



Developing Fuzzy Multi-Objective Planning Model for Agricultural Water Management in Areas outside the Sefidrud Irrigation and Drainage Network by Determining Effective Precipitation

Yasaman Avarand¹, Somaye Janatrostami^{2✉}, Afshin Ashrafzadeh³, Nader Pirmoradian⁴

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Email:

yasiavarand@yahoo.com

2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Email: janatrostami@guilan.ac.ir

3. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Email:

ashrafzadeh@guilan.ac.ir

4. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Email:

npirmoradian@guilan.ac.ir

Article Info

ABSTRACT

Article type: Research Article

Article history:

Received: Apr. 12, 2022

Revised: May. 2, 2022

Accepted: May. 8, 2022

Published online: Oct. 23, 2022

Keywords:

Optimization,
Surface water,
Groundwater,
Irrigation requirement.

In this study, a fuzzy multi-objective planning model was used for the optimal allocation of irrigation water and land use under multiple uncertainties. The effect of effective rainfall for determining the irrigation requirement of cultivated crops and also the limitation of surface water and groundwater resources were taken into account in the developed model in the Talash study area, which is located outside the Sefidrud irrigation and drainage network. The study area of Talesh was divided into three irrigation areas: Astara, Talesh, and Rezvanshahr. Then, the results of the optimal model were investigated at different levels of α -cut (0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1). Allocated amounts of surface water and groundwater showed that maximum shortages occurred in June and July in Talash area, so that the shortage of Talash area in the upper and lower bounds of α -cut=0.8 was 1.7 and 2.7 times more than Astara area as well as 1.2 and 1.8 times more than Rizvanshahr area, respectively. The optimal ratio of groundwater consumption to the total allocated water in Astara, Talesh, and Rezvanshahr areas were 13.4%, 58.1%, and 28.5% respectively. Also, 100% of the allowable groundwater is consumed in most of the dry months of the year. Due to the unavailability of surface water resources to many farmers in this area, proper approaches should be given to the farmers for more access to surface water. Therefore, the results of this study could be a warning for the regional manager and planners to consider this issue in future planning to select the best decision regarding the use of the type of irrigation water resource.

Cite this article: Avarand, Y., Janatrostami, S., Ashrafzadeh, A., & Pirmoradian, N. (2022). Developing Fuzzy Multi-Objective Planning Model for Agricultural Water Management in Areas outside the Sefidrud Irrigation and Drainage Network by Determining Effective Precipitation. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (8), 1901-1920.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.346546.669331>



توسعه مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی در مدیریت آب کشاورزی نواحی خارج از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود با تعیین بارش مؤثر

یاسمن آوردن^۱، سمیه جنت‌رستمی^۲، افشین اشرف‌زاده^۳، نادر پیرمردیان^۴

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، ایمیل: yasiavarand@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، ایمیل: janatrostami@guilan.ac.ir

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، ایمیل: ashrafzadeh@guilan.ac.ir

۴. گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، ایمیل: npirmoradian@guilan.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۸/۱

واژه‌های کلیدی:

بهینه‌سازی،
آب سطحی،
آب زیرزمینی،
نیاز آبیاری.

در این مطالعه مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی برای تخصیص بهینه آب آبیاری و کاربری زمین تحت عدم قطعیت چندگانه پیشنهاد شد. در مدل توسعه یافته در این مطالعه، تاثیر میزان بارندگی مؤثر در تعیین نیاز آبیاری محصولات تحت کشت و همچنین محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی در محدوده مطالعاتی تالش، خارج از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود، در نظر گرفته شد. محدوده مطالعاتی تالش به سه ناحیه آبیاری آستارا، تالش و رضوانشهر تقسیم شد. نتایج مدل بهینه در α -cut های مختلف (صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱) مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر تخصیص یافته آب سطحی و زیرزمینی نشان داد که بیشترین مقادیر کمبودها در ماه‌های خرداد و تیر و در ناحیه تالش به وقوع می‌پیوندد، به طوری که در حد بالا و پایین α -cut=0.8 به ترتیب ۱/۷ و ۲/۷ برابر ناحیه آستارا و ۱/۲ و ۱/۸ برابر ناحیه رضوانشهر است. همچنین، نسبت مصرف آب زیرزمینی در سه ناحیه آستارا، تالش و رضوانشهر به ترتیب ۱۳/۴، ۵۸/۱ و ۲۸/۵ درصد در حالت بهینه است و در اکثر ماه‌های خشک سال ۱۰۰ درصد آب زیرزمینی مجاز مصرف می‌شود که با توجه به عدم دسترسی بسیاری از کشاورزان منطقه به منابع آب سطحی باید به دنبال روش‌هایی برای دسترسی بیشتر کشاورزان به آب سطحی بود. بنابراین نتایج این مطالعه می‌تواند هشدار برای مسئولان و برنامه ریزان منطقه باشد که در برنامه‌ریزی‌های آینده برای انتخاب بهترین تصمیم در مورد استفاده از نوع منبع آب آبیاری این مسئله را در نظر بگیرند.

استناد: آوردن، یاسمن؛ جنت‌رستمی، سمیه؛ اشرف‌زاده، افشین؛ پیرمردیان، نادر. (۱۴۰۱). توسعه مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی در مدیریت آب کشاورزی نواحی خارج از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود با تعیین بارش مؤثر. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۸)، ۱۹۲۰-۱۹۰۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.346546.669331>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

آب، یک منبع اساسی و ضروری برای ادامه حیات انسان‌ها است که از نظر اقتصادی و اجتماعی نیز نقش مهمی در زندگی دارد (Fisher *et al.*, 2017). در دهه‌های اخیر، کمبود منابع آب یکی از عواملی است که بر روی توسعه اجتماعی و اقتصادی تاثیر منفی گذاشته است (Wang *et al.*, 2017). اخیراً، تقاضای منابع آب با رشد جمعیت و توسعه سریع سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی به‌طور فزاینده‌ای افزایش یافته است، در حالی که به دلیل پدیده تغییر اقلیم، کمبود منابع آب نیز افزایش یافته است (Ren *et al.*, 2016). بهینه‌سازی تخصیص منابع آب برای آبیاری راه‌حل مناسبی برای حل مشکل کمبود آب است. تاکنون مطالعات زیادی در راستای بهینه‌سازی بهره‌وری منابع آب آبیاری انجام شده است. به عنوان مثال، Amin & Mohamad (2014) به منظور تهیه برنامه رها سازی آب در کانال‌های شبکه آبیاری از یک رویکرد جامع مدیریت بهینه منابع آب استفاده کردند. Garg & Dadhich (2014). یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی برای تعیین مقادیر بهینه برداشت آب و الگوی کشت تحت شرایط کمبود آب ارائه کردند. Leite *et al.* (2015). برای حداقل کردن افت عملکرد یا کاهش عملکرد محصول در شرایط کمبود آب آبیاری از یک مدل بهینه‌سازی استفاده کردند.

در مواقع کم‌آبی، تخصیص بهینه منابع آب یا بهینه‌سازی الگوی کشت منطقه می‌تواند تاثیر زیادی در تخصیص بهینه آب آبیاری داشته باشد (Li & Guo, 2015). هنگام وقوع خشکسالی‌های شدید، با وجود شرایط اقتصادی و اجتماعی یک منطقه، علی‌رغم شرایط اقتصادی و اجتماعی یک منطقه، کاهش مساحت آبیاری می‌تواند یکی از گزینه‌های مدیریتی در منطقه باشد. بنابراین، توسعه مدلی که بتواند منابع آب موجود و مساحت تحت آبیاری را به‌طور همزمان بهینه کند، ضروری است. در این راستا، Singh و Das *et al.* (2015) (2015)، با هدف حداکثر کردن سود، بهینه‌سازی مقادیر تخصیص منابع آب و زمین را با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی انجام دادند که Singh (2017) در ادامه، اثرات زیست‌محیطی زمین‌های تحت آبیاری را نیز با وارد کردن محدودیت بیلان آب زیرزمینی حداقل کرد. بهینه‌سازی تخصیص آب آبیاری و مساحت زیرکشت برنامه پیچیده‌ای است که به عوامل مختلفی نظیر اهداف دولت‌ها، مدیران منطقه‌ای و کشاورزان بستگی دارد (Davijani *et al.*, 2016). برای رفع چنین مواردی، بهتر است مدل برنامه‌ریزی منابع آب به‌صورت چندهدفه باشد تا تعامل و درگیری بین اهداف مختلف در نظر گرفته شود (Singh, 2015). در این راستا، Li & Guo (2014). برای بهینه‌سازی آب آبیاری و الگوی کشت، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه توسعه دادند که وزن هر یک از توابع هدف بر اساس قضاوت شخصی تعیین شد. Wang *et al.* (2015). با توجه به اثرات کاربری اراضی، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای تخصیص بهینه آب و زمین ارائه کردند که وزن‌های مختلف هر تابع هدف در این مدل مورد بررسی قرار نگرفت. Ren *et al.* (2017). برای بهینه‌سازی منابع آب و زمین، مدل برنامه‌ریزی چندهدفه را تحت عدم قطعیت توسعه دادند که وزن هر یک از توابع هدف بر اساس قضاوت شخصی انتخاب گردید.

از طرفی، به دلیل وجود پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناسی در سیستم‌های منابع آب، عدم قطعیت در بهینه‌سازی منابع آب اجتناب ناپذیر است. بنابراین، هنگامی که بهینه‌سازی همزمان تخصیص آب آبیاری و سطح زیر کشت با چندین عامل عدم قطعیت مواجه است، پیچیده‌تر خواهد شد. در چنین مواقعی که چندین پارامتر مؤثر در مدل بهینه‌سازی دارای عدم قطعیت و توزیع‌های احتمالاتی آن‌ها در دسترس هستند، استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی، راه‌حلی مؤثر است (Morgan *et al.*, 1993). در این راستا، مجموعه‌ای از مطالعات بهینه‌سازی وجود دارد که در آن‌ها عدم قطعیت در نظر گرفته شده است (Wang *et al.*, 2018; Zeng *et al.*, 2018). مدل برنامه‌ریزی خطی استوکستیک برای بهینه‌سازی صنعت بر اساس عدم قطعیت منابع آب توسعه یافته است که شامل برنامه‌ریزی تصادفی است (Ren *et al.*, 2013). Bekri *et al.* (2015). به منظور بهینه‌سازی تخصیص منابع آب تحت عدم قطعیت، یک مدل برنامه‌ریزی خطی استوکستیک دو مرحله‌ای با فواصل مرزی قطعی توسعه دادند. Baradaran Sirjani *et al.* (2014). در بخش مرکزی شهرستان مشهد برای تدوین الگوی بهینه کشت از مدل برنامه‌ریزی خطی فازی-استوکستیک را با توجه به مقادیر بارش مؤثر، برای تخصیص بهینه آب و زمین توسعه دادند. کردن سود خالص، مدل بهینه‌سازی فازی-استوکستیک را با توجه به مقادیر بارش مؤثر، برای تخصیص بهینه آب و زمین توسعه دادند. Khandelwal & Dhiman (2018). برای بهینه‌سازی منابع آب و زمین، با ترکیب برنامه‌ریزی خطی قطعی و برنامه‌ریزی تصادفی، یک مدل تخصیص بهینه ارائه کردند. Rastegaripour (2020). برای بهینه‌سازی تخصیص آب سد لتیان از مدل تصادفی فازی استفاده کردند. Mazandarani zadeh *et al.* (2021). در شبکه آبیاری دشت قزوین، برای بهینه‌سازی تخصیص آب در بخش کشاورزی از مدل بهینه‌سازی چندهدفه فازی با هدف افزایش درآمد و عدالت استفاده کردند.

در اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه، تنها یک عدم قطعیت مورد بررسی قرار گرفته و مطالعات کمی وجود دارد که در آن‌ها بهینه‌سازی همزمان آب آبیاری و الگوی کشت به صورت چندهدفه و تحت چندین عدم قطعیت انجام شده باشد. Ren *et al.* (2019).

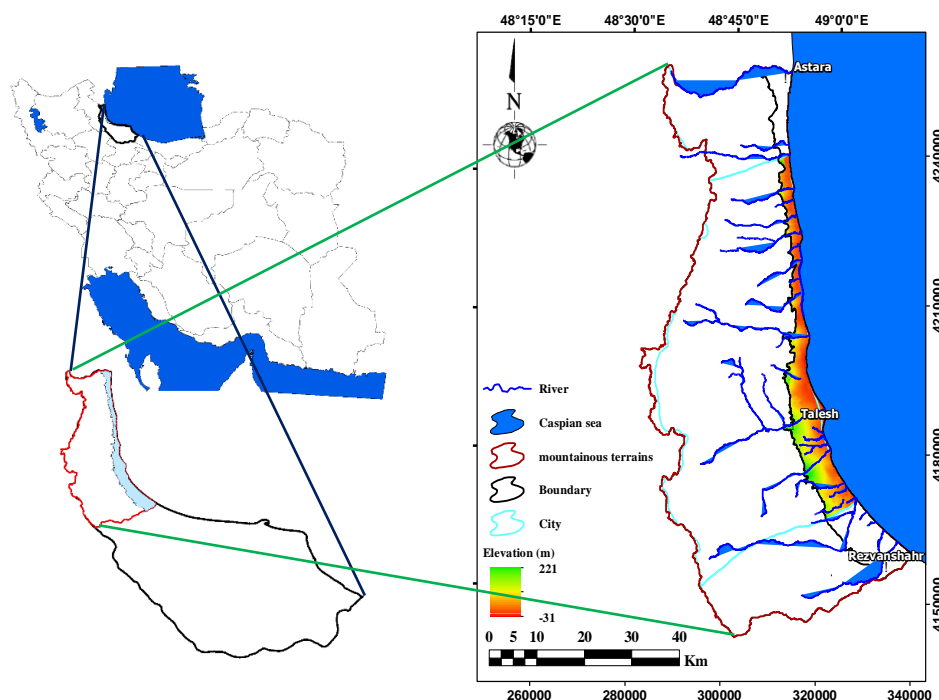
برای بهینه‌سازی آب آبیاری و زمین، مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی را تحت چندین عدم قطعیت توسعه دادند. (Wang et al. (2018)، استفاده از روش برنامه‌ریزی فازی، مدیریت تلفیقی منابع آب را تحت چندین عدم قطعیت توسعه دادند. (Sun et al. (2019)، اثرات بهره‌وری آبیاری را در مدیریت رابطه پیوندی زمین و آب کشاورزی تحت چندین عدم قطعیت در حوضه آمودریا واقع در آسیای مرکزی بررسی کردند.

با وجود منابع آبی فراوان و کافی در استان گیلان، یکی از مسائل مهم استان در سال‌های اخیر مشکل کم‌آبی در فصل زراعی است. این مسئله در اراضی خارج از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود دارای شدت بیشتری است. به طور کلی، حدود ۶۶ هزار هکتار از اراضی شالیزارهای استان گیلان در خارج از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود واقع شده است که آب مورد نیاز آن‌ها از طریق منابع آب داخلی استان شامل، رودخانه‌های داخلی، آب‌بندان‌ها و منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود. بنابراین بارش‌های به‌هنگام در فصل کشت همراه با منابع آب داخلی نقش مهمی در تامین نیازهای آبی اراضی خارج از شبکه دارد. با توجه به کاهش بارش در طول فصل کشت و همچنین کاهش دبی رودخانه‌های داخلی استان ضرورت مدیریت بهینه مصرف آب در بخش کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به موارد ذکر شده، در این مطالعه، مدلی برای محدوده مطالعاتی تالش که در خارج از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود و غرب استان گیلان واقع شده، توسعه داده شد که در آن الگوی کشت و مقادیر برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی به صورت همزمان، با توجه به بارش‌های مؤثر تحت چندین عدم قطعیت مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به چندین هدف و عدم قطعیت، در توسعه مدل بهینه‌سازی از روش مجموعه‌های فازی استفاده شد. در نهایت، مجموعه‌ای از طرح‌های بهینه تحت عدم قطعیت‌های مختلف به برنامه‌ریزان منابع آب ارائه می‌شود که نقش مهمی در تصمیم‌گیری منطقه‌ای دارد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تالش شامل سه شهرستان آستارا، تالش و رضوانشهر در شمال ایران و شمال غرب استان گیلان واقع شده است. این محدوده بین رودخانه‌های آستارا چای و سفارود قرار دارد، مساحت آن برابر $3206/7$ کیلومترمربع است که وسعت ناحیه دشتی محدوده مطالعاتی تالش $487/9$ کیلومترمربع و مابقی به مقدار $2718/8$ کیلومترمربع مربوط به ارتفاعات می‌باشد. بیشترین ارتفاع این محدوده مطالعاتی 3290 و کمترین آن 25 - متر است. در این محدوده به دلیل وجود عامل رطوبتی دریای خزر و تاثیر به‌سزای آن، مقدار بارش سالانه از نوار ساحلی تا بخش‌های مرتفع حوضه با زیاد شدن ارتفاع رو به کاهش می‌رود. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات موردنیاز

همانطور که ذکر شد، محدوده مطالعاتی تالش در تقسیم‌بندی مرزهای سیاسی کشور شامل سه شهرستان آستارا، تالش و رضوانشهر است که با بررسی سطح زیرکشت هر یک از سه ناحیه مورد مطالعه، سه محصول برنج، کیوی و هندوانه انتخاب شد که در جدول ۱ علاوه بر سطح زیرکشت کل محصولات منطقه، سطح زیرکشت هر یک از محصولات در نواحی مورد بررسی آورده شده است.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به سطح زیرکشت

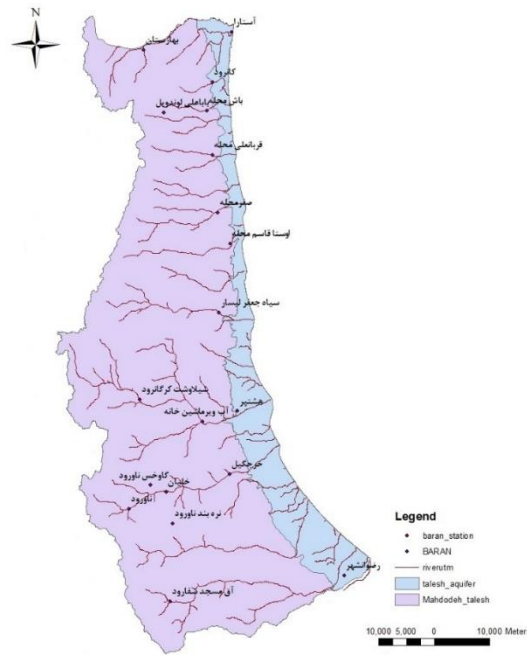
ناحیه آبیاری	کل سطح زیرکشت (ha)	سطح زیرکشت (ha)		
		برنج	کیوی	هندوانه
آستارا	۶۵۴۹/۹	۳۲۰۰	۴۹۵	۴/۷۲
تالش	۲۸۳۶۴/۱	۱۵۹۸۰	۲۸۲۰	۲۵۰
رضوانشهر	۱۳۸۷۶/۱	۱۰۰۳۹	۱۷۸	۶۵

اطلاعات هواشناسی منطقه با بهره‌گیری از آمار ثبت شده در دو ایستگاه سینوپتیک آستارا و تالش و هفت ایستگاه باران‌سنجی معمولی تحت پوشش سازمان هواشناسی کشور به‌دست آمد. با توجه به پراکنش ایستگاه‌ها در سه ناحیه مورد بررسی در این مطالعه، با استفاده از روش پهنه‌بندی مساحتی از ایستگاه سینوپتیک آستارا برای ناحیه آبیاری آستارا و از ایستگاه سینوپتیک تالش برای محدوده تالش استفاده شد. به دلیل نبود ایستگاه سینوپتیک در محدوده ناحیه رضوانشهر از نزدیکترین ایستگاه سینوپتیک (ایستگاه تالش) برای این ناحیه نیز استفاده شد. در مورد انتخاب ایستگاه‌های باران‌سنجی هر ناحیه نیز از روش پهنه‌بندی مساحتی استفاده شد. علاوه بر راندمان آبیاری هر یک از محصولات منتخب، مقادیر هزینه‌ها و درآمد تولید هر یک از محصولات در جدول ۲ آورده شده است. شایان ذکر است که اطلاعات مربوط به راندمان آبیاری شالیزارهای برنج با توجه به مطالعات (Pirmoradian & Davatgar, 2019) و راندمان آبیاری کیوی و هندوانه با توجه به کتابچه راندمان‌های آبیاری که توسط کمیته ملی آبیاری و زهکشی منتشر شده، استخراج شده است.

جدول ۲- داده‌های اولیه مربوط به محصولات منتخب در این مطالعه

محصول	هزینه تولید (میلیون ریال بر هکتار)	درآمد حاصل از فروش (میلیون ریال بر هکتار)	راندمان آبیاری (درصد)
برنج	۴۷/۱	۱۸۲/۸	۵۸/۳
کیوی	۵۶۲/۰	۱۱۱۶/۰	۸۰
هندوانه	۱۰۶/۶	۴۱۱/۲	۵۰/۳

نیاز آبی اراضی تحت کشاورزی سه ناحیه آبیاری مورد بررسی در این مطالعه از طریق منابع آب سطحی و زیرزمینی تامین می‌شود. منابع آب سطحی این منطقه از طریق رودخانه‌های محلی، آب‌بندان‌ها و چشمه‌ها تامین می‌شود و منابع آب زیرزمینی از طریق پمپاژ از چاه‌های حفر شده در منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای محاسبه حجم آب رودخانه‌های موجود در هر ناحیه آبیاری، با توجه به نقشه موقعیت رودخانه‌ها و پراکندگی ایستگاه‌های هیدرومتری در محدوده مطالعاتی تالش (شکل ۲)، از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری خان-خیاطی، باش محله و کانرود بالا برای ناحیه آبیاری آستارا، داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری قربانعلی محله، چوبر بالا محله، صفرمحله، اوستا قاسم آباد، آشیک آغاسی، زر می، ماشین خانه، خلیان و کله سرا برای ناحیه آبیاری تالش و از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری پونل و آب ویربالا برای ناحیه آبیاری رضوانشهر استفاده شد. در ادامه، برای محاسبه حجم آب قابل دسترس برای مصارف مختلف موجود در هر یک از نواحی، حجم آب هر یک از رودخانه‌ها محاسبه و با کسر آن از نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها، حجم آب سطحی در دسترس محاسبه شد. برای محاسبه مقادیر نیاز زیست‌محیطی روش‌های زیادی وجود دارد که پرکاربردترین آن‌ها روش تنانت یا روش مونتانا (Tennant, 1976) است که در این مطالعه نیز از این روش استفاده شده است.



شکل ۲- نقشه موقعیت رودخانه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری

روش تحقیق

در این مطالعه، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب کشاورزی محدوده مطالعاتی تالش که خارج از محدوده شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود است، توسعه داده شد. در این مدل، مقادیر نیاز آبیاری با در نظر گرفتن مقادیر بارش مؤثر در منطقه با استفاده از برآورد تبخیر-تعرق در مدل‌های مبتنی بر بیلان آب خاک محاسبه شد. با بررسی پارامترها و داده‌های ورودی به مدل بهینه‌سازی، مقادیر حجم آب سطحی و آب زیرزمینی قابل استفاده و همچنین مقادیر نیاز آبیاری به عنوان پارامترهای با عدم قطعیت معرفی شدند که مقادیر آن‌ها با استفاده از روش مجموعه‌های فازی وارد مدل بهینه‌سازی شدند. چارچوب مدل‌سازی در این روش به گونه‌ای است که جواب‌های بهینه را در سطوح مختلف فازی ارائه می‌کند که می‌تواند راهنمای مناسبی برای تصمیم‌گیری مدیران و مسئولان در توسعه سیستم کشاورزی در آینده باشد.

برآورد تبخیر-تعرق گیاه در مدل‌های مبتنی بر بیلان آب خاک

روش‌های مختلفی برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع پیشنهاد شده است که هر کدام از نظر داده‌های مورد نیاز تا حدودی با یکدیگر تفاوت دارند. فائو در سال ۱۹۹۸، روش فائو-پنمن-مانتیت را به عنوان روش استاندارد برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع معرفی کرد. بر این اساس، در این مطالعه به منظور برآورد مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع از روش مذکور (رابطه ۱) استفاده شد.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma(C_n/T + 273)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d U_2)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، ET_0 تبخیر-تعرق مرجع استاندارد شده برای چمن سردسیری با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر برحسب میلی‌متر بر روز برای گام‌های زمانی روزانه یا میلی‌متر بر ساعت برای گام‌های زمانی ساعتی؛ R_n تابش خالص محاسبه شده در سطح گیاه بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز برای گام‌های زمانی روزانه یا مگاژول بر متر مربع بر ساعت برای گام‌های زمانی ساعتی؛ G شدت شار گرمایی در سطح خاک بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز برای گام‌های زمانی روزانه یا مگاژول بر متر مربع بر ساعت برای گام‌های زمانی ساعتی؛ T میانگین روزانه یا ساعتی دمای هوا در ارتفاع ۱.۵ تا ۲.۵ متری بر حسب درجه سلسیوس؛ U_2 میانگین روزانه یا ساعتی سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب متر بر ثانیه؛ e_s فشار بخار اشباع در ارتفاع ۱.۵ تا ۲.۵ متری بر حسب کیلوپاسکال، محاسبه شده برای گام‌های زمانی روزانه به صورت میانگین فشار بخار اشباع رخ داده در بیشینه و کمینه دمای هوا؛ e_a میانگین فشار بخار واقعی در ارتفاع ۱.۵ تا ۲.۵ متری بر حسب کیلوپاسکال؛ Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع در مقابل دما بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس؛ γ ثابت سایکرومتری بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس؛ C_n و C_d ثابت صورت و مخرج کسر که با توجه به نوع مرجع و گام زمانی محاسبات تغییر می‌کند.

بیان آب خاک در منطقه ریشه و در مقیاس مزرعه‌ای انجام می‌شود. بیان آبی روزانه با هدف برآورد کمبود در پایان روز، به صورت رابطه (۲) بیان می‌شود (Allen et al., 1998, 2007):

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P-RO)_i - I_n_i + ET_{a,i} + DP_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

$D_{r,i}$ ، تخلیه از ناحیه ریشه در پایان روز i بر حسب میلی‌متر؛ $D_{r,i-1}$ ، تخلیه از ناحیه ریشه در پایان روز قبل یعنی $i-1$ بر حسب میلی‌متر؛ P_i ، بارندگی در روز i بر حسب میلی‌متر؛ RO_i ، رواناب سطحی در روز i بر حسب میلی‌متر؛ I_n_i ، عمق خالص آبیاری در روز i که به خاک نفوذ می‌کند بر حسب میلی‌متر؛ $ET_{a,i}$ ، تبخیر-تعرق واقعی گیاه در روز i بر حسب میلی‌متر و DP_i ، آب خارج شده از ناحیه ریشه از طریق نفوذ عمقی در روز i بر حسب میلی‌متر است. در رابطه ۲، $(P-RO)_i$ ، میزان بارش مؤثر در روز i است که برای محاسبه مقدار رواناب سطحی از روابط ۳ تا ۵ استفاده می‌شود.

$$RO = \frac{(P-0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \text{if } P > 0.2S \quad \text{رابطه (۳)}$$

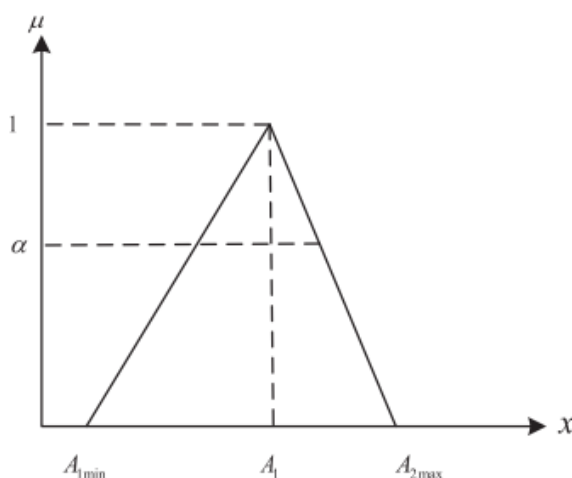
$$RO = 0 \quad \text{if } P \leq 0.2S \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{رابطه (۵)}$$

با توجه به این که مقدار S به طور نظری بین صفر تا بی‌نهایت تغییر می‌کند، بر اساس رابطه ۵ شماره منحنی (CN) می‌تواند بین ۱۰۰ تا صفر تغییر کند. مقدار CN با توجه به نوع گیاه و بافت خاک تعیین می‌شود. به این ترتیب، نیاز آبی برای سه محصول برنج، کیوی و هندوانه در بافت خاک متوسط که بافت غالب منطقه است محاسبه شد. همچنین میزان بارش مؤثر و نیاز خالص آبیاری نیز با استفاده از سامانه بومی برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی در اقلیم‌های مختلف ایران (پیرمرادیان، ۱۳۹۷) محاسبه شد.

مجموعه‌های فازی

در مطالعه حاضر برای بیان عدم قطعیت‌ها به صورت مجموعه‌های فازی، مدل بهینه‌سازی بر اساس تئوری مجموعه‌های فازی توسعه داده شد که به طور مؤثر توانایی برخورد با مسائل فازی را دارد. تابع عضویت اغلب برای رویارویی با مسائل فازی از توابع خطی مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده می‌شود. در این مطالعه از توابع خطی مثلثی استفاده شده است که با استفاده از مقادیر حد بالا، حد پایین و بیشترین مقدار ممکن، توانایی ارائه مهم‌ترین اطلاعات مربوط به یک عضو فازی را دارند. هنگامی که A یک عدد فازی با تابع عددی مثلثی باشد، بر اساس تعریفی که لی و هانگ (Li & Huang, 2011) ارائه کردند، آن را می‌توان با تعیین سه عدد بیان نمود: ۱- کمترین مقدار ممکن (A_{1min})، ۲- بیشترین مقدار ممکن (A_{2max}) و ۳- بالاترین احتمال ممکن (A_1) که همان مقدار میانگین اعداد است. سه مقدار مورد استفاده در تئوری فازی در شکل (۳) نشان شده است. برای نمایش عددی مقادیر فازی از سطوح α -cut استفاده می‌شود، با توجه به سطح α -cut، پارامتر فازی A می‌تواند یک فاصله‌ی بسته به صورت رابطه (۶) باشد. لازم به ذکر است که α -cut، مجموعه‌ای از تمام عناصر مربوط به دامنه‌ای از مجموعه اصلی با درجه عضویت α یا بزرگتر از آن است.



شکل ۳- تابع عضویت مثلثی

$$[A_{\alpha}^-, A_{\alpha}^+] = [(1-\alpha) A_{1min} + \alpha A_1, (1-\alpha) A_{2max} + \alpha A_1] \quad \text{رابطه (۶)}$$



توسعه مدل بهینه‌سازی مدیریت آب آبیاری

مدل بهینه‌سازی مدیریت آب آبیاری توسعه یافته در این مطالعه به صورت یک مدل بهینه چندهدفه شامل ۳ تابع هدف و محدودیت‌هایی می‌باشد که در ادامه به طور کامل تشریح می‌شود.

توابع هدف:

تابع هدف اول: حداکثر کردن سود اقتصادی

رابطه ۷)

$$F_1 = \max \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (P(j) - C(j)) \times A(i, j) \right]$$

تابع هدف دوم: حداقل کردن کمبود آب آبیاری

رابطه ۸)

$$F_2 = \min \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^9 \sum_{j=1}^3 de(i, j, t) - (gw(i, t) + sw(i, t)) \right]$$

تابع هدف سوم: حداکثر کردن استفاده از آب سطحی در تامین نیاز آبی با هدف تعیین اولویت بالاتر برداشت آب سطحی نسبت به

آب زیرزمینی.

رابطه ۹)

$$F_3 = \max \left[\sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^9 gw(i, t) + 2sw(i, t) \right]$$

محدودیت‌ها:

محدودیت اول: محدودیت منابع آب در دسترس

رابطه ۱۰)

$$de(i, j, t) = \frac{iw(i, j, t) * A(i, j)}{Ic(j)} + iot(i, t)$$

$$de(i, j, t) \geq (gw(i, t) + sw(i, t))$$

رابطه ۱۱)

$$sw(i, t) \leq qsw(i, t)$$

رابطه ۱۲)

محدودیت دوم: محدودیت حداکثر برداشت از منابع آب زیرزمینی برای تامین اهداف اکولوژیکی در منطقه

$$gw(i, t) \leq qgw(i, t)$$

رابطه ۱۳)

$$\left(\sum_{t=1}^9 gw(i, t) \right) \leq Tgw(i) \quad \forall i$$

رابطه ۱۴)

محدودیت سوم: محدودیت حداکثر سطح زیرکشت

رابطه ۱۵)

$$\left(\sum_{j=1}^3 A(i, j) \right) \leq TA(i) \quad \forall i$$

محدودیت چهارم: محدودیت تامین امنیت غذایی در منطقه

رابطه ۱۶)

$$A(i, j) \geq A_{\min}(i, j)$$

در روابط توابع هدف و محدودیت‌ها، i شماره نواحی آبیاری (آستارا ($i=1$), تالش ($i=2$) و رضوانشهر ($i=3$))؛ j شماره محصولات منتخب (برنج ($j=1$), کیوی ($j=2$) و هندوانه ($j=3$))؛ t شماره ماه‌های زراعی که $t=1, \dots, 9$ به ترتیب ماه‌های فروردین تا آذر را نشان می‌دهد. P و C به ترتیب درآمد و هزینه برحسب میلیون ریال بر هکتار، $de(i, t)$ نیاز آبی ناحیه i ام و در ماه‌های t ام، $gw(i, t)$ و $sw(i, t)$ به ترتیب آب زیرزمینی و آب سطحی تخصیص یافته در ناحیه i ام و در ماه‌های t ام، $qgw(i, t)$ حداکثر برداشت مجاز از آبخوان در هر ناحیه، $qsw(i, t)$ مقدار آب سطحی در دسترس در ناحیه i ام و در ماه t ؛ $iw(i, j, t)$ نیاز ناخالص آبیاری محصول j ام در ناحیه i ام و در ماه t ام، $Tgw(i)$ مجموع برداشت مجاز آبخوان در کل دوره و در هر ناحیه، $A(i, j)$ سطح زیر کشت محصول j ام در ناحیه i ام، $Ic(j)$ راندمان آبیاری محصول j ام، $iot(i, t)$ سایر نیازهای آبی در ناحیه i ام و در ماه t ام، $TA(i)$ حداکثر سطح زیر کشت برنج در هر ناحیه با توجه به محدودیت‌های موجود، $A_{\min}(i, j)$ حداقل سطح زیر کشت محصول j ام برای تامین امنیت غذایی است. لازم به ذکر است $iw(i, j, t)$ ، $qsw(i, t)$ و $qgw(i, t)$ پارامترهای دارای عدم قطعیت هستند.

برای حل مدل بهینه‌سازی چندهدفه توسعه یافته در این مطالعه، با توجه به وجود چندین پارامتر دارای عدم قطعیت در مدل

بهینه‌سازی، از رویکرد حل فازی برای تبدیل مدل بهینه‌سازی غیرقطعی به مدل قطعی استفاده شد. به دلیل خطی بودن روابط توابع هدف و محدودیت‌ها در مدل بهینه‌سازی توسعه یافته، از روش برنامه‌ریزی خطی استفاده گردید که از نرم‌افزار Lingo برای حل استفاده شد. آماده سازی پارامترها و متغیرهای دارای عدم قطعیت

همانطور که ذکر شد، پارامترها و متغیرهای دارای عدم قطعیت در مدل بهینه‌سازی توسعه یافته در این مطالعه با رویکرد مجموعه‌های فازی به صورت قطعی تبدیل شد و مدل بهینه‌سازی به صورت خطی با روش برنامه‌ریزی خطی در نرم‌افزار Lingo حل شد. با توجه به کاربرد روش فازی برای مدل‌سازی داده‌هایی که با عدم قطعیت همراه هستند، ابتدا این پارامترها به صورت مجموعه‌های فازی تعریف می‌شود. به این ترتیب، متغیرهای نیاز آبیاری، دبی مجاز برداشت آب زیرزمینی و حجم آب رودخانه‌های در دسترس برای کشاورزی به صورت مجموعه‌های فازی تبدیل شد.

در ابتدا مقادیر نیاز آبیاری به عنوان یکی از متغیرهای ورودی دارای عدم قطعیت برای یک دوره آماری ۲۵ ساله (۹۶-۱۳۷۲) به صورت مجموعه‌های فازی تعریف می‌شود. با توجه به اینکه بافت خاک غالب منطقه بافت متوسط است، پس از محاسبه مقادیر بارش مؤثر، نیاز خالص آبیاری سه محصول برنج، کیوی و هندوانه بر حسب مترمکعب بر هکتار برای خاک با بافت متوسط محاسبه شد. در جدول‌های ۳ تا ۵ نیاز خالص آبیاری محاسبه شده برای سه محصول مورد بررسی در این مطالعه و برای سه ناحیه آستارا، تالش و رضوانشهر به صورت ماهانه آورده شده است. مقادیر ارائه شده در این جدول‌ها شامل مقادیر حداکثر، میانگین و حداقل داده‌های ماهانه در ۲۵ سال آبی است. لازم به ذکر است که در مدل بهینه‌سازی توسعه یافته مقادیر نیاز ناخالص آبیاری با توجه به سطح زیرکشت و راندمان آبیاری هر یک از محصولات در هر ناحیه محاسبه می‌شود.

جدول ۳- حداکثر، میانگین و حداقل نیاز خالص آبیاری برنج به صورت ماهانه بر حسب مترمکعب بر هکتار

ماه	آستارا	تالش	رضوانشهر
اردیبهشت	[۸۹۵/۶, ۵۹۹/۵, ۴۲۲/۲]	[۷۶۹/۴, ۵۱۳/۳, ۳۴۰/۱]	[۷۲۰/۰, ۵۱۷/۹, ۳۲۵/۷]
خرداد	[۱۸۵۷/۶, ۱۴۰۵/۱, ۹۷۸/۷]	[۱۴۸۳/۴, ۱۳۴۸/۵, ۹۹۰/۲]	[۱۴۷۷/۲, ۱۲۱۷/۷, ۹۳۸/۲]
تیر	[۲۰۲۶/۵, ۱۶۱۱/۱, ۹۲۳/۶]	[۱۷۸۸/۰, ۱۳۹۸/۵, ۹۷۲/۷]	[۱۷۰۶/۸, ۱۳۴۵/۹, ۸۷۷/۹]
مرداد	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]
مجموع	[۴۷۷۹/۷, ۳۶۱۵/۷, ۲۳۲۴/۵]	[۴۰۴۰/۸, ۳۱۶۰/۳, ۲۳۰۳/۰]	[۳۹۰۴/۰, ۳۰۸۱/۵, ۲۱۴۱/۸]

جدول ۴- حداکثر، میانگین و حداقل نیاز خالص آبیاری کیوی به صورت ماهانه بر حسب مترمکعب بر هکتار

ماه	آستارا	تالش	رضوانشهر
اردیبهشت	[۱۱۹/۵, ۳۳/۷, ۰]	[۷۹/۱, ۱۰/۳, ۰]	[۱۱۷/۱, ۱۲/۱, ۰]
خرداد	[۱۳۱۷/۴, ۱۹۶/۶, ۰]	[۱۹۷/۷, ۱۵/۶, ۰]	[۰, ۰, ۰]
تیر	[۱۳۳۸/۹, ۷۰۷/۳, ۰]	[۱۳۳۰/۶, ۵۰۱/۵, ۰]	[۱۲۶۳/۴, ۳۵۰/۴, ۰]
مرداد	[۱۳۴۸/۸, ۶۹۵/۴, ۰]	[۱۰۱۴/۴, ۵۱۵/۷, ۰]	[۱۲۵۹/۸, ۳۴۹/۵, ۰]
شهریور	[۶۹۵/۵, ۱۷۶/۹, ۰]	[۹۹۸/۳, ۱۴۴/۱, ۰]	[۱۲۴۷/۸, ۱۹۸/۴, ۰]
مهر	[۴۲۵/۴, ۳۴/۰, ۰]	[۹۳/۲, ۳/۷, ۰]	[۰, ۰, ۰]
آبان	[۴۲۵/۶, ۱۷/۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]
آذر	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]
مجموع	[۵۶۷۱/۰, ۱۸۶۱/۰, ۰]	[۳۶۱۳/۳, ۱۱۹۰/۹, ۰]	[۳۸۸۸/۱, ۹۱۰/۴, ۰]

جدول ۵- حداکثر، میانگین و حداقل نیاز خالص آبیاری هندوانه به صورت ماهانه بر حسب مترمکعب بر هکتار

ماه	آستارا	تالش	رضوانشهر
فروردین	[۲۴۰/۴, ۱۱۸/۶, ۰]	[۲۰۳/۸, ۱۶۳/۳, ۲۱/۰]	[۱۶۶/۰, ۷۱/۷, ۰]
اردیبهشت	[۵۴۶/۲, ۵۸/۲, ۰]	[۲۰۰/۹, ۴۱/۵, ۰]	[۴۴۸/۹, ۴۹/۰, ۰]
خرداد	[۱۷۲۵/۸, ۸۳۵/۸, ۱۶۴/۸]	[۱۱۱۱/۳, ۷۱۶/۹, ۰]	[۸۷۱/۲, ۶۷۶/۹, ۰]
تیر	[۱۷۳۲/۰, ۱۱۲۳/۷, ۱۶۳/۶]	[۱۵۰۵/۴, ۹۱۳/۰, ۲۵۶/۶]	[۱۶۸۹/۴, ۸۱۳/۶, ۰]
مرداد	[۱۷۱۵/۶, ۱۰۲۴/۸, ۳۸۴/۶]	[۱۴۴۶/۳, ۸۱۵/۲, ۲۶۰/۵]	[۱۷۲۷/۵, ۷۴۷/۷, ۰]
شهریور	[۳۸۰/۸, ۵۳/۳, ۰]	[۲۹۷/۷, ۸۴/۲, ۰]	[۸۵۹/۵, ۱۰۱/۰, ۰]
مهر	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]
مجموع	[۶۳۳۰/۷, ۳۲۱۴/۳, ۷۱۲/۹]	[۴۷۶۵/۴, ۲۶۵۷/۱, ۵۳۸/۲]	[۵۷۶۲/۵, ۲۴۵۹/۹, ۰]



از آن جا که علاوه بر محصولات منتخب، محصولات دیگری نیز در نواحی مورد مطالعه نیاز به آبیاری دارند نیاز خالص آبیاری آن‌ها تعیین و با در نظر گرفتن راندمان آبیاری ۵۰/۳ درصد و سطح زیرکشت این محصولات، نیاز ناخالص آبیاری سایر محصولات بر حسب میلیون مترمکعب محاسبه شد که نتایج در قالب جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶- نیاز ناخالص آبیاری سایر محصولات در نواحی آبیاری به صورت ماهانه و بر حسب میلیون مترمکعب

ناحیه آبیاری	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
آستارا	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۷۳	۰/۹۳	۰/۵۷	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
تالش	۰/۳۸	۱/۰۹	۲/۲۶	۲/۷۷	۲/۰۹	۰/۹۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
رضوانشهر	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

براساس گزارش بیلان منابع و مصارف در منطقه مورد مطالعه، حدود ۲۰٪ آب سطحی منطقه صرف نیاز کشاورزی و آبی‌پروری در ارتفاعات می‌شود. از آن جا که محدوده مورد بررسی در این مطالعه محدوده دشت بوده و موقعیت برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری در محدوده ارتفاعات است، در محاسبه نیازهای آبیاری این نیاز آبیاری نیز در نظر گرفته شد که توسط آب‌های سطحی تامین می‌شود. در ادامه، با بررسی ماهانه آب زیرزمینی در طی سال‌های آبی ۷۱-۱۳۷۰ تا ۹۶-۱۳۹۵، با توجه به میزان افت سطح آب زیرزمینی در این سال‌ها و حد مجاز برداشت، مقادیر ماهانه آب زیرزمینی به صورت جدول ۷ محاسبه شد. لازم به ذکر است که این مقادیر با کسر مصارف شرب و صنعت در این سال‌ها به دست آمده است.

برای محاسبه مقادیر حجم آب سطحی در دسترس، مقادیر دبی آب‌های سطحی با در نظر گرفتن دبی درازمدت از سال آبی ۶۴-۱۳۶۳ تا سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ (۳۳ سال) رودخانه‌های مربوط به هر ناحیه آبیاری و پس از محاسبه نیاز زیست‌محیطی و کسر آن از دبی رودخانه‌ها به دست می‌آید. مجموع مقادیر مربوط به آب سطحی هر یک از نواحی به صورت جدول ۸ آورده شده است. لازم به ذکر است که مقادیر به دست آمده در این جدول با کسر نیاز شرب و صنعت و همچنین آبی‌پروری محاسبه شد.

جدول ۷- حداکثر، میانگین و حداقل مقادیر برداشت مجاز آب زیرزمینی به صورت ماهانه بر حسب میلیون مترمکعب در طول دوره آماری

ماه	آستارا	تالش	رضوانشهر
فروردین	[۰/۲۶, ۰/۱۶, ۰/۰۲]	[۱/۰۵, ۰/۶۵, ۰/۰۸]	[۰/۴۸, ۰/۳۰, ۰/۰۴]
اردیبهشت	[۱/۶۱, ۰/۹۹, ۰/۱۳]	[۶/۰۴, ۳/۷۳, ۰/۴۷]	[۲/۸۸, ۱/۷۸, ۰/۲۲]
خرداد	[۳/۵۸, ۲/۲۱, ۰/۲۸]	[۱۶/۱۹, ۱۰/۰۱, ۱/۲۶]	[۷/۹۷, ۴/۹۳, ۰/۶۲]
تیر	[۷/۲۶, ۴/۴۹, ۰/۵۷]	[۲۹/۳۹, ۱۸/۱۷, ۲/۲۹]	[۱۳/۷۵, ۸/۵۰, ۱/۰۷]
مرداد	[۳/۵۷, ۲/۲۱, ۰/۲۸]	[۱۳/۸۷, ۸/۵۸, ۱/۰۸]	[۶/۸۵, ۴/۲۴, ۰/۵۳]
شهریور	[۱/۱۴, ۰/۷۰, ۰/۰۹]	[۸/۸۷, ۵/۴۸, ۰/۶۹]	[۴/۹۷, ۳/۰۷, ۰/۳۹]
مهر	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]
آبان	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]
آذر	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰]
مجموع	[۱۷/۴۱, ۱۰/۷۶, ۱/۳۶]	[۷۵/۴۱, ۴۶/۶۲, ۵/۸۸]	[۳۶/۸۹, ۲۲/۸۱, ۲/۸۸]

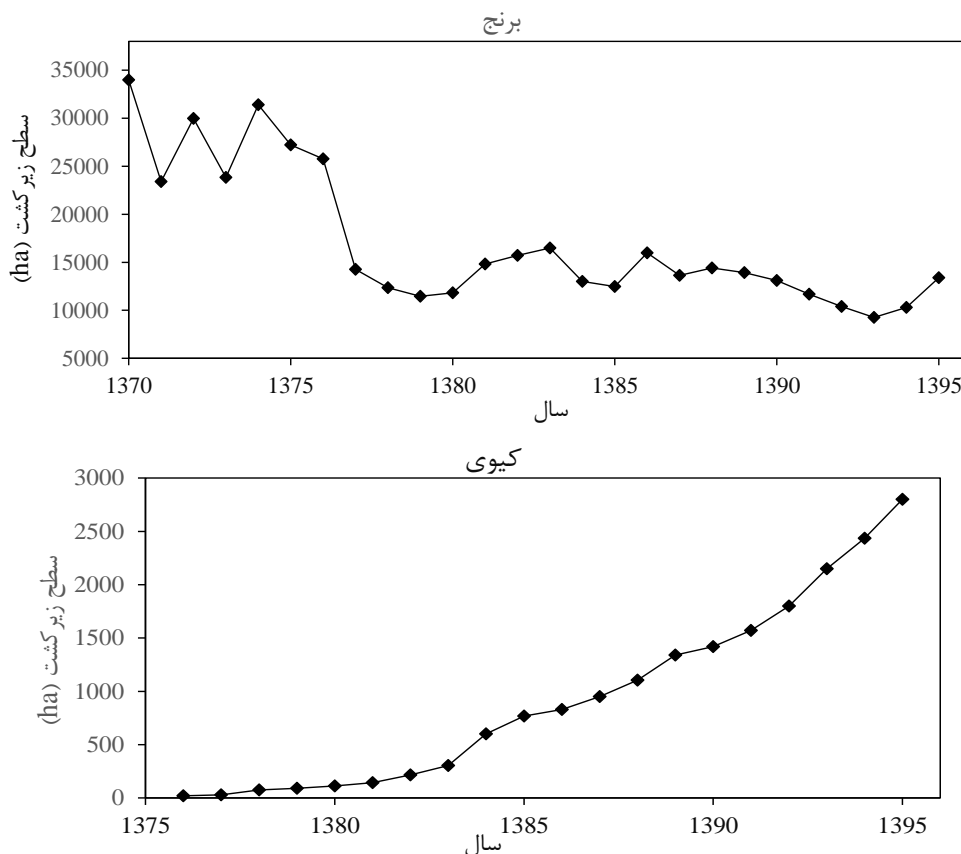
جدول ۸- حداکثر، میانگین و حداقل مقادیر حجم در دسترس آب سطحی به صورت ماهانه بر حسب میلیون مترمکعب در طول دوره آماری

ماه	آستارا	تالش	رضوانشهر
فروردین	[۱۳/۰۹, ۸/۲۶, ۲/۲۷]	[۱۰۷/۶۹, ۶۱/۷۳, ۲۲/۹۴]	[۴۸/۱۴, ۳۴/۶۲, ۹/۷۵]
اردیبهشت	[۱۲/۴۴, ۵/۲۵, ۱/۲۳]	[۱۲۳/۱۲, ۵۰/۹۰, ۱۵/۳۹]	[۳۶/۰۳, ۱۷/۰۵, ۵/۸۶]
خرداد	[۱۱/۶۰, ۲/۷۹, ۰/۷۸]	[۴۶/۷۸, ۲۳/۹۱, ۹/۴۰]	[۱۶/۳۰, ۹/۲۵, ۳/۸۸]
تیر	[۱۰/۲۰, ۲/۷۲, ۰/۹۳]	[۵۵/۴۳, ۱۷/۹۹, ۸/۴۷]	[۱۶/۳۹, ۸/۱۸, ۳/۹۸]
مرداد	[۹/۳۴, ۲/۸۸, ۰/۸۷]	[۲۳/۳۳, ۱۵/۲۸, ۷/۰۵]	[۳۳/۰۶, ۶/۶۵, ۳/۴۹]
شهریور	[۳۸/۴۴, ۱۳/۳۸, ۲/۲۰]	[۱۱۶/۷۹, ۳۷/۱۶, ۹/۱۸]	[۲۴/۶۲, ۱۰/۶۶, ۳/۳۰]
مهر	[۵۳/۸۹, ۲۲/۸۱, ۲/۲۸]	[۱۴۸/۵۳, ۶۳/۸۴, ۱۹/۳۶]	[۴۸/۴۸, ۱۹/۵۸, ۵/۹۶]
آبان	[۳۶/۲۸, ۱۸/۷۳, ۳/۸۸]	[۱۲۱/۷۵, ۶۴/۷۲, ۱۸/۵۵]	[۴۸/۶۱, ۳۵/۴۲, ۶/۶۶]
آذر	[۲۵/۲۹, ۱۱/۶۸, ۴/۳۱]	[۱۰۶/۳۵, ۴۷/۵۸, ۱۶/۷۸]	[۴۷/۴۱, ۱۹/۳۳, ۵/۱۷]

سطح زیرکشت فعلی سه محصول برنج، کیوی و هندوانه در جدول ۱ آورده شده است. برای انتخاب حد بالا و پایین سطح زیرکشت این محصولات در مدل برنامه‌ریزی توسعه یافته در این مطالعه، ابتدا وضعیت تغییرات فعلی سطح زیرکشت هریک از محصولات مورد بررسی قرار گرفت.

با وجود اینکه کشت محصول برنج طاقت فرسا است، هزینه تمام شده آن برای کشاورزی بالاست و در نهایت درآمد قابل ملاحظه‌ای برای کشاورز ندارد. این در حالی است که بالا بودن میانگین سنی شالیکاران، دانش کم فنی، یکپارچه نبودن اراضی، محدودیت‌های فصلی آب و هوایی و همچنین واردات بی‌رویه این محصول، شالیکاران را در برابر رقابت خارجی دچار تردید یا ضعف کرده و آن‌ها را نسبت به تغییر کاربری اراضی و کشت محصولاتی که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر هستند ترغیب کرده است. این مسئله به خصوص در غرب استان گیلان، به دلیل اینکه خارج از شبکه آبیاری و زهکشی واقع شده است و آب آبیاری به راحتی در دسترس کشاورزان قرار نمی‌گیرد، چالش برانگیزتر شده است. به طور کلی، کاهش سطح زیرکشت محصولات زراعی و افزایش جمعیت دنیا، برنج را که از مهمترین غلات دنیاست و جزء غذای اصلی کشورهای کمتر توسعه یافته محسوب می‌شود، با چالش بزرگی مواجه کرده است و این مسئله نقش اساسی آن را در امنیت غذایی کشورها بیشتر نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که نبود امنیت غذایی، جنبه‌های سیاسی، فرهنگی و اجتماعی کشورها را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

کیوی یکی از محصولاتی است که کشاورزان زیادی در استان گیلان شالیزارهای خود را به باغات کیوی تبدیل کردند. روند تغییرات سطح زیر کشت برنج و کیوی از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶ در ناحیه تالش در شکل ۴ به عنوان نمونه آورده شده است. همانطور که در این شکل نیز مشاهده می‌شود روند تغییرات به حدی بوده که در حال حاضر این استان رتبه دوم تولید کیوی را در کشور دارد. بازدهی زود هنگام، فراوانی محصول در سال سوم کشت، هزینه کم و قیمت مناسب آن از مهم‌ترین دلایل ترجیح کشاورزان به کشت محصول کیوی است. با توجه به دلایل ذکر شده، کشت برنج با چرخه اقتصادی و اجتماعی منطقه مورد مطالعه پیوند خورده است. اگرچه به جز استان‌های گیلان و مازندران در استان‌های بسیاری نیز در کشور کشت برنج رواج دارد اما به دلیل کاهش بارندگی‌ها و کمبود منابع آبی در استان‌های غیر شمالی کشور، سیاست تغییر الگوی کشت برنج مورد استقبال قرار گرفته است. به طوری که، حدود زیادی از این شالیزارها تغییر کاربری یافته است.



شکل ۴- مقایسه سطح زیرکشت برنج و کیوی در ناحیه تالش بر حسب هکتار

اگرچه توسعه کشت کیوی برای کشاورزان این منطقه مقرون به صرفه است اما با توجه به اهمیت رواج کشت و زرع در منطقه بهتر است با حمایت از شالیکاران برای تولید برنج، آن‌ها را به ماندن در شالیزارها و تولید برنج تشویق کنند. با توجه به موارد ذکر شده و سطح زیرکشت هر کدام از نواحی سه‌گانه مورد بررسی در این مطالعه، حداقل سطح زیرکشت برنج، مساحت زیر کشت فعلی در نظر گرفته شد. حد بالای هر یک از محصولات با توجه به سطح زیرکشت قابل دسترس در هر یک از نواحی تعیین شد.

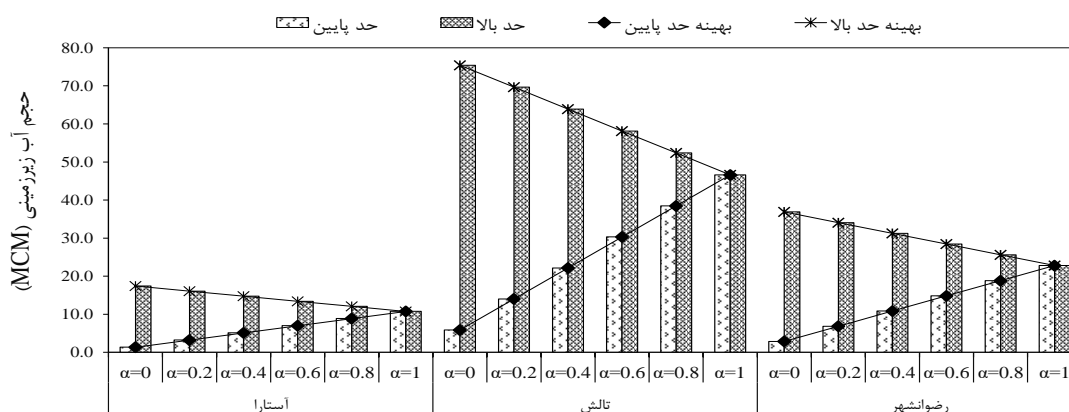
نتایج و بحث

سطح زیرکشت هر یک از محصولات منتخب در هر یک از نواحی آبیاری، یکی از متغیرهای تصمیم در مطالعه حاضر بوده است. با توجه به اینکه این متغیر تصمیم به صورت یک متغیر قطعی بوده و حدود بالا و پایین آن در شرایط مختلف مدل بهینه‌سازی تغییری نکرده است، مقادیر بهینه آن در جدول ۹ آورده شده است. مقادیر سطح زیرکشت به دست آمده در نواحی مورد مطالعه نشان داد که حداقل سطح زیرکشت برنج با توجه به سود پایین این محصول نسبت به کیوی برای تامین هدف امنیت غذایی در منطقه مورد مطالعه، همان سطح زیرکشت فعلی به دست آمد. به دلیل بالاتر بودن سود اقتصادی کیوی نسبت به هندوانه، بهینه مقادیر سطح زیرکشت کیوی در هر سه ناحیه افزایش یافته و سطح زیرکشت هندوانه کاهش یافته است.

همان‌طور که در بخش‌های قبلی ذکر شد، علاوه بر تعیین سطح زیرکشت، سهم آب سطحی و زیرزمینی در تخصیص بهینه آب آبیاری از اهداف مدل توسعه یافته در این مطالعه بوده است. در استفاده از رویکرد فازی در حل مدل بهینه‌سازی توسعه یافته با چندین عدم قطعیت، ابتدا پارامترها و متغیرهایی که دارای عدم قطعیت بودند به صورت مجموعه‌های فازی بیان شد که در بخش قبل نتایج به طور کامل بررسی شد. نتایج بدست آمده از رویکرد فازی در حل مدل بهینه‌سازی در ۶ سطح α -cut، شامل صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و یک در ادامه آورده شده است. در شکل ۵، علاوه بر حد بالا و پایین برداشت مجاز آب زیرزمینی، حد بالا و پایین مقادیر برداشت بهینه از آب زیرزمینی در تامین نیازآبی سه ناحیه آستارا، تالش و رضوانشهر نشان داده شده است. مقادیر در این نمودار به صورت مجموع سالانه است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود مدل بهینه‌سازی با توجه به شرایط در دسترس بودن منابع آب سطحی و زیرزمینی در منطقه، در هر دو حالت حد پایین و بالا تقریباً حداکثر برداشت مجاز آب زیرزمینی تخصیص یافته است. در بررسی جزئی‌تر، مقدار اختلاف مقادیر بهینه تخصیص آب زیرزمینی از حد بالای مجاز برداشت آب زیرزمینی بسیار ناچیز و تقریباً صفر است. این اختلاف در شرایط حد پایین ناحیه آبیاری رضوانشهر نیز تقریباً صفر به دست آمد و برای ناحیه‌های آبیاری آستارا و تالش مقادیر بیشتری نسبت به ناحیه رضوانشهر به دست آمد. به عنوان نمونه، مقدار این اختلاف در ناحیه تالش به ترتیب ۳/۹، ۶/۵، ۹/۱، ۱۱/۶، ۱۴/۲ و ۱۶/۸ هزار مترمکعب در α -cut های صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و یک به دست آمد.

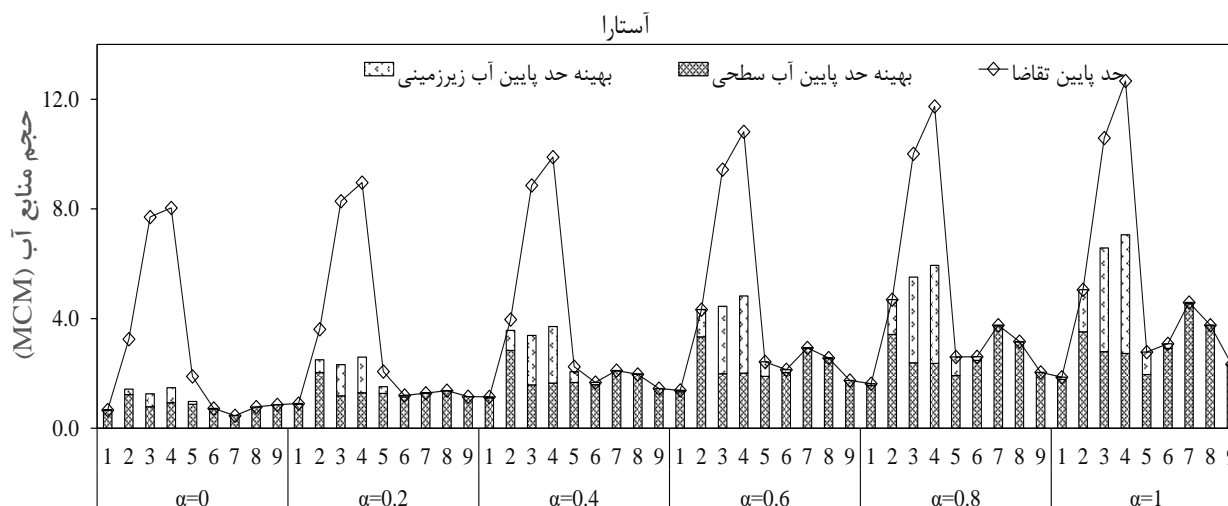
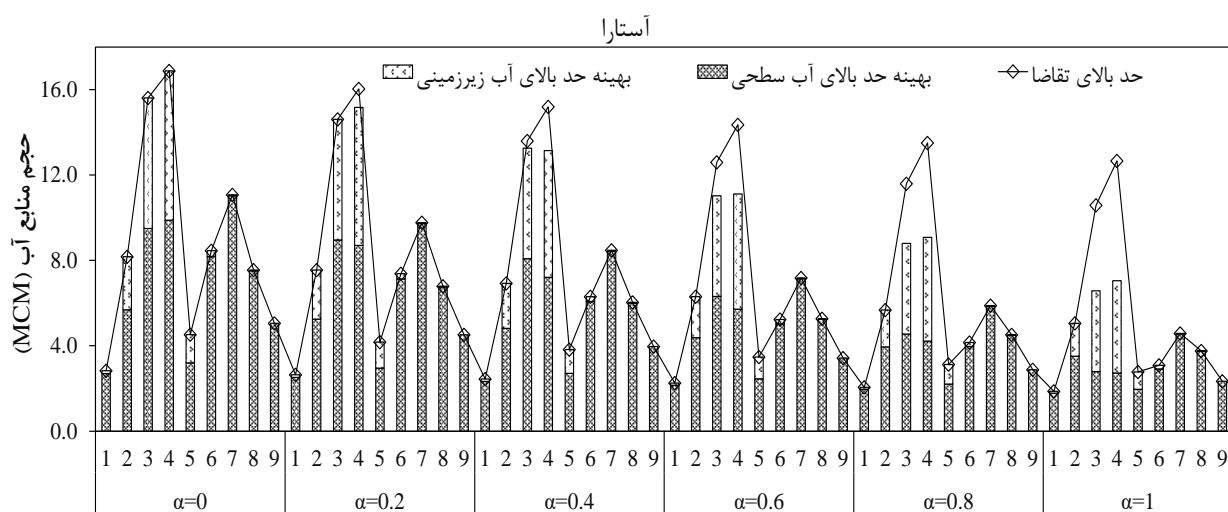
جدول ۹- مقادیر بهینه سطح زیرکشت محصولات منتخب در هر یک از نواحی آبیاری بر حسب هکتار

نواحی آبیاری	نوع محصولات		
	برنج	کیوی	هندوانه
آستارا	۳۲۰۰	۵۵۴/۷	۳/۳
تالش	۱۵۹۸۰	۲۹۹۹	۱۷۵
رضوانشهر	۱۰۰۳۹	۱۹۷/۵	۴۵/۵



شکل ۵- نتایج بهینه‌سازی حد بالا و پایین مقادیر برداشت آب زیرزمینی (MCM: میلیون مترمکعب)

در ادامه، مقادیر حد بالا و پایین میزان تقاضا، آب سطحی و آب زیرزمینی، حد بالا و پایین مقادیر بهینه برداشت آب زیرزمینی، آب سطحی و مقدار کمبود آب ناحیه تالش در α -cut های مختلف و در ماه‌های کشت محصولات مورد بررسی در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت که به عنوان نمونه این نتایج برای ناحیه تالش در جدول ۱۰ آورده شده است. با توجه به وسعت اراضی تحت آبیاری ناحیه تالش، بیشترین تقاضا مربوط به این ناحیه بوده، به طوری که میزان تقاضای ناحیه آستارا و تالش تقریباً ۲۳ و ۴۲ درصد ناحیه تالش است. بنابراین در نتایج مدل بهینه‌سازی، مقادیر کمبود آب در ناحیه تالش به دلیل بالاتر بودن تقاضای این ناحیه بیشتر از دو ناحیه دیگر بدست آمد. نتایج ارائه شده در جدول ۱۰ نشان می‌دهد که مقادیر تخصیص آب تحت چندین عدم قطعیت متفاوت است. با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول ۱۰، در حد بالا هر چه α -cut افزایش می‌یابد، مقدار تخصیص آب کاهش می‌یابد و بالعکس در حد پایین هر چه α -cut افزایش می‌یابد، مقدار تخصیص آب نیز افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده در این بخش مطابق با نتایجی است که Ren et al. (2019) در مطالعاتشان به این نتیجه رسیدند. این مسئله به دلیل تابع عضویت برنامه‌ریزی فازی است که نوع تابع عضویت در این مطالعه به صورت مثلثی است. با توجه به رابطه ۴، هر چه سطح α -cut بزرگتر باشد، احتمال وقوع یک رویداد فازی را کمتر نشان می‌دهد و بالعکس. با افزایش α -cut گسترش محدوده فازی ضعیف می‌شود. بنابراین، با بیشترین α -cut، فاصله بین مقدار حد بالا و پایین کمتر می‌شود و به عبارتی به مقدار قطعی بسیار نزدیک می‌شود. α -cut=1 بیشترین توسعه محدوده فازی را نشان می‌دهد که بیانگر این مطلب است که مقدار میانگین و انحراف استاندارد از توزیع نرمال پیروی می‌کنند، قطعی هستند. برعکس، α -cut=0 کمترین توسعه محدوده فازی را نشان می‌دهد که بیشترین فازی را نشان می‌دهد. با توجه به نکات ذکر شده، با افزایش سطح α -cut، حد پایین، افزایش و حد بالا کاهش می‌یابد تا زمانی که α -cut برابر با یک می‌شود این دو مقدار به هم می‌رسند و به مقدار قطعی نزدیک می‌شوند.

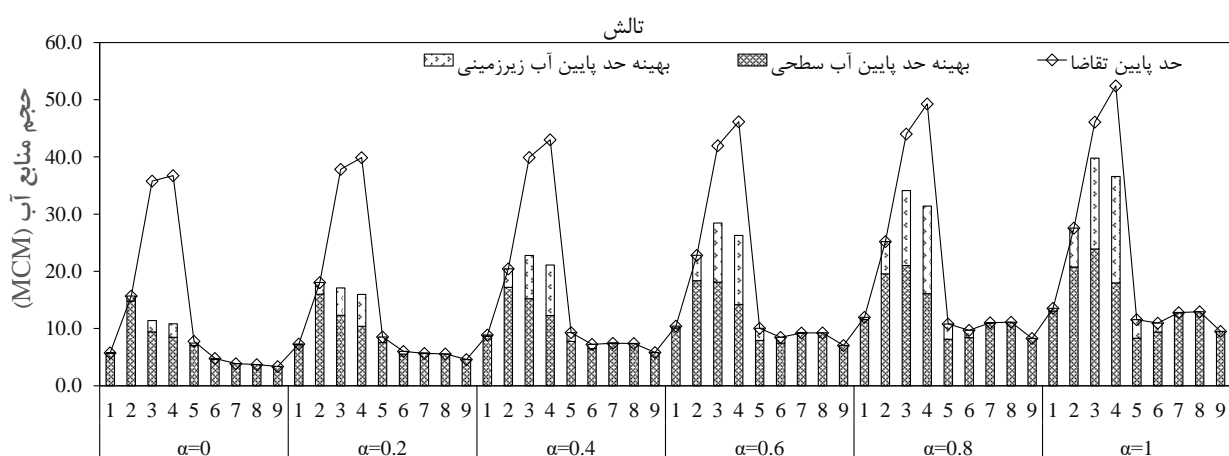
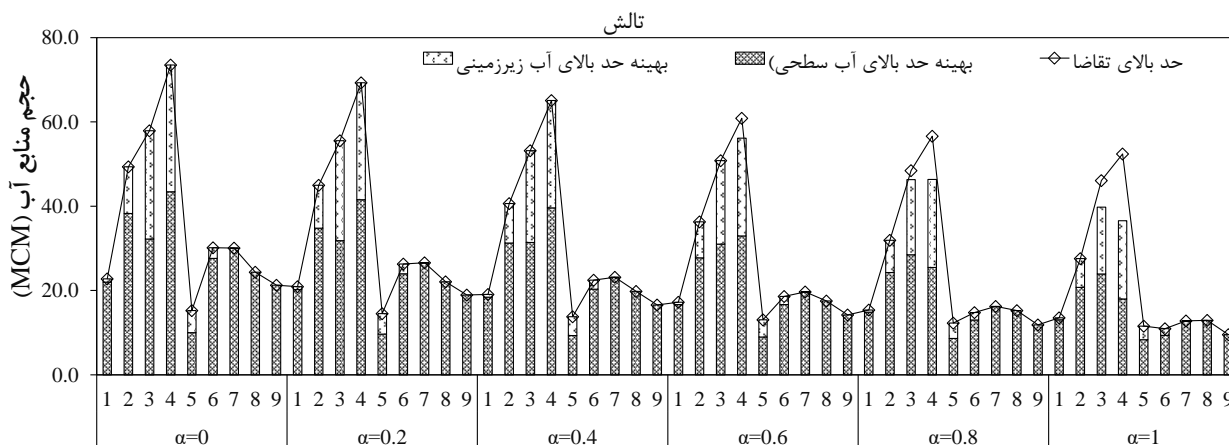


شکل ۶- مقایسه حد بالا و پایین مقادیر حجم آب سطحی و زیرزمینی در تامین نیازهای آبی در ناحیه آبیاری آستارا (MCM: میلیون مترمکعب)

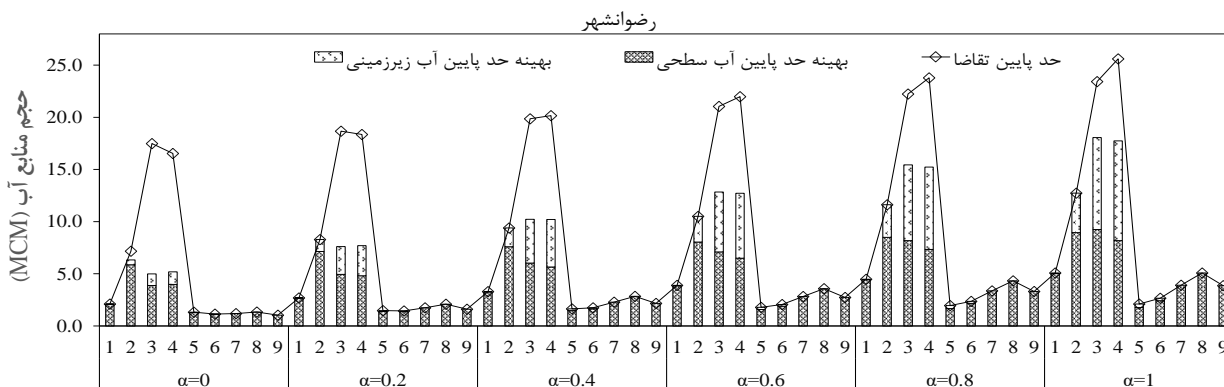
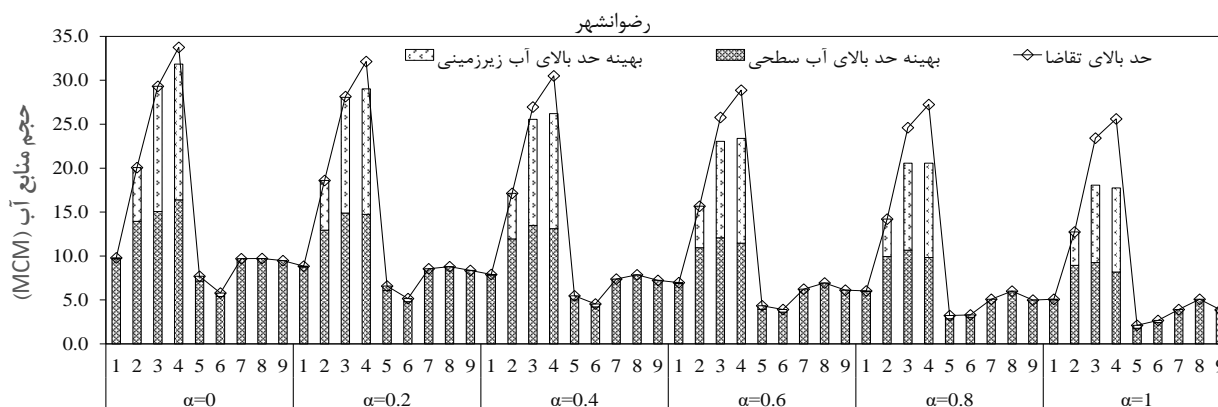


جدول ۱۰- نتایج بهینه‌سازی تخصیص آب سطحی و زیرزمینی در ناحیه آبیاری تالش برحسب میلیون مترمکعب

ماه	تقاضا			آب سطحی			آب زیرزمینی			کمبود
	حد بالا	حد پایین	حد بالا حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا حد پایین	
فروردین	۰	۲۲/۸	۵/۷	۱۰۷۷/۷	۲۲/۹	۲۲/۰	۵/۷	۰/۷	۰/۸	۰/۰
	۰/۲	۲۰/۹	۷/۳	۹۸/۵	۳۰/۷	۲۰/۲	۷/۲	۰/۷	۰/۸	۰/۰
	۰/۴	۱۹/۱	۸/۹	۸۹/۳	۳۸/۵	۱۸/۴	۸/۶	۰/۲	۰/۶	۰/۰
	۰/۶	۱۷/۲	۱۰/۴	۸۰/۱	۴۶/۲	۱۶/۶	۱۰/۱	۰/۶	۰/۳	۰/۰
	۰/۸	۱۵/۴	۱۲/۰	۷۰/۹	۵۴/۰	۱۴/۹	۱۱/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۰
	۱	۱۳/۵	۱۳/۵	۶۱/۷	۶۱/۷	۱۳/۱	۱۳/۱	۰/۵	۰/۵	۰/۰
اردیبهشت	۰	۳۹/۴	۱۵/۷	۱۳۳/۱	۱۵/۴	۳۸/۳	۱۴/۸	۱۱/۱	۰/۹	۰/۰
	۰/۲	۴۵/۰	۱۸/۱	۱۰۸/۷	۲۲/۵	۳۴/۸	۱۶/۰	۱۰/۲	۲/۱	۰/۰
	۰/۴	۴۰/۶	۲۰/۴	۹۴/۲	۲۹/۶	۳۱/۳	۱۷/۲	۹/۴	۳/۳	۰/۰
	۰/۶	۳۶/۳	۲۲/۸	۷۹/۸	۳۶/۷	۲۷/۸	۱۸/۴	۸/۵	۴/۴	۰/۰
	۰/۸	۳۱/۹	۲۵/۲	۶۵/۳	۴۳/۸	۲۴/۳	۱۹/۶	۷/۷	۵/۶	۰/۰
	۱	۲۷/۶	۲۷/۶	۵۰/۹	۵۰/۹	۲۰/۷	۲۰/۷	۶/۸	۶/۸	۰/۰
مرداد	۰	۵۷/۹	۳۵/۸	۴۶/۸	۹/۴	۳۲/۲	۹/۴	۲۵/۷	۲/۰	۲۴/۴
	۰/۲	۵۵/۵	۳۷/۹	۴۲/۲	۱۲/۳	۳۱/۸	۱۲/۳	۲۳/۷	۴/۸	۲۰/۸
	۰/۴	۵۳/۲	۳۹/۹	۳۷/۶	۱۵/۲	۳۱/۴	۱۵/۲	۲۱/۸	۷/۶	۱۷/۱
	۰/۶	۵۰/۸	۴۲/۰	۳۳/۱	۱۸/۱	۳۱/۰	۱۸/۱	۱۰/۳	۱۹/۸	۱۳/۵
	۰/۸	۴۸/۴	۴۴/۰	۲۸/۵	۲۱/۰	۲۸/۵	۲۱/۰	۱۷/۸	۱۳/۱	۹/۹
	۱	۴۶/۱	۴۶/۱	۲۳/۹	۲۳/۹	۲۳/۹	۲۳/۹	۱۵/۹	۱۵/۹	۶/۳
مهر	۰	۱۳/۵	۳۶/۷	۵۵/۴	۸/۵	۴۳/۵	۸/۵	۳۰/۱	۲/۳	۲۵/۹
	۰/۲	۶۹/۳	۳۹/۹	۴۷/۹	۱۰/۴	۴۱/۵	۱۰/۴	۲۷/۸	۵/۶	۲۳/۹
	۰/۴	۶۵/۱	۴۳/۰	۴۰/۵	۱۲/۳	۳۹/۶	۱۲/۳	۲۵/۵	۸/۸	۲۱/۹
	۰/۶	۶۰/۹	۴۶/۱	۳۳/۰	۱۴/۲	۳۳/۰	۱۴/۲	۲۳/۲	۱۲/۱	۱۹/۹
	۰/۸	۵۶/۶	۴۹/۳	۲۵/۵	۱۶/۱	۲۵/۵	۱۶/۱	۱۵/۳	۲۰/۹	۱۷/۹
	۱	۵۲/۴	۵۲/۴	۱۸/۰	۱۸/۰	۱۸/۰	۱۸/۰	۱۸/۶	۱۸/۶	۱۵/۸
آبان	۰	۱۵/۳	۷/۸	۲۳/۳	۷/۰	۱۰/۰	۷/۰	۵/۳	۰/۴	۰/۳
	۰/۲	۱۴/۵	۸/۵	۲۱/۷	۸/۷	۹/۷	۷/۶	۴/۸	۱/۰	۰/۰
	۰/۴	۱۳/۸	۹/۳	۲۰/۱	۱۰/۳	۹/۳	۷/۷	۴/۴	۱/۵	۰/۰
	۰/۶	۱۳/۰	۱۰/۰	۱۸/۵	۱۲/۰	۹/۰	۷/۹	۴/۰	۲/۱	۰/۰
	۰/۸	۱۲/۳	۱۰/۸	۱۶/۹	۱۳/۶	۸/۶	۸/۱	۳/۶	۲/۷	۰/۰
	۱	۱۱/۶	۱۱/۶	۱۵/۳	۱۵/۳	۸/۳	۸/۳	۳/۲	۳/۲	۰/۰
آذر	۰	۳۰/۱	۴/۸	۱۱۶/۸	۹/۲	۳۷/۶	۴/۶	۲/۵	۰/۲	۰/۰
	۰/۲	۲۶/۳	۶/۰	۱۰۰/۹	۱۴/۸	۲۴/۰	۵/۵	۲/۳	۰/۵	۰/۰
	۰/۴	۲۲/۵	۷/۲	۸۴/۹	۲۰/۴	۲۰/۳	۶/۵	۲/۲	۰/۷	۰/۰
	۰/۶	۱۸/۶	۸/۵	۶۹/۰	۲۶/۰	۱۶/۷	۷/۵	۱/۰	۲/۰	۰/۰
	۰/۸	۱۴/۸	۹/۷	۵۳/۱	۳۱/۶	۱۳/۰	۸/۴	۱/۳	۱/۸	۰/۰
	۱	۱۰/۹	۱۰/۹	۳۷/۲	۳۷/۲	۹/۴	۹/۴	۱/۶	۱/۶	۰/۰
مهر	۰	۳۰/۱	۳/۹	۱۴۸/۵	۱۹/۴	۳۰/۰	۳/۹	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۰/۲	۲۶/۶	۵/۷	۱۳۱/۶	۲۸/۳	۲۶/۶	۵/۷	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۰/۴	۲۳/۱	۷/۴	۱۱۴/۷	۳۷/۲	۲۳/۱	۷/۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۰/۶	۱۹/۷	۹/۲	۹۷/۷	۴۶/۰	۱۹/۷	۹/۲	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۰/۸	۱۶/۲	۱۱/۰	۸۰/۸	۵۴/۹	۱۶/۲	۱۱/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۱	۱۲/۸	۱۲/۸	۶۳/۸	۶۳/۸	۱۲/۸	۱۲/۸	۰/۰	۰/۰	۰/۰
آبان	۰	۲۴/۳	۳/۷	۱۲۱/۷	۱۸/۶	۲۴/۳	۳/۷	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۰/۲	۲۲/۱	۵/۶	۱۱۰/۳	۲۷/۸	۲۲/۱	۵/۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۰/۴	۱۹/۸	۷/۴	۹۸/۹	۳۷/۰	۱۹/۸	۷/۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۰/۶	۱۷/۵	۹/۳	۸۷/۵	۴۶/۳	۱۷/۵	۹/۳	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۰/۸	۱۵/۲	۱۱/۱	۷۶/۱	۵۵/۵	۱۵/۲	۱۱/۱	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۱	۱۲/۹	۱۲/۹	۶۴/۷	۶۴/۷	۱۲/۹	۱۲/۹	۰/۰	۰/۰	۰/۰
آذر	۰	۲۱/۳	۳/۴	۱۰۶/۴	۱۶/۸	۲۱/۳	۳/۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۰/۲	۱۸/۹	۴/۶	۹۴/۶	۲۲/۹	۱۸/۹	۴/۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۰/۴	۱۶/۶	۵/۸	۸۲/۸	۲۹/۱	۱۶/۶	۵/۸	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۰/۶	۱۴/۲	۷/۱	۷۱/۱	۳۵/۳	۱۴/۲	۷/۱	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۰/۸	۱۱/۹	۸/۳	۵۹/۳	۴۱/۴	۱۱/۹	۸/۳	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	۱	۹/۵	۹/۵	۴۷/۶	۴۷/۶	۹/۵	۹/۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰



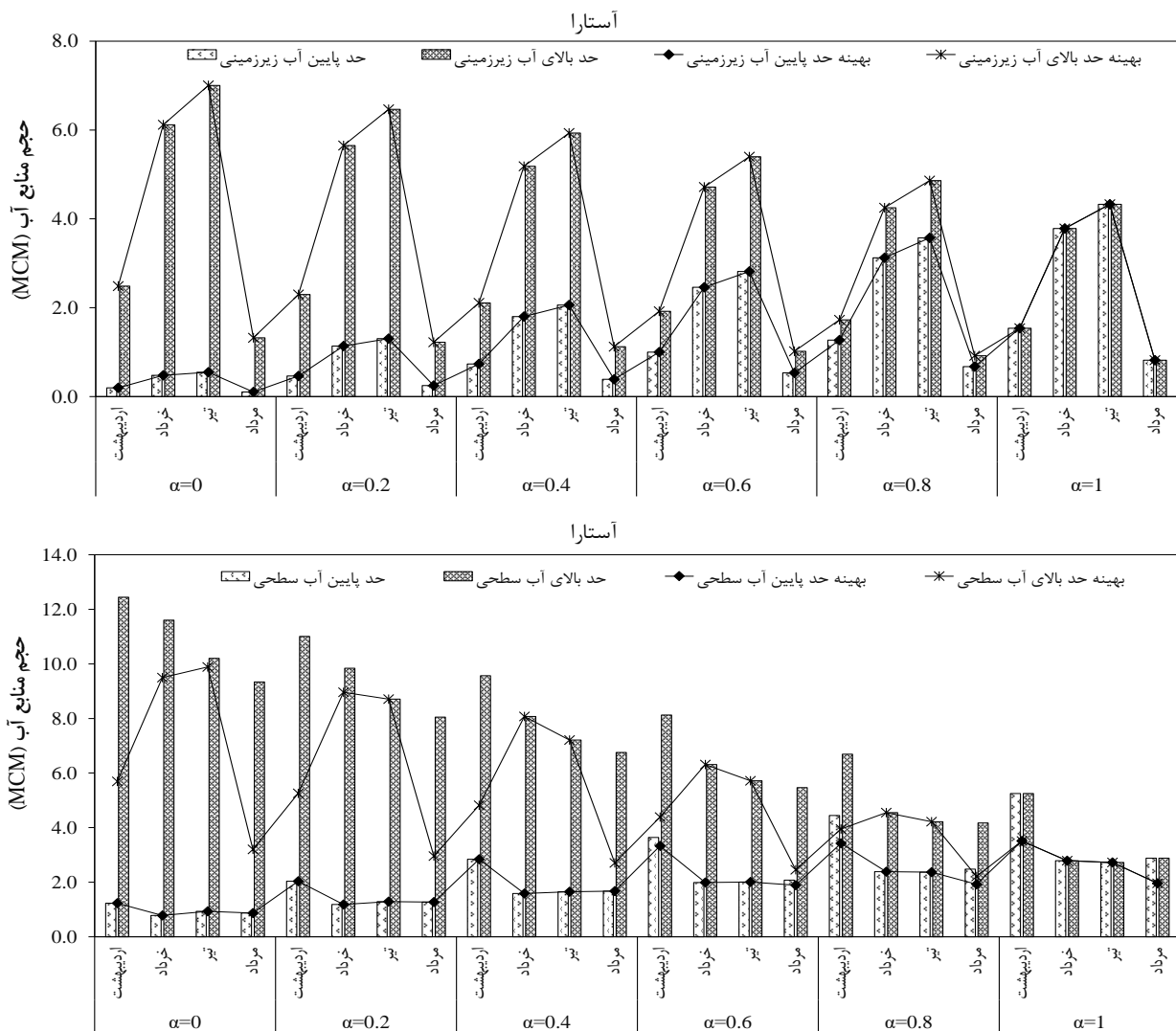
شکل ۷- مقایسه حد بالا و پایین مقادیر حجم آب سطحی و زیرزمینی در تامین نیازهای آبی در ناحیه آبیاری تالش (MCM: میلیون مترمکعب)



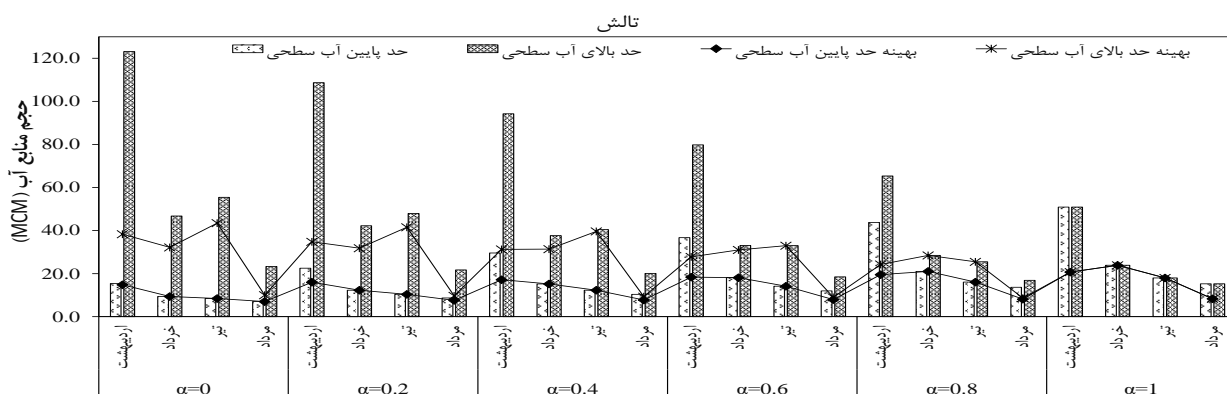
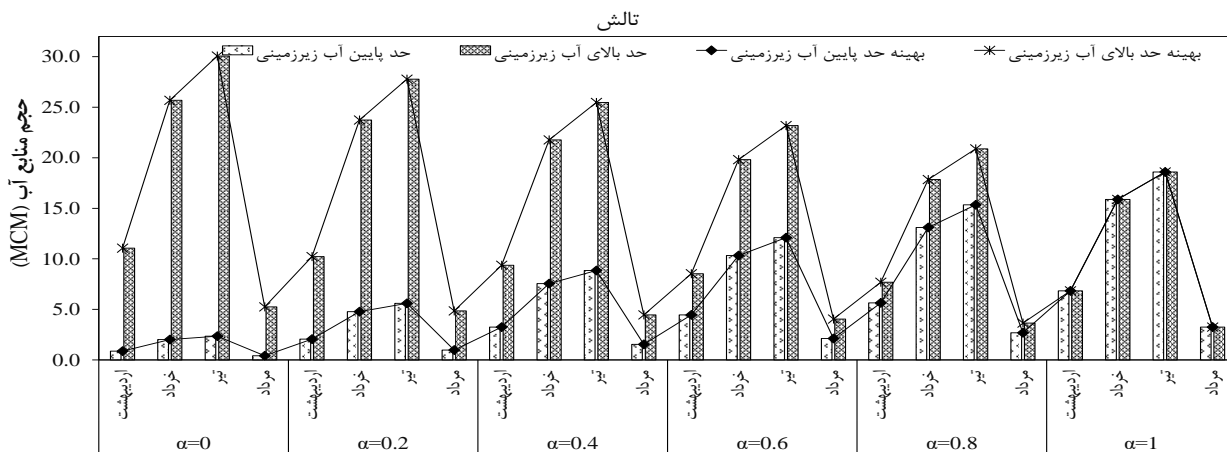
شکل ۸- مقایسه حد بالا و پایین مقادیر حجم آب سطحی و زیرزمینی در تامین نیازهای آبی در ناحیه آبیاری رضوانشهر (MCM: میلیون مترمکعب)

شکل‌های ۶ تا ۸ مقادیر حجم آب‌سطحی و زیرزمینی را در تامین نیازهای آبی هر یک از نواحی آستارا، تالش و رضوانشهر به صورت ماهانه در دو حالت حد بالا و پایین و در α -cut‌های مختلف نشان می‌دهد. همچنین مقایسه این شکل‌ها نشان می‌دهد که سهم حجم برداشت از آب زیرزمینی در ماه‌های خرداد و تیر نسبت به ماه‌های دیگر به دلیل تقاضای بیشتر در این ماه‌ها و کمبود منابع آب سطحی موجود بیشتر است. مقایسه مقادیر کمبود یا همان نیازهای تامین نشده نشان می‌دهد که در حالت حد بالا، هرچه α -cut بیشتر شود مقدار کمبود نیز بیشتر می‌شود و در حالت حد پایین هرچه مقدار α -cut بیشتر شود، مقدار کمبود نیز کمتر می‌شود. این مسئله به این دلیل است که در حالت حد پایین هرچه α -cut بیشتر شود، حداقل مقدار متغیر تاثیر کمتری در مقدار نهایی آن متغیر دارد و برعکس. مقایسه نتایج به‌دست آمده در این بخش با نتایج Ren et al. (2019) و Xie et al. (2018) بیانگر یکسان بودن روند تغییرت بوده است. مقایسه کمبودها در دو حالت حد پایین و بالا در شکل‌های ۶ تا ۸ نشان می‌دهد که به طور کلی مقادیر کمبودها در حد پایین بیشتر از حد بالا بوده و این موضوع به دلیل بالاتر بودن حد پایین تقاضاها و پایین بودن مقادیر حد پایین آب سطحی در دسترس و مقدار مجاز آب زیرزمینی اتفاق افتاده است.

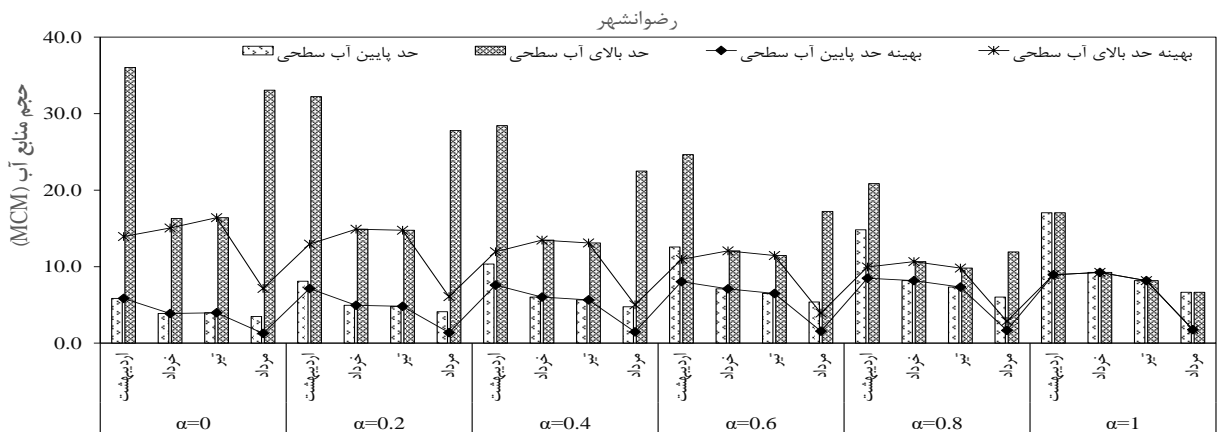
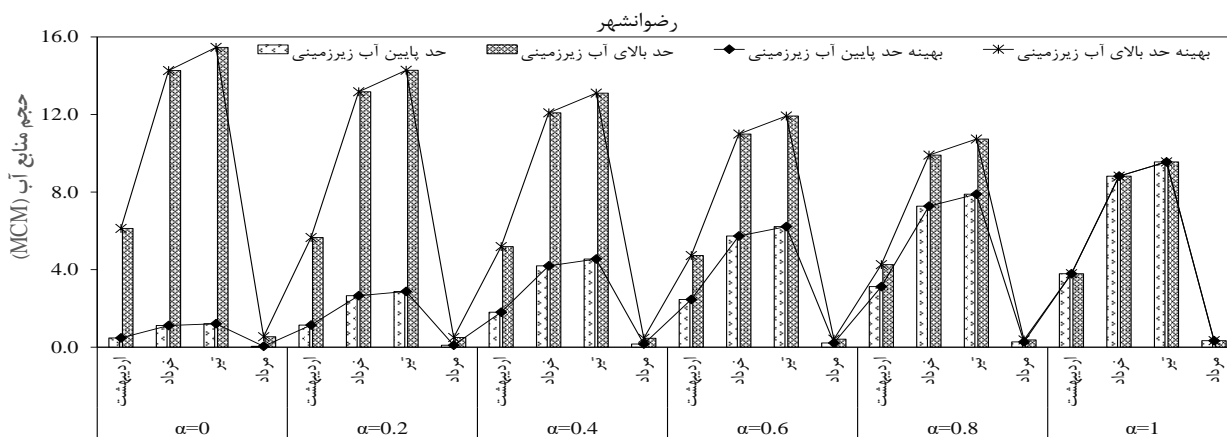
برای بررسی جزئی‌تر علت وقوع کمبود در ماه‌هایی که کمبود اتفاق می‌افتد، حد بالا و پایین منابع آب سطحی موجود و آب زیرزمینی قابل برداشت و حد بالا و پایین مقادیر بهینه برداشت آب زیرزمینی و آب سطحی را در سه ناحیه آستارا، تالش و رضوانشهر و در سطوح مختلف α -cut در ماه‌های اردیبهشت تا مرداد در شکل‌های ۹ تا ۱۱ آورده شده است.



شکل ۹- نتایج بهینه‌سازی تخصیص آب سطحی و زیرزمینی ناحیه آبیاری آستارا در ماه‌های اردیبهشت تا مرداد (MCM: میلیون مترمکعب)



شکل ۱۰- نتایج بهینه‌سازی تخصیص آب سطحی و زیرزمینی ناحیه آبیاری تالش در ماه‌های اردیبهشت تا مرداد (MCM: میلیون مترمکعب)



شکل ۱۱- نتایج بهینه‌سازی تخصیص آب سطحی و زیرزمینی ناحیه آبیاری رضوانشهر در ماه‌های اردیبهشت تا مرداد (MCM: میلیون مترمکعب)



همان‌طور که در شکل‌های ۹ تا ۱۱ نشان داده شده است، در حل مدل بهینه‌سازی با تعیین حد مجاز برداشت که به مدل بهینه‌سازی داده شده بود، هنگام بهینه‌سازی از تمام ظرفیت آب زیرزمینی قابل برداشت استفاده شد. البته شایان ذکر است که، در منطقه مورد مطالعه به دلیل سهولت دسترسی به آب زیرزمینی، کشاورزان بیشتر تمایل به استفاده از منابع آب زیرزمینی دارند این در صورتی است که دسترسی اغلب کشاورزان به آب سطحی رودخانه‌ها به دلیل مشکلات موجود در منطقه از قبیل عدم لایروبی رودخانه‌ها، عدم دسترسی مستقیم به باغات و شالیزارها به رودخانه‌ها به راحتی امکان‌پذیر نیست. اما مقایسه مقادیر آب سطحی بهینه شده و مقادیر آب سطحی موجود در کل دوره (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که در ماه‌هایی که کمبود وجود دارد تقریباً از تمام ظرفیت آب سطحی استفاده شده است اما حجمی از مقادیر آب سطحی در ماه‌های دیگر نیز وجود دارد که مصرف نمی‌شود و می‌توان از طریق راه‌کارهایی همچون ذخیره کردن آن‌ها در ماه‌های پر آبی، به صورت بهینه از این ذخایر در ماه‌های کم‌آبی استفاده نمود. نکته دیگری که با توجه به جدول ۱۰ باید به آن اشاره کرد، این است که در کل دوره مدل‌سازی برای تامین آب مورد تقاضا تقریباً از کل حجم مجاز برداشت آب زیرزمینی استفاده می‌شود. این در حالی است که با توجه به مقادیر قابل توجه آب سطحی تخصیص یافته در ماه‌هایی مانند خرداد و تیر، می‌توان در سایر ماه‌ها نیز از آب سطحی موجود استفاده کرد. بنابراین بهتر است اولویت استفاده از آب سطحی در منطقه مطرح شود و به دنبال راه‌حلی بود که کشاورزان دسترسی راحت‌تری به آب سطحی داشته باشند. به این ترتیب می‌توان از اثرات جبران‌ناپذیر برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی با توجه به ساحلی بودن آبخوان این نواحی جلوگیری کرد.

همانطور که ذکر شد، نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر مطابق با مطالعات قبلی نظیر (Ren et al., 2017) و (Xei et al., 2018) به‌دست آمد به طوری که استفاده از سطوح مختلف α -cut در روش فازی باعث شد که شرایط مختلف از نظر در دسترس بودن آب سطحی و زیرزمینی، بارش مؤثر و نیاز آبیاری مورد بررسی قرار گیرد و در صورت قرار گرفتن در هر شرایطی بر اساس وضع موجود بهترین تصمیم‌گیری برای تخصیص آب آبیاری انجام شود. استفاده از مقادیر بارش مؤثر و دخالت دادن تاثیر آن در برآورد مقدار نیاز آبیاری نیز باعث شد که مقادیر نیاز آبیاری به واقعیت نزدیکتر باشد و بدین ترتیب بخشی از هدررفت مقدار آب برای تامین نیازهای دیگر ذخیره خواهد شد.

نتیجه‌گیری

مدل توسعه یافته می‌تواند با بهینه‌سازی همزمان آب آبیاری و سطح زیرکشت، مقادیر منابع آب تخصیص یافته را به تفکیک آب سطحی و زیرزمینی بهینه کند. با توجه به اهمیت آب زیرزمینی در اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه، حد مجاز برداشت آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به مقادیر آب سطحی در دسترس در منطقه، نتایج این مطالعه می‌تواند هشدار برای مسئولان و برنامه‌ریزان منطقه باشد که در برنامه‌ریزی‌های آینده، به دنبال روش‌هایی برای در دسترس‌پذیری بیشتر منابع آب سطحی برای کشاورزان منطقه باشند. با توجه به اینکه در استفاده از روش فازی سه پارامتر نیاز آبیاری، مقادیر منابع آب سطحی و زیرزمینی در دسترس به صورت فازی بیان شد، نتایج نشان داد که در حد بالای مقادیر به طور کلی کمبود کمتر از حد پایین مقادیر است و در حد بالا، هرچه α -cut افزایش می‌یابد، مقادیر کمبود نیز افزایش می‌یابد در حالی که، در حد پایین هر چه α -cut افزایش می‌یابد، مقادیر کمبود کاهش می‌یابد. این مسئله به این دلیل است که با توجه به رابطه روش مثلثی در فازی کردن پارامترهای دارای عدم قطعیت، اختلاف بین حد بالا و پایین با افزایش α -cut، کاهش می‌یابد. در این مطالعه، مقدار نیاز آبیاری با محاسبه بارش مؤثر در منطقه محاسبه شد که این می‌تواند یکی از برجستگی‌های مدل توسعه یافته در این مطالعه نسبت به تحقیق‌های گذشته باشد.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy.
- Allen, R.G., Wright, J.L., Pruitt, W.O., Pereira, L.S. and Jensen, M.E. (2007). Water requirements. In G.J. Hoffman, R.G. Evans, M.E. Jensen, D.L. Martin, R.L. Elliot (Eds.), *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*. (pp. 208–288). St Joseph, MI: ASABE.
- Amin, K. and Mohammad, J.M. (2014). Integrated stepwise approach for optimal water allocation in irrigation

- canals. *Irrigation and Drainage*, 63,12-21.
- Baradaran Sirjani, F., Kohansal, M. and Sabouhi, M. (2015). Application of Two-Stage multi-Objective Fuzzy linear Programming Model to develop Optimal Cropping pattern (Case study: Central District of Mashhad). *Journal Of Agricultural Economics and Development*, 28(4), 368-376. (In Farsi)
- Bekri, E., Disse, M. and Yannopoulos, P. (2015). Optimizing water allocation under uncertain system conditions in Alfeios River Basin (Greece), Part A: two-stage stochastic programming model with deterministic boundary intervals. *Water*, 7, 5305-5344.
- Das, B., Singh, A. and Panda, S.N. (2015). Optimal land and water resources allocation policies for sustainable irrigated agriculture. *Land Use Policy*, 42, 527-537.
- Davijani, M.H., Banihabib, M.E. and Anvar, A.N. (2016). Optimization model for the allocation of water resources based on maximization of employment in the agriculture and industry sectors. *Hydrology*, 533(1), 430-438.
- Fisher, J.B., Melton, F. and Middleton, E. (2017). The future of evapotranspiration: global requirements for ecosystem functioning, carbon and climate feedbacks, agricultural management, and water resources. *Water Resources Research*, 53(4), 2618-2626.
- Garg, N.K. and Dadhich, S.M. (2014). Integrated non-linear model for optimal cropping pattern and irrigation scheduling under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 140, 1-13
- Khandelwal, S.S. and Dhiman, S.D. (2018). Optimal allocation of land and water resources in a canal command area in the deterministic and stochastic regions. *Water Resources Management*, 32,1569-1584.
- Leite, K.N., Martinez-Romero, A. and Tarjuelo, J.M. (2015). Distribution of limited irrigation water based on optimized regulated deficit irrigation and typical meteorological year concepts. *Agricultural Water Management*, 148,164-176.
- Leng, Y.K., Lee, J.Y. and Tan, R.R. (2017). Multi-objective optimization for resource network synthesis in eco-industrial parks using an integrated analytic hierarchy process. *Journal of Cleaner Production*, 143,1268-1283.
- Li, M. and Guo, P. (2014). A multi-objective optimal allocation model for irrigation water resources under multiple uncertainties. *Applied Mathematical Modelling*, 38,4897-4911.
- Li, M. and Guo, P. (2015). A couple random fuzzy two-stage programming model for crop area optimization on a case study of the middle Heihe River basin, China. *Agricultural Water Management*, 179, 352-365.
- Li, Y.P. and Huang, G.H. (2011). Planning agricultural water resources system associated with fuzzy and random features. *Journal of the American Water Resources Association*, 47 (4), 841-860.
- mazandarani zadeh, H., kakavand, S. and Ramezani Etedali, H. (2021). Optimal redistribution of water among agricultural sector operators using a fuzzy multi-objective optimization model. *Irrigation Sciences and Engineering*, doi: 10.22055/jise.2021.37122.1966. (In Farsi)
- Morgan, D.R., Eheart, J.W. and Valocchi, A.J. (1993). Aquifer remediation design under uncertainty using a new chance constrained programming technique. *Water Resources Research*, 29:551-568.
- Pirmoradian, N. (2018). *Designing and creating the native system of water requirement of agricultural and garden plants in different climates of Iran*. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research and Training Organization, Ministry of Agriculture. (In Farsi)
- Pirmoradian, N. and Davatgar, N. (2019). Simulating the effects of climatic fluctuations on rice irrigation water requirement using AquaCrop. *Agricultural water management*, 213, 97-106.
- Rastegaripour, F. (2020). Application of Interval Fuzzy Multi-Stage Stochastic Model in water resource management Case study: Latian Dam. *Hydrogeology*, 5(1), 47-60. (In Farsi)
- Ren, C., Li, Z. and Zhang, H. (2019). Integrated multi-objective stochastic fuzzy programming and AHP method for agricultural water and land optimization allocation under multiple uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 210, 12-24.
- Ren, C.F., Guo, P. and Li, M. (2013). Optimization of industrial structure considering the uncertainty of water resources. *Water Resources Management*, 27(11), 3885-3898.
- Ren, C.F., Guo, P., Tan, Q. and Zhang, L.D. (2017). A multi-objective fuzzy programming model for optimal use of irrigation water and land resources under uncertainty in Gansu Province, China. *Journal of Cleaner Production*, 164,85-94.
- Ren, C.F., Li, R.H., Zhang, L.D. and Guo, P. (2016). Multiobjective stochastic fractional goal programming model for water resources optimal allocation among industries. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(10), 6036-6040.
- Singh, A. (2015). Land and water management planning for increasing farm income in irrigated dry areas. *Land Use Policy*, 42, 244-250.



- Singh, A. (2017). Optimal allocation of water and land resources for maximizing the farm income and minimizing the irrigation-induced environmental problems. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31, 1147-1154.
- Sun, J., Li, Y.P., Suo, C. and Liu, Y.R. (2019). Impacts of irrigation efficiency on agricultural water-land nexus system management under multiple uncertainties-A case study in Amu Darya River basin, Central Asia. *Agricultural Water Management*, 216, 76-88.
- Tenant, D.L. (1976). Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources. *Fisheries*, 1(4),6-10.
- Wang, C.H., Hou, Y.L. and Xue, Y.J. (2017). Water resources carrying capacity of wetlands in Beijing: analysis of policy optimization for urban wetland water resources management. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1180-1191.
- Wang, C.X., Li, Y.P. and Zhuang, X.W. (2018). Conjunctive water management under multiple uncertainties: A centroid-based type-2 fuzzy-probabilistic programming approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 72, 437-448.
- Wang, H., Jiang, Z.G. and Wang, Y. (2018). A two-stage optimization method for energy-saving flexible job-shop scheduling based on energy dynamic characterization. *Journal of Cleaner Production*, 188, 575-588.
- Wang, Z.W., Yang, J. and Deng, X.Z. (2015). Optimal water resources allocation under the constraint of land use in the Heihe River Basin of China. *Sustainability*, 7(2),1558-1575.
- Xie, Y.L., Xia, D.X. and Ji, L. (2017). An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. 353, 55-69.
- Zeng, X.T., Chen, C. and Liu, A.H. (2018). Planning a sustainable regional irrigated production and forest protection under land and water stress with multiple uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 188, 751-762.