کشاورزی
	سناریو ۷	• ساخت تصفیه خانه‌ها و کاربرد پساب آن در بخش کشاورزی و صنعت • استفاده از پتانسیل کودی منابع • بهبود سیستم آبیاری در بخش کشاورزی



	سناریو پایه	سناریو۱	سناریو۲	سناریو۳	سناریو۴	سناریو۵	سناریو۶	سناریو۷
آیش	35/58	35/44	7/42	7/42	36/10	35/43	14/69	7/42
سبزی	13/48	13/48	26/11	25/49	3/52	13/48	2/92	25/49
ذرت علوفه ای	26/38	27/05	39/90	41/04	36/45	27/05	55/50	41/04
یونجه	5/19	4/67	7/21	6/69	4/57	4/67	7/53	6/69
جو	7/23	7/23	7/23	7/23	7/23	7/23	7/23	7/23
گندم	12/13	12/13	12/13	12/13	12/13	12/13	12/13	12/13

شکل ۴. سهم محصولات در بخش کشاورزی تحت سناریوهای مختلف

مقایسه الگوی کشت در شرایط بهینه اقتصادی (سناریو پایه) و الگوی کشت در شرایط بهینه اقتصادی- محیط زیستی (سناریو ۴) گویای آن است که در شرایط بهینه اقتصادی- محیط زیستی اراضی کمتری تحت کشت محصولات مختلف قرار می‌گیرد و سهم ذرت علوفه‌ای که نیترات کمتری همراه روانآب به منابع آب سطحی وارد می‌کند از ۲۶ درصد در سناریو پایه به ۳۶ درصد در سناریو ۴ افزایش می‌یابد و سهم سبزی که نیترات بیشتری نسبت به سایر محصولات به منابع آب سطحی وارد می‌کند در الگوی کشت به ۳ درصد کاهش می‌یابد.

الگوی کشت در شرایط بهینه اقتصادی در صورت ورود پساب (سناریو۱) نسبت به سناریو پایه تفاوت چندانی نکرده است چون تفاوت این دو سناریو تنها در استفاده و عدم استفاده از آب آلوده است در نتیجه با توجه به عدم اعمال محدودیت محیط زیستی، الگوی کشت تغییر چندانی نکرده است و تنها از آنجا که کشاورزان در سناریو ۱ برای پساب هزینه پرداخت می‌کنند در نتیجه سهم ذرت علوفه‌ای که نیاز آبی کمتری نسبت به یونجه دارد ۰/۶۷ درصد در الگوی کشت افزایش و سهم یونجه کاسته می‌شود.

از آنجا که سناریو ۲ بیانگر شرایط بهینه اقتصادی در صورت بهبود سیستم آبیاری است در نتیجه مقایسه الگوی کشت در سناریو ۲ با الگوی کشت در سناریو ۶ که بیانگر شرایط بهینه اقتصادی- محیط زیستی در صورت بهبود سیستم آبیاری است، بیانگر آن است که سطح آیش در سناریو ۶ بدلیل رعایت محدودیت محیط زیستی بیشتر است. سطح آیش از ۳۵/۶ درصد در سناریو پایه به ۷/۴ درصد در سناریو ۲ (و سناریو ۳) به دلیل بهبود سیستم آبیاری، کاهش می‌یابد و سهم ذرت علوفه‌ای، سبزی و یونجه بدلیل درآمدزایی بالایشان نسبت به سناریو پایه افزایش یافته است.

هم‌چنین، سطح آیش از ۳۵/۴ درصد در سناریو ۵ به ۱۴/۷ درصد در سناریو ۶ به دلیل بهبود سیستم آبیاری خواهد رسید و در سناریو ۷ به دلیل کاربرد پساب در بخش کشاورزی سطح آیش از ۱۴/۷ درصد در سناریو ۶ به ۷/۴ درصد در سناریو ۷ خواهد رسید(شکل ۴).

جدول ۴. تخصیص منابع آب در بخش کشاورزی تحت سناریوهای مختلف

	سناریو	منبع آب	بخش کشاورزی	بخش صنعت	بخش شهری
عدم اعمال محدودیت محیط زیستی	سناریو پایه	آب زیر زمینی	۱۲۴/۰۴	۲۶/۷۸	۵۶/۲۴
		آب سطحی آلوده	۱۲۵/۳۶	-	-
	سناریو۱	آب زیر زمینی	۱۲۴/۰۴	۲۶/۷۸	۵۶/۲۴
		پساب	۱۲۵/۳۴	-	-
	سناریو ۲	آب زیر زمینی	۱۲۴/۰۴	۲۶/۷۸	۵۶/۲۴
		آب سطحی آلوده	۱۰۳/۵۳	-	-
	سناریو۳	آب زیر زمینی	۱۲۴/۰۶	۴/۳۶	۵۶/۲۴
		پساب	۱۰۲/۹۵	۲۲/۴۱	-
اعمال محدودیت محیط زیستی	سناریو۴	آب زیر زمینی	۱۲۴/۰۶	۲۴/۳۳	۴۸/۲۳
		آب سطحی آلوده	۱۲۵/۳۶	-	-
	سناریو۵	آب زیر زمینی	۱۲۴/۰۶	۲۴/۴۰	۴۸/۲۳
		پساب	۱۲۵/۳۶	-	-
	سناریو۶	آب زیر زمینی	۹۹/۳۱	۲۴/۳۳	۴۸/۲۳
		آب سطحی آلوده	۱۰۳/۱۲	-	-
	سناریو۷	آب زیر زمینی	۱۲۴/۰۶	۱/۹۹	۴۸/۲۳
		پساب	۱۰۲/۹۵	۲۲/۴۱	-

بر اساس شکل ۴، میزان سطح زیر کشت در بخش کشاورزی در شرایط سناریوهای ۲، ۳ و ۷ نسبت به سناریو پایه ۴۴ درصد افزایش می‌یابد ولی با این وجود بدلیل بهبود راندمان آبیاری در نتیجه تأسیس شبکه آبیاری و زهکشی، مصرف منابع آب در حدود ۱۷ درصد کاهش یافته است.

در صورتی منطقه در شرایط بهینه اقتصادی- محیط زیستی قرار می‌گیرد که منابع آب کمتری به بخش شهری و صنعت تعلق بگیرد، بطوریکه میزان تخصیص آب به بخش صنعت و شهری در شرایط اعمال محدودیت محیط زیستی بترتیب ۹ درصد و ۱۴ درصد نسبت به عدم اعمال محدودیت‌های محیط زیستی کاهش می‌یابد. هم‌چنین پس از اجرای طرح (سناریو ۷)، بیش از ۹۱ درصد از آب مورد نیاز صنعت از طریق پساب‌های حاصل از تصفیه خانه‌ها تأمین می‌شود. (جدول ۴).

هم‌چنین، طبق نتایج مدل، به علت وجود مقادیر بالای نیترات درآب زیر زمینی و آب سطحی آلوده در شرایط کنونی و همچنین در پساب (در شرایط ساخت تصفیه خانه) نیاز به مصرف کود ازته در منطقه نمی‌باشد. در واقع پساب میتواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی مصرفی در منطقه باشد. این نتایج با یافته‌های پژوهش Yousefi et al. (2018) تطابق دارد.

جدول ۵. میزان (تن) و سهم بخش‌های مختلف (درصد) از نیترات ورودی به منابع آب سطحی

	عدم اعمال محدودیت محیط زیستی				اعمال محدودیت محیط زیستی			
	سناریو پایه	سناریو۱	سناریو۲	سناریو۳	سناریو ۴	سناریو ۵	سناریو ۶	سناریو ۷
کشاورزی	۱۷/۱۱ (۱۶۰/۸۶)*	۰/۱۱ (۰/۸۴)	۱۹/۴۳ (۱۸۷/۹۸)	۰/۱۷ (۱/۳۲)	۱۷/۲۲ (۱۳۸/۵)	۰/۱۳ (۰/۸۴)	۱۷/۲۲ (۱۳۸/۵)	۰/۱۹ (۱/۲۹)
صنعت	۱۲/۶۲ (۱۱۸/۷۱)	۱۵/۲۱ (۱۱۸/۷۱)	۱۲/۲۷ (۱۱۸/۷۱)	۱۵/۲۰ (۱۱۸/۷۱)	۱۲/۳۶ (۹۹/۳۵)	۱۴/۹۰ (۹۹/۳۵)	۱۲/۳۵ (۹۹/۳۵)	۱۴/۸۹ (۹۹/۳۵)
شهری	۷۰/۲۷ (۶۶۰/۸۱)	۸۴/۶۸ (۶۶۰/۸۱)	۶۸/۳۰ (۶۶۰/۸۱)	۸۴/۶۳ (۶۶۰/۸۱)	۷۰/۴۴ (۵۶۶/۶۸)	۸۴/۹۸ (۵۶۶/۶۸)	۷۰/۴۴ (۵۶۶/۶۸)	۸۴/۹۲ (۵۶۶/۶۸)
مجموع	۱۰۰ (۹۴۰/۳۹)	۱۰۰ (۷۸۰/۳۷)	۱۰۰ (۹۶۷/۵۱)	۱۰۰ (۷۸۰/۸۴)	۱۰۰ (۸۰۴/۵۲)	۱۰۰ (۶۶۶/۸۶)	۱۰۰ (۸۰۴/۵۲)	۱۰۰ (۶۶۷/۳۲)

- مقادیر داخل پرانتز میزان (تن) نیترات ورودی به منابع آب سطحی می‌باشد.

طبق جدول ۵، در تمام سناریوها سهم بخش شهری از نیترات وارد شده به منابع آب سطحی بیشتر از سایر بخش‌ها است و سهم بخش صنعت در صورتیکه در منطقه از آب آلوده در بخش کشاورزی استفاده شود کمتر از سایر بخش‌ها می‌باشد. سهم بخش کشاورزی در صورتیکه از پساب در منطقه استفاده شود از سایر بخش‌ها کمتر خواهد شد. میزان سود کشاورزان و سود سیستم در صورت تخصیص بهینه منابع در سناریوهای مختلف در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. میزان سود کشاورزان و میزان سود سیستم تحت سناریوهای مختلف (میلیارد ریال)

	عدم اعمال محدودیت محیط زیستی				اعمال محدودیت محیط زیستی			
	سناریو پایه	سناریو۱	سناریو۲	سناریو۳	سناریو ۴	سناریو ۵	سناریو ۶	سناریو ۷
سود کشاورزی	۲۱۲۸	۲۰۶۵	۳۶۱۷	۳۵۷۹	۱۴۰۰	۲۰۶۵	۱۹۱۲	۳۵۷۹
سود خالص سیستم	۴۸۱۴۴	۴۷۴۷۸	۴۹۶۷۲	۴۹۰۴۸	۴۳۲۱۰	۴۳۳۵۳	۴۳۶۷۵	۴۴۹۲۳

میزان سود کشاورزان به علت پرداخت هزینه برای پساب در سناریو ۱ نسبت به سناریو پایه ۳ درصد کاهش یافته است. در سناریو ۲ به دلیل عدم رعایت محدودیت‌های محیط زیستی و بهبود سیستم آبیاری و در نتیجه افزایش سطح زیر کشت، سود کشاورزان به نسبت سایر سناریوها بیشتر است، بطوریکه سود کشاورزان در سناریو ۲ نسبت به سناریو پایه ۷۰ درصد افزایش

یافته است. از آنجا که به علت اعمال محدودیت‌های محیط زیستی در سناریو ۴ اراضی کمتری تحت کشت قرار می‌گیرد در نتیجه سود کشاورزان در سناریو ۴ نسبت به سایر سناریوها کمتر است. سود سیستم در تمام سناریوهایی که محدودیت‌های محیط زیستی اعمال نمی‌شود بالاتر از سود سیستم در سناریوهایی که محدودیت‌های محیط زیستی اعمال می‌شود، می‌باشد، علت آن تخصیص کمتر آب به بخش صنعت و شهری می‌باشد (جدول ۶).

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

می‌توان با استفاده اصولی از فاضلاب تصفیه شده علاوه بر کاهش فشار بر منابع آب، بار آلودگی وارده به محیط زیست را حداقل نمود. چون از یک سو پساب می‌تواند جایگزین مناسبی برای کود باشد و از سوی دیگر با استفاده از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری از تخلیه فاضلاب به منابع آب جلوگیری می‌شود. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثرات اقتصادی و محیط زیستی کنترل نیترات ورودی به منابع آب از طریق تخصیص کمی و کیفی منابع آب متعارف و نامتعارف و همچنین کود نیتروژن در منطقه در شرایط ساخت تصفیه خانه‌های آب‌های سطحی وساخت شبکه آبیاری و زهکشی و مقایسه نتایج با شرایط کنونی می‌باشد. در این بررسی، از مدل SWAT به عنوان یک مدل شبیه‌ساز برای محاسبه میزان روانآب و مقدار نیترات انتقال یافته با روانآب سطحی از مزارع کشاورزی (در وضعیت موجود و شرایط اجرای پروژه) استفاده شده است و نتایج آن به عنوان ورودی در مدل برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس استوار؛ که به طور موثر با عدم قطعیت‌های موجود در سیستم‌های منابع آب مقابله می‌کند؛ وارد می‌شود.

طبق نتایج می‌توان بیان نمود که، اعمال محدودیت‌های محیط زیستی باعث می‌شود که سهم محصولاتی که آلودگی کمتری ایجاد می‌کنند در الگوی کشت افزایش یابد، بطوریکه سهم ذرت علوفه‌ای در وضعیت موجود بهینه اقتصادی (سناریو پایه) نسبت به وضعیت موجود بهینه اقتصادی- محیط زیستی (سناریوی ۴) از ۲۶ به ۳۶ درصد افزایش می‌یابد. هم‌چنین، با تعیین الگوی کشت بهینه و در نتیجه آن تخصیص منابع به محصولاتی که درآمدزایی بیشتری دارند می‌توان سود در بخش کشاورزی را حداکثر نمود. به‌طوریکه الگوی کشت بهینه اقتصادی- محیط زیستی در شرایط اجرای طرح باید به‌گونه‌ای باشد که در ۴۱ درصد از اراضی درت علوفه‌ای و سبزی در ۲۵ درصد از اراضی کشت شود.

دستیابی به بهینه اقتصادی- محیط زیستی بدون کاهش سود در بخش کشاورزی و سود سیستم امکان پذیر نیست. به ازای کاهش هر یک تن نیترات وارد شده به منابع آب سطحی سود سیستم ۳۶۱۶۷ میلیون ریال کاهش می‌یابد. ولی کاهش سود در بخش کشاورزی از طریق کاربرد پساب در منطقه، استفاده از پتانسیل کودی منابع آب، بهبود سیستم آبیاری قابل جبران می‌باشد وکاهش سود سیستم از طریق افزایش سطح میزان تصفیه فاضلاب تولید شده در بخش صنعت و شهری جبران می‌شود. ازآنجا که بخشی از فاضلاب تولیدی در بخش شهری به منابع آب سطحی وارد می‌شود، در نتیجه ساخت تصفیه خانه فاضلاب در پایین شهرستان ری پیشنهاد می‌شود. از سوی دیگر، اجرای طرح‌های ساخت تصفیه خانه‌های فاضلاب در مناطقی که با مسئله کمبود و آلودگی منابع آب مواجه هستند، میتواند کمک کننده باشد. هم‌چنین، تعیین میزان توصیه‌ی کودی برای هر محصول بر اساس پتانسیل کودی منابع آب، منجر به کاهش هزینه‌های کود و کاهش مصرف کود و در نتیجه، کاهش آبشویی نیترات به منابع آب سطحی می‌شود.

در واقع می‌توان ادعا نمود که پساب در بخش کشاورزی هم به عنوان یک منبع آب می‌باشد و هم نیاز کودی گیاه را برطرف می‌کند و با اختصاص پساب به بخش صنعت و کشاورزی، امکان اختصاص منابع آب متعارف بیشتری به بخش شهری فراهم می‌گردد.

REFERENCES

Abedi, M. J. Najafi, P. (2001). Use of treated wastewater in agriculture. National Committee for Irrigation and Drainage of Iran, Ministry of Energy, First Edition, Tehran (in Persian).

Amini, M. And Ebrahimian, H. (2016) Investigation of nitrate leaching and nitrogen uptake by maize under irrigation conditions with raw and treated effluent. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries). Volume 31. (3): 785-796 (in Persian). http://doi.10.22067/jsw.v31i3.52789.

Axelrad, G., & Feinerman, E. (2010). Allocation of treated wastewater among competitive farmers under asymmetric information. *Water resources research*, 46(1). https://dx.doi.org/10.1029/2008WR007687.

Badri, H., Ghomi, S. F., & Hejazi, T. H. (2017). A two-stage stochastic programming approach for value-based closed-loop supply chain network design. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 105, 1-17. http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2017.06.012.

Birge, J. R., & Louveaux, F. (1997). Two-Stage Linear Recourse Problems. Introduction to Stochastic Programming, 155-197. 10.1007/0-387-22618-4_5.

Cadenas, J. M., & Verdegay, J. L. (1997). Using fuzzy numbers in linear programming. *IEEE Transactions on systems, Man, and cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 27(6), 1016-1022.

Castillo-Villar, K. K., Eksioglu, S., & Taherkhorsandi, M. (2017). Integrating biomass quality variability in stochastic supply chain modeling and optimization for large-scale biofuel production. *Journal of cleaner production*, 149, 904-918. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.123.

Dong, C., Huang, G., Tan, Q., & Cai, Y. (2014). Coupled planning of water resources and agricultural landuse based on an inexact-stochastic programming model. *Frontiers of Earth Science*, 8, 70-80. https://doi.org/10.1007/s11707-013-0388-5.

Elgallal, M. M. (2017). Development of an approach for the evaluation of wastewater reuse options for arid and semi-arid area (Doctoral dissertation, University of Leeds).

Environmental criteria for reuse of wastewater and effluents (2016). Journal 535 (in Persian). http://seso.moe.org.ir.

Epelde, A. M., Cerro, I., Sánchez-Pérez, J. M., Sauvage, S., Srinivasan, R., & Antigüedad, I. (2015). Application of the SWAT model to assess the impact of changes in agricultural management practices on water quality. *Hydrological Sciences Journal*, 60(5), 825-843. https://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.967692.

Gao, Q. Z., Zhang, X., & Brendan, P. M. (2008). Study on water resources management in economic development in the water-shortage regions—a case study in the Shiyang River Basin. *Arid Zone Res*, 25, 607-614.

Gourbesville, P. (2008). Challenges for integrated water resources management. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(5), 284-289. https://dx.doi.org/10.3390/w6072000.

Guo, P., Huang, G. H., Zhu, H., & Wang, X. L. (2010). A two-stage programming approach for water resources management under randomness and fuzziness. *Environmental Modelling & Software*, 25(12), 1573-1581. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.04.018.

Housh, M., Ostfeld, A., & Shamir, U. (2013). Limited multi-stage stochastic programming for managing water supply systems. *Environmental Modelling & Software*, 41, 53-64. http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.006.

Huang, G. H., & Loucks, D. P. (2000). An inexact two-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. *Civil Engineering Systems*, 17(2), 95-118.

Jiménez, B., Drechsel, P., Koné, D., Bahri, A., Raschid-Sally, L., & Qadir, M. (2010). Wastewater, sludge and excreta use in developing countries: an overview. Wastewater irrigation and health: assessing and mitigating risk in low-income countries, 3-29. https://dx.doi.org/10.4324/9781849774666.

Jury, W.A., Gardner, W.R., and Gardner, W.H. (1991). Soil Physics. John Wiley and Sons, Inc. New York, New York.

Khosh Akhlaq, R. & Shahraki, J. (2002). Estimation of domestic water demand function in Zahedan

city. doctoral dissertation, Faculty of Administrative and Economic Sciences, University of Isfahan (In Persian).

Meng, C., Wang, X., & Li, Y. (2018). An optimization model for water management based on water resources and environmental carrying capacities: A case study of the Yinma River Basin, Northeast China. *Water*, 10(5), 565. https://doi.org/10.3390/w10050565.

Meng, C., Li, W., Cheng, R., & Zhou, S. (2021). An Improved Inexact Two-Stage Stochastic with Downside Risk-Control Programming Model for Water Resource Allocation under the Dual Constraints of Water Pollution and Water Scarcity in Northern China. *Water*, 13(9), 1318. https://doi.org/10.3390/w13091318.

Metcalf, E., Asano, T., Burton, F., Leverenz, H., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). Water reuse: Issues, technologies, and applications. McGraw-Hill Education. https://www. acces sengi neeri nglib rary. com/conte nt/book/97800, 71459, 273.

Miloradov, M. V., Mihajlović, I., Vyviurska, O., Cacho, F., Radonić, J., Milić, N., & Spanik, I. (2014). Impact of wastewater discharges to Danube surface water pollution by emerging and priority pollutants in the vicinity of Novi sad, *Serbia. Fresenius Environ. Bull*, 23, 2137-2145.

Mula, J., Poler, R., & Garcia, J. P. (2006). MRP with flexible constraints: A fuzzy mathematical programming approach. *Fuzzy sets and systems*, 157(1), 74-97. https://doi.org/10.1016/j.fss.2005.05.045.

Oron, G., Gillerman, L., Bick, A., Mnaor, Y., Buriakovsky, N., & Hagin, J. (2007). Advanced low quality waters treatment for unrestricted use purposes: imminent challenges. *Desalination*, 213(1-3), 189-198.

Papi, A., Pishvaee, M., Jabbarzadeh, A., & Ghaderi, S. F. (2018). Robust optimal crude oil supply chain planning and oilfield development under uncertainty: case study of the national Iranian South Oil company. Quarterly energy economics review, 14(58), 27-64 (in Persian). http://iiesj.ir/article-1-1008-en.html.

Pishvaee, M. S., Razmi, J., & Torabi, S. A. (2012). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. *Fuzzy sets and systems*, 206, 1-20. https://doi.org/10.1016/j.fss.2012.04.010.

Qadir, M., & Scott, C. A. (2010). Non-pathogenic trade-offs of wastewater irrigation. *astewater Irrigation*, 101. https://dx.doi.org/10.4324/9781849774666.

Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., Minhas, P. S., Drechsel, P., Bahri, A., ... & van der Hoek, W. (2007). Agricultural use of marginal-quality water: Opportunities and challenges.

Rahman, A., Mojid, M. A., & Monika, I. A. (2017). Evaluation of CERES-Wheat model for wastewater irrigation and fertilizer interactions in wheat cultivation. In 2017 ASABE Annual International Meeting (p. 1).

American Society of Agricultural and Biological Engineers. https://dx.doi.org/10.13031/aim.201701174.

Ranjbar, Sakineh, & Maleksaedi, H. (2019). Identification of determinant factors of irrigation using water wells and untreated wastewater among vegetable farmers in the Sanandaj County. IRANIAN JOURNAL OF AGRICUTURAL ECONOMICS AND DEVELOPMENT RESEARCH, 50(2), 383-395. https://sid.ir/paper/396714/en

Sabohi, M. & Nobakht, M. (2008) Estimation of the water demand function of the new city of Pardis. Water and Wastewater, 2: 69-74 (in Persian).

Scheierling, S. M., Bartone, C., Mara, D. D., & Drechsel, P. (2010). Improving wastewater use in agriculture: An emerging priority. World Bank Policy Research Working Paper, (5412).

Scott, C. A., Faruqui, N. I., & Raschid-Sally, L. (2004). Wastewater use in irrigated agriculture: management challenges in developing countries. Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities, CABI Publishing, Wallingford, UK, pp1–10. https://dx.doi.org/10.1079/9780851998237.0001

Sun, J., Chen, Y., Zhang, Z., Wang, P., Song, X., Wei, X., & Feng, B. (2015). The spatio-temporal variations of surface water quality in China during the “Eleventh Five-Year Plan”.

Environmental monitoring and assessment, 187(3), 1-12. https://doi.org/10.1007/s10661-015-4278-z.

Thomas, G. W., & McMahon, M. (1972). The relation between soil characteristics, water movement and nitrate contamination of ground water.

Torabi, S. A., & Hassini, E. (2008). An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy sets and systems*, 159(2), 193-214. https://doi.org/10.1016/j.fss.2007.08.010.

Wang, X., Yang, H., Cai, Y., Yu, C., & Yue, W. (2016). Identification of optimal strategies for agricultural nonpoint source management in Ulansuhai Nur watershed of Inner Mongolia, China. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 30(1), 137-153. https://doi.org/10.1007/s00477-015-1043-3.

Winpenny, J., Heinz, I., Koo-Oshima, S., Salgot, M., Collado, J., Hernandez, F., & Torricelli, R. (2010). The wealth of waste: the economics of wastewater use in agriculture. *Water Reports*, (35).

Xia, J., Qiu, B., & Li, Y. (2012). Water resources vulnerability and adaptive management in the Huang, Huai and Hai river basins of China. *Water International*, *37*(5), 523-536. https://doi.org/10.1080/02508060.2012.724649.

Xie, Y. L., Huang, G. H., Li, W., Li, J. B., & Li, Y. F. (2013). An inexact two-stage stochastic programming model for water resources management in Nansihu Lake Basin, China. *Journal of environmental management*, 127, 188-205. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.04.027.

Xie, Y. L., & Huang, G. H. (2014). Development of an inexact two-stage stochastic model with downside risk control for water quality management and decision analysis under uncertainty. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 28(6), 1555-1575. https://doi.org/10.1007/s00477-013-0834-7.

Xu, Y., & Qin, X. S. (2010). Agricultural effluent control under uncertainty: an inexact double-sided fuzzy chance-constrained model. *Advances in Water Resources*, 33(9), 997-1014. https://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2010.06.002.

Yazdani, S., Hosseini, S. S., Saleh, A., & Sasoli, M. R. (2014). Investigating social acceptance of crops irrigated with treated wastewater in the south of Tehran province. Iranian Journal Agricultural Economics and Development Research, 46(1), 1-11 (in Persian). https://sid.ir/paper/146411/fa

Yazdani, S., Hasanvand, M., Rafiei, H., & Saleh, I. (2021). Determining the optimal tariff for treated wastewater in the agricultural sector in the south of tehran province. Iranian Journal Agricultural Economics and Development Research, 53(2), 91-108 (in Persian). https://10.22059/ijaedr.2021.314897.668981

Yousefi, M., Banihabib, M. E., Soltani, J., & Roozbahani, A. (2018). Multi-objective particle swarm optimization model for conjunctive use of treated wastewater and groundwater. *Agricultural water management*, 208, 224-231. https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.025.

Zeng, X. T., Li, Y. P., Huang, G. H., & Liu, J. (2017). Modeling of water resources allocation and water quality management for supporting regional sustainability under uncertainty in an arid region. *Water Resources Management*, 31, 3699-3721. https://dx.doi.org/10.1007/s11269-017-1696-4.

Zhang, L., & Li, C. Y. (2014). An inexact two-stage water resources allocation model for sustainable development and management under uncertainty. *Water resources management*, 28(10), 3161-3178. https://doi.org/10.1007/s11269-014-0661-8.

Zhou, X., Huang, G. H., Zhu, H., & Yan, B. (2015). Two-stage chance-constrained fractional programming for sustainable water quality management under uncertainty. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(5), 04014074. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000470.