Archive of SID.ir

University of Tehran Press

ECO HYDROLOGY

Home Page: https://ije.ut.ac.ir

Online ISSN: 2423-6101

A Spatio- temporal Approach to Irrigation and Cultivation of Agricultural Plants with a focus on Virtual Water, GIS, and Ants Swarm Intelligence

Nasser Mohammadi Varzaneh[1] | Alireza Vafaeinejad[2*] | Aliasghar Alesheikh[3] | Zahra Azizi[4] | Amirhoman Homesi[5]

1. Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran, Iran. Email: naser.ut.mohammadi@gmail.com
2. Corresponding Author, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a_vafaei@sbu.ac.ir
3. Faculty of Geodesy and Geomatics, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran. Email: alesheikh@kntu.ac.ir
4. Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran, Iran. Email: zazizi@srbiau.ac.ir
5. Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran, Iran. Email: h_hemmasi@srbiau.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received May 17, 2023
Revised June 12, 2023
Accepted July 18, 2023
Published online 12 December 2023

Keywords:
Spatio- Temporal,
Irrigation,
Virtual Water,
Swarm Intelligence,
Ants Colony.

ABSTRACT

Traditional methods of irrigation and resource utilization lack an organized strategy for managing water resources. There are often inefficiencies in the way irrigation water is used in fields and plains, leading to irrigation waste and inefficient water utilization. Considering the size and dispersion of the land, the variety of crops, the time and location at which they are planted, and the distance between the source of water and the point where it is consumed, irrigation and drainage networks are essential for the best management of water resources. Therefore, in the present study, we have attempted to optimize the use of water in the agricultural sector by taking into account both the virtual water of plant cultivation and growth as well as the environmental conditions relevant to it, both geographically and temporally. Based on the calculations presented in this research and comparisons with the existing traditional method, the amount of water consumed in agriculture in the study area, which is part of Isfahan Province's southern part in the Gavkhoni lagoon, is estimated to be approximately 70 percent reduced if the solution presented in this study is implemented. It would be equivalent to using about 30% of the amount of water currently consumed and something equivalent to about 300 thousand cubic meters of water consumption reduction, which is a significant amount.

Cite this article: Mohammadi Varzaneh, N.; Vafaeinejad, A.; Alesheikh, A.; Azizi, Z. & Homesi, A. (2023). A Spatio- temporal Approach to Irrigation and Cultivation of Agricultural Plants with a focus on Virtual Water, GIS, and Ants Swarm Intelligence. *ECO HYDROLOGY*.10 (3), 379-404. Doi: doi.org/10.22059/ije.2023.363753.1753

© Nasser Mohammadi Varzaneh, Alireza Vafaeinejad, Aliasghar Alesheikh, Zahra Azizi, Amirhoman Homesi
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ije.2023.363753.1753

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

انتشارات دانشگاه تهران

آب و هیدرولوژی

سایت نشریه: https://ije.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۶۱۰۱-۲۴۲۳

رویکردی مکانی‌ـ زمانی به آبیاری و کشت گیاهان کشاورزی با نگاهی به آب مجازی، سیستم اطلاعات مکانی و هوش جمعی مورچگان

ناصر محمدی ورزنه[۱]| علیرضا وفایی‌نژاد[۲*]| علی‌اصغر آل‌شیخ[۳]| زهرا عزیزی[۴]| امیرهومن حمصی[۵]

۱. دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه علوم و تحقیقات آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: naser.ut.mohammadi@gmail.com

۲. نویسندهٔ مسئول، دانشکدهٔ مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a_vafaei@sbu.ac.ir

۳. دانشکدهٔ مهندسی نقشه‌برداری و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران. رایانامه: alesheikh@kntu.ac.ir

۴. دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران. رایانامه: zazizi@srbiau.ac.ir

۵. دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران. رایانامه: h_hemmasi@srbiau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

کلیدواژه:
مکانی زمانی،
آبیاری،
آب مجازی،
هوش جمعی،
جامعهٔ مورچگان.

چکیده

آب به عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده در نقاط خشک و نیمه‌خشک دنیا به‌خصوص ایران به حساب می‌آید و اصلی‌ترین عامل در مقدار بهره‌وری دیگر منابع است. در سال‌های گذشته، دلایل متفاوتی مانند رشد جمعیت، رشد اقتصادی، تغییر اقلیم، آب‌وهوا و خشکسالی‌های متعدد برای رسیدن به منابع آب شیرین در کشورهای مختلف رقابت ایجاد کرده که سبب کاهش منابع آب شیرین در مناطق مختلف شده و به مشکل کم‌آبی در آن‌ها افزوده است. همچنین، به دلیل ارزش و اهمیت به‌کارگیری بهینهٔ آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های جدید برای مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی تأثیر مناسبی بر روند کاهش مصرف آب به صورت بهینه خواهد گذاشت. در سیستم‌های سنتی آبیاری و بهره‌برداری از منابع آبی برای اراضی و دشت‌ها معمولاً از منابع آب موجود به صورت بهینه و دقیق استفاده نمی‌شود، لذا آبیاری آن‌ها ممکن است با اتلاف و هدررفت آب بدون بهره مؤثر از آن باشد. درنظرگیری شبکه‌های آبیاری و زهکشی به دلیل وسعت و پراکندگی اراضی، تنوع کشت، زمان و مکان آن و مسافت بین منبع آب تا محل استفاده از آن جهت مدیریت بهینهٔ بهره‌برداری از آب موجود، بسیار مهم و ضروری است. از این‌رو در پژوهش حاضر سعی شده است برای مدیریت بهینهٔ استفاده از آب در بخش کشاورزی کشت گیاهان کشاورزی با درنظرگیری آب مجازی کشت و نمو گیاهان و با توجه به پارامترهای محیطی مؤثر در آن، به صورت مکانی و زمانی در متد یک بهینه‌سازی هوش جمعی بررسی و محاسبه شود و در نهایت، در یک محیط بصری‌سازی اطلاعات مکانی‌ـ زمانی به نمایش درآید؛ که خود روشی نوین به حساب می‌آید. با محاسبات انجام‌شده در این پژوهش و مقایسه با روش سنتی موجود، در صورت اجرایی شدن راهکار ارائه‌شده در این پژوهش، میزان مصرف آب برای بخش کشاورزی منطقهٔ مطالعاتی که بخشی از توابع قسمت جنوبی استان اصفهان در تالاب گاوخونی است، به حدود ۷۰ درصد کاهش یافته که این معادل استفادهٔ حدود ۳۰ درصدی میزان آب مورد استفادهٔ فعلی است و چیزی معادل حدود ۳۰۰ هزار متر مکعبی کاهش مصرف آب خواهد بود که میزان قابل توجهی است.

استناد: محمدی ورزنه، ناصر؛ وفایی‌نژاد، علیرضا؛ آل‌شیخ، علی‌اصغر؛ عزیزی، زهرا و حمصی، امیرهومن (۱۴۰۲). رویکردی مکانی‌ـ زمانی به آبیاری و کشت گیاهان کشاورزی با نگاهی به آب مجازی، سیستم اطلاعات مکانی و هوش جمعی مورچگان. *آب و هیدرولوژی*، ۱۰ (۳) ۳۷۹-۴۰۴.

DOI: http//doi.org/10.22059/ije.2023.363753.1753

© ناصر محمدی ورزنه، علیرضا وفایی‌نژاد، علی‌اصغر آل‌شیخ، زهرا عزیزی، امیرهومن حمصی. **ناشر:** مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/ije.2023.363753.1753

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱. مقدمه

در ایران، زراعت‌های آبی رکن اساسی کشاورزی را تشکیل می‌دهند [۱]. در بسیاری از نقاط کشور، تقریباً تمام آب مورد نیاز زراعت‌ها با آبیاری تأمین می‌شود. همین امر سبب شده است تا منابع آبی کشور به مرحلهٔ بحرانی برسد و به دلیل محدودیت منابع، تأمین آب بیشتر برای کشاورزی امکان‌پذیر نیست. در نتیجه مناسب‌ترین راه آن است که با فناوری‌های مناسب در زمینهٔ آبیاری، حداکثر استفاده از منابع آب موجود انجام شود که بدون اجرای شیوه‌های کارآمد و مؤثر در توزیع آب و آبیاری میسر نخواهد شد.

با توجه به توسعهٔ شبکه‌های آبیاری و زهکشی در کشور، مدیریت این شبکه‌ها و پیروی از برنامه‌ریزی‌های دقیق به منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آب و سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده، ضروری است. از آنجا که راندمان بهینهٔ آبیاری، تنها با مدیریت صحیح بهره‌برداری و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری امکان‌پذیر است، لذا برنامه‌ریزی مناسب طی بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی، باعث می‌شود تا از آبیاری بی‌رویه و اتلاف آب، انرژی و سرمایه جلوگیری شده و موجب افزایش سطح زیر کشت، توسعهٔ کشاورزی و درنهایت افزایش بهره‌وری شود.

در مطالعات بین‌المللی انجام‌شده تا کنون برای بهینه‌سازی الگوهای کشت و تحصیص، تنها پارامترهای جغرافیایی مرتبط با اقلیم و زمین‌شناسی در نظر گرفته می‌شده است و حتی تعداد بسیار محدودی از پژوهش‌ها با استفاده از GIS اقدام به تحلیل بهینه‌ترین الگوهای کشت در مکان‌های مختلف کرده‌اند. همچنین در زمینهٔ مدیریت منابع آب بررسی پارامتر آب مجازی در کنار GIS پارامترهای مکانی و زمانی استفاده نشده است که این مهم از نوآوری‌های این پژوهش به شمار می‌آید.

مهدی کلاهی و همکاران (۲۰۲۳) پژوهش «تعیین الگوی کشت بهینه با در نظر گرفتن مفهوم آب مجازی و منافع اقتصادی» را با هدف تعیین الگوی بهینهٔ کشت اجرا کردند. آن‌ها با تعریف معادلات هدف مناسب و محدودیت‌های مختلف مانند آب موجود، سیاست‌های محلی و منطقه‌ای و با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و چندهدفه و بهره‌وری اقتصادی، الگوی کشت مناسب را تعیین کردند و میزان مصرف آب در منطقه بیش از ۵۷ درصد کاهش یافت [۲].

سامان معروف‌پور و همکاران (۲۰۲۱) پژوهشی با عنوان «جریان آب مجازی بهینه برای بهبود امنیت غذایی در کشورهای کم‌آب» انجام دادند که در آن روشی برای پیوند شبکه‌های تجاری درون‌کشوری، امنیت غذایی و ردپای کل آب[۱] برای بهبود امنیت غذایی با بهینه‌سازی چندهدفه ارائه دادند. در این روش ۴۰۰ سناریو برای بهبود الگوهای کشت با در نظر گرفتن ۵۱ محصول اصلی ایران ارائه شد. نتایج طیف وسیعی از بهبود در امنیت غذایی و کاهش ردپای آب را نشان داد [۳].

احسان قاسمی‌پور و همکاران (۲۰۲۰) با ایجاد یک چارچوب ورودی خروجی چندمنطقه‌ای (MRIO) برای ارزیابی جریان آب مجازی در ایران اجرا شد. در این پژوهش ردپای آب داخلی و خارجی مناطق را در مقایسه با در دسترس بودن آب آن‌ها تخمین زدند. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد شمال کشور بدون کم‌آبی، آب مجازی را از طریق تجارت کالا و خدمات وارد می‌کند، در حالی که مناطق به‌شدت کم‌آب صادرکنندهٔ خالص آب مجازی هستند [۴]. بهرامی و همکاران (۲۰۲۰) نیز در پژوهشی به شناسایی محدوده‌های آبی با استفاده از هوش مصنوعی و GIS پرداخته‌اند [۵].

در سال ۲۰۱۹ بهرامی و همکاران از مدل‌سازی مکانی- زمانی برای تخصیص وظایف استفاده کردند [۶] و در سال ۲۰۱۸ در پژوهشی که در چین برای تجارت آب مجازی در مناطق کم‌آب توسط گوانلیانگ[۲] و همکارانش اجرا شد، به این نتیجه دست یافتند که آب مجازی از مهم‌ترین و بنیادی‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار در مدیریت مسائل آبی چین در آینده خواهد بود. آن‌ها با استفاده از GIS و مدل بهینه‌سازی چندمنظوره[۳] پیش‌بینی کردند که از میان ۱۶ محصول تولیدی در نواحی مختلف پکن، ۷ محصول با توجه به شاخص‌های آب از نظر منابع و سودرسانی اقتصادی به‌صرفه نخواهد بود [۷].

1. WFs: Water Footprints
2. Quanliang
3. Multi-objective optimization model

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

در سال ۲۰۱۷ در پژوهشی که توسط برنارد[1] و همکارانش انجام شد به بررسی تأثیر آب مجازی بر الگوهای کشت کشور اردن با توجه به سناریوهای مختلف اقلیمی در محیط GIS پرداخته‌اند. بر این اساس، در سناریوی بدبینانه که منابع آبی اردن ۹۰ درصد کاهش می‌یابد، حجم بارندگی به صفر می‌رسد و میزان تبخیر به دو برابر میزان فعلی افزایش می‌یابد، کشور اردن تنها می‌تواند منابع آب موجود را در بخش مصارف خانگی (شرب) و بخش‌های محدودی هم در صنعت اختصاص دهد. بر این اساس، هیچ الگوی کشت بهینه‌ای برای تولید محصولات کشاورزی در این کشور به‌صرفه نیست و واردات محصولات کشاورزی از کشورهای دیگر، راهکار منطقی‌تری به نظر می‌رسد [۸].

راجرز و دانسینگ[2] (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به منظور مدیریت مؤثر و کارآمد منابع آب در بخش کشاورزی استرالیا از تلفیق GIS و الگوریتم ژنتیک استفاده کرده‌اند. داده‌های ورودی در این مطالعه شامل مالکیت اراضی، توپوگرافی، خاک، شبکهٔ راه‌ها، سیستم آبیاری، سیستم زهکشی، کاربری اراضی، سطح ایستآبی، داده‌های هواشناسی و داده‌های گیاهی بوده است. بر اساس این نتایج، کشت نزدیک به ۲۰ درصد از محصولات کشاورزی در داخل استرالیا با توجه به مسائل آب در این کشور، در آینده توجیه اقتصادی نخواهد داشت [۹].

با توجه به بررسی و مطالعهٔ پژوهش‌های پیشین و همچنین، وضعیت منطقه از نظر شرایط آبی و کشاورزی به تبیین موضوع این پژوهش پرداخته شده است؛ و علاوه بر درنظرگیری جمیع شرایط و پارامترهایی که در ادامه تبیین شده است، با توجه به محدودیت‌هایی که برای اجرای عملیاتی پژوهش حاضر در منطقه به دلیل بافت سنتی آن وجود دارد، راهکارهایی برای بهبود شرایط ارائه شده است که در ادامه تشریح می‌شود.

۲. ادبیات پژوهش

۲. ۱. سیستم‌های اطلاعات مکانی زمانی

در دنیای واقعی همه‌چیز در حال تغییر است، بنابراین اصطلاح ایستا تنها به اشیائی می‌تواند اطلاق شود که در یک پریود زمانی کوتاه ثابت هستند و تغییر نمی‌کنند که این پریود زمانی کوتاه با توجه به ماهیت و نوع کاربرد مورد مطالعه تعریف می‌شود [۱۰]. در واقع می‌توان زمان را به عنوان بعد چهارم در نظر گرفت و به این‌ترتیب به پیش‌بینی و بررسی روند تغییرات پدیده‌ها پرداخت [۶ و ۱۰]. در ضمن حرکت در داخل مدل در هر یک از این ابعاد (زمان یا مکان) تنها با ثابت فرض کردن یکی از آن‌ها امکان‌پذیر است [۱۰].

۲. ۱. ۱. المان‌های سیستم اطلاعات مکانی زمانمند

المان‌های یک GIS زمانمند از تعمیم المان‌های یک سیستم اطلاعات مکانی مرسوم به دست می‌آیند که عبارت‌اند از [۱۱]:

- پایگاه داده زمانمند[3]
- نمایش و تجسم زمانمند[4]
- تجزیه‌وتحلیل زمانمند[5]

۲. ۱. ۲. مدل‌های مکانی زمانی

برخی از مدل‌های معروف داده‌های زمانی- مکانی شامل مدل مکعب فضا- زمان، برش‌های زمانی، مدل حالت پایه با اصلاحات، مدل مرکب فضا- زمان (STC)، مدل داده‌های مکانی- زمانی رابطه‌ای NF۱، مدل داده‌های مکانی- زمانی رابطه‌ای N1NF، مدل داده‌های مکانی- زمانی مبتنی بر رویداد، مدل داده‌های مکانی- زمانی شیءگرا، مدل داده‌های مکانی- زمانی مبتنی بر ورونوی، مدل داده‌های مکانی- زمانی مبتنی بر نظریهٔ گراف و غیره [۱۲].

1. Bernard
2. Rogers & Downsing
3. Temporal databases
4. Temporal visualization and representation
5. Temporal analysis

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۲. ۱. ۲. ۱. مدل برش مقطعی زمان (Snapshot)

در مدل برش‌های زمانی پیوسته هر شیء مکانی- زمانی مجموعه‌ای از وضعیت داده‌های متوالی در زمان خاص است. چنین مدل‌هایی دقیقاً وضعیت موجودیت فضایی را در زمان توصیف می‌کنند. مدل Snapshots در لحظهٔ اولیه رکوردهای حالت کامل را ثبت و ایجاد می‌کند، اما فقط تغییرات موقعیت خاص را در لحظهٔ بعدی ثبت می‌کند. به این‌ترتیب، از نتایج افزونگی داده‌ها جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، در صورت نیاز به بازسازی موجودیت فضایی در هر لحظه، چنین مدلی نیاز به محاسبه از لحظهٔ اولیه دارد و این موضوع مقدار محاسبه را افزایش می‌دهد که برای حل این مشکل مدل بهبودیافتهٔ آن ارائه شده است. در مدل بهبودیافته در حالت پایه مشابه حالت قبل است، اما فقط وضعیت پایه و داده‌های تغییرات تجمعی را ثبت می‌کند. تفاوت این است که مدل هم داده‌های تغییر حالت پایه و هم داده‌های تغییرات تجمعی را در هر لحظه ثبت می‌کند که باعث بهبود مدل اولیه می‌شود [۱۲].

۲. ۲. مدیریت توزیع و تحویل آب (نحوهٔ توزیع آب در شبکهٔ آبیاری[1])

در برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب باید سه عامل تحویل شامل دبی، مدت زمان و تناوب یا دورهٔ آبیاری تعیین شود. ثابت یا متغیر بودن عوامل یادشده و تغییر سطح تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها، روش‌های بهره‌برداری متنوعی با انعطاف‌پذیری متفاوتی را به وجود می‌آورد [۱۳]. انتخاب روش توزیع آب در شبکه‌های آبیاری باید منطبق با امکانات منابع آب، شرایط محلی و شرایط بهره‌برداری زراعی باشد. عموماً توزیع و کنترل آب در شبکه‌های آبیاری به یکی از سه روش زیر و یا ترکیبی از آن‌ها صورت می‌گیرد که در جدول ۱ نیز بیان شده است.

- **توزیع بر اساس تقاضای قبلی مصرف‌کنندگان[2]**

در این روش، کنترل آب در دست مصرف‌کنندگان و کشاورزان است و آن‌ها می‌توانند در هر زمان و به هر میزان که نیاز داشته باشند از آب استفاده کنند و دورهٔ آبیاری، آب برداشتی و زمان آبیاری را به دلخواه انتخاب کنند و تنها توافقی که در این روش بین مصرف‌کننده و تأمین‌کنندهٔ آب صورت می‌گیرد، در میزان برداشت ماکزیمم آب خواهد بود. در این روش دریچه‌های آبگیری به صورت باز یا بسته است و به سیستم ارتباطی قوی بین مصرف‌کنندگان سازمان تأمین آب نیاز نیست. از جمله روش‌های تعدیل‌شدهٔ این روش، موارد زیر را می‌توان نام برد [۱۴].

الف. توزیع بر اساس تقاضای محدود[3]

در این روش میزان دبی، دوره و مدت زمان آبیاری طبق نظر مصرف‌کننده است، ولی در برداشت ماکزیمم آب محدودیت وجود دارد. این روش برای مصرف‌کنندگان به طور قابل ملاحظه‌ای انعطاف‌پذیر و عملی است.

ب. توزیع بر اساس تقاضای تنظیم‌شده[4]

این روش محدودیت بیشتری را در زمان تحویل آب و شروع آبیاری ایجاد می‌کند، ولی پس از شروع آبیاری مصرف‌کنندگان کنترل آب را در دست می‌گیرند. این روش برای آبیاری تحت فشار کاربرد بیشتری دارد.

- **توزیع آب براساس برنامهٔ ازقبل‌تعیین‌شده[5]**

این روش محدودترین روش تحویل آب است و در آن میزان آب برداشتی، دورهٔ آبیاری، زمان آبیاری ثابت و بر اساس سیاست‌های سازمان آب مربوط تعیین می‌شود و طی یک دورهٔ مشخص تغییری نمی‌کند. این روش در کشورهای جهان سوم که

1. Irrigation water delivery system
2. On demand schedule
3. Limited rate demand schedule
4. Arranged frequency demand schedule
5. Rational schedule

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کشاورزان از دانش آبیاری بالایی برخوردار نیستند و همچنین، در نقاطی که سیستم اداری کنترل ضعیفی است، کاربرد بیشتری دارد. در این روش بهره‌برداران باید برنامهٔ کشت و آبیاری خود را بر اساس سیاست سازمان تنظیم کنند.

- **توزیع آب بر اساس توافق**[1]

در این روش میزان آب برداشتی، دور آبیاری و زمان آبیاری بین مصرف‌کنندگان و سازمان مربوط مورد توافق و برنامه‌ریزی قرار می‌گیرد. این روش برای مناطق محدود کاربرد بیشتری دارد. از جمله زیرروش‌های آن را می‌توان به صورت زیر ارائه کرد:

الف. توزیع بر اساس میزان برداشت محدود آب[2]

این روش که قابلیت انعطاف نسبتاً خوبی دارد، تنها محدودیت در میزان آب برداشتی برای مصرف‌کنندگان ایجاد می‌کند. به طوری که دورهٔ آبیاری و زمان آبیاری بر اساس احتیاج مصرف‌کنندگان برنامه‌ریزی می‌شود.

ب. توزیع بر اساس برنامهٔ مشخص بدون تغییر[3]

این روش که انعطاف‌پذیری کمتری دارد، به این شکل است که میزان آب برداشتی و مدت زمان آبیاری ثابت و غیر قابل تغییر است.

به طور کلی، مزایا و معایب کلی در هر روش توزیع آب را می‌توان به صورت زیر بیان کرد [۱۴].

جدول ۱. مزایا و معایب روش‌های سنتی توزیع آب

ردیف	روش‌های تحویل آب	زیرروش‌های تحویل آب	کارایی و مزایای روش‌ها	ضعف و محدودیت روش‌ها
۱	**تحویل آب بر اساس تقاضای مصرف‌کننده**	۱ـ تحویل بر اساس تقاضای محدود ۲ـ تحویل بر اساس تقاضای تنظیم‌شده	ـ انعطاف‌پذیری بالا ـ راندمان آبیاری بالا ـ بهره‌برداری آسان ـ آزادی عمل در انتخاب کشت ـ عدم نیاز به سیستم ارتباطی قوی بین مصرف‌کنندگان و مدیریت تأمین آب	ـ هزینهٔ زیاد احداث شبکه‌ها ـ نیاز به مهارت بالای مصرف‌کنندگان به لحاظ استفاده از آب
۲	**تحویل آب بر اساس برنامهٔ ازقبل‌تعیین‌شده**	۱ـ توزیع آب دائمی در شبکه ۲ـ توزیع آب به صورت گردشی	ـ هزینهٔ سطح پایین احداث شبکه‌ها ـ عدم نیاز به دانش بالای مصرف‌کنندگان ـ آزادی عمل مدیریت تأمین آب در حوزهٔ توزیع ـ عدم نیازبه کنترل و ارتباط زیاد بین مصرف‌کنندگان و مدیریت تأمین آب	ـ قابل انعطاف نبودن برای مصرف‌کنندگان ـ عدم آزادی عمل برای مصرف‌کنندگان در انتخاب گزینه‌های مختلف کشت
۳	**تحویل آب بر اساس توافق**	۱ـ تحویل بر اساس میزان برداشت محدود آب ۲ـ تحویل بر اساس برنامهٔ مشخص بدون تغییر	ـ انعطاف‌پذیری نسبی ـ راندمان آبیاری متوسط ـ هزینهٔ احداث شبکهٔ متوسط ـ آزادی نسبی مصرف‌کنندگان در انتخاب نوع کشت ـ تحویل ساده و مناسب برای سطوح محدود	ـ نیاز به سیستم ارتباطی قوی بین مصرف‌کنندگان و مدیریت تأمین آب ـ محدودیت در انتخاب گزینه‌های دلخواه ـ عدم کارایی برای سطوح بزرگ

۲. ۳. الگوهای اصلی کشت

- **تک‌کشتی یا کشت تک‌محصول**

فقط یک نوع محصول در زمین کشت می‌شود. تک‌کشتی باعث کاهش میزان حاصل‌خیزی خاک و تخریب ساختار خاک می‌شود. از کودهای شیمیایی می‌توان برای ارتقای میزان تولید استفاده کرد، اما این عمل باعث گسترش آفات و بیماری‌ها می‌شود.

1. Semi demand schedule (Arranged)
2. Limited rate arranged schedule
3. Restricted arranged schedule

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

- **چندکشتی یا کشت چندمحصولی (ترکیبی[1])**

هنگامی که دو یا چند محصول به طور هم‌زمان در یک زمین کشت می‌شوند، به عنوان حالت چندکشتی یا کشت چندمحصولی شناخته می‌شود. به عنوان مثال،کشت گندم و باقلا یا ذرت و سویا در یک زمین به طور هم‌زمان، چند کشتی است. این عمل خطر از بین رفتن محصولات به دلایل محیطی مختلف را به حداقل می‌رساند.

محصولاتی که قرار است با هم در حالت چندکشتی رشد کنند، باید زمان بلوغ متفاوت و نیاز آبی متفاوتی داشته باشند. مواد مغذی مورد نیاز یک محصول باید کمتر از عناصر مورد نیاز گیاه دیگر باشد. یک محصول باید ریشهٔ عمیق داشته باشد و ریشهٔ دیگری باید کم‌عمق باشد. همهٔ این معیارها به یک الگوی چندکشتی موفق منجر می‌شود.

- **مزایای چندکشتی بودن**
  - ✓ افزایش بازدهی محصولات کشت‌شده
  - ✓ کاهش خطر از بین رفتن محصول
  - ✓ استفادهٔ بهینه و صحیح از منابع خاک
  - ✓ امکان برداشت بیش از یک نوع محصول
  - ✓ حفظ حاصل‌خیزی خاک
  - ✓ کنترل آفات و گسترش بیماری‌ها
  - ✓ استفادهٔ بهینه از منابع
  - ✓ صرفه‌جویی در فضا و زمان

۲. ۳. ۱. تناوب کشت محصولات زراعی

در این الگو، محصولات مختلف در یک زمین به‌ترتیب ازپیش‌برنامه‌ریزی‌شده کشت می‌شوند. محصولات زراعی به تناوب یک‌ساله، تناوب دوساله و تناوب سه‌ساله بسته به مدت زمان کشت آن‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. حبوبات برای افزایش حاصل‌خیزی خاک در برنامهٔ تناوب کشت زراعی گنجانده می‌شوند. محصولاتی که نیاز به ظرفیت بالای خاک از نظر منابع غذایی دارند (مانند گندم) را می‌توان بعد از حبوبات کشت انجام داد. محصولاتی که نیاز به ظرفیت پایین‌تری از نظر منابع غذایی خاک دارند را می‌توان بعد از محصولات دستهٔ اول کشت کرد.

- **مزایای رعایت تناوب زراعی در مزرعه**
  - ✓ حفظ حاصل‌خیزی خاک برای مدت طولانی
  - ✓ جلوگیری از رشد علف‌های هرز و آفات
  - ✓ عدم نیاز به کودهای شیمیایی زیاد
  - ✓ عدم تغییر ماهیت فیزیکی و شیمیایی خاک

۲. ۳. ۲. عوامل مؤثر بر الگوهای کشت

الگوهای کشت، سطح تولیدات کشاورزی را تعیین می‌کند که نشان‌دهندهٔ اقتصاد کشاورزی هر منطقه است؛ همچنین متأثر از سیاست‌های کشاورزی، در دسترس بودن نهاده‌های کشاورزی و فناوری است. الگوی کشت مناسب در بهبود حاصل‌خیزی خاک و در نتیجه، افزایش عملکرد محصولات مفید است و نیز حفاظت از محصولات و در دسترس بودن مواد مغذی برای آن‌ها را تضمین می‌کند.

1. Intercropping

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۲. ۴. آب مجازی

به طور کلی، اصطلاح آب مجازی نشان‌دهندهٔ مقدار آبی است که برای تولید مواد غذایی یا کالاهای تجاری استفاده می‌شود. اگر محصولات را به یک منطقهٔ خشک صادر کنند، دیگر در آن منطقهٔ خشک نیازی به مصرف آب برای تولید آن محصولات نیست. بنابراین تجارت بین‌المللی کالاها سبب انتقال این نوع آب در سطح بین‌المللی می‌شود. کشورهای کم‌آب با واردات محصولات آب‌بر، مانند مواد غذایی، آبی را که برای تولید آن نیاز است در بخش‌های دیگر مصرف می‌کنند. واردات آب مجازی بر قسمت‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی یک کشور اثر می‌گذارد و با امنیت غذایی ارتباط مستقیم دارد.

- **انواع آب مجازی و بحران آب**

از انواع آب مجازی می‌توان به آب مجازی هندوانه، آب مجازی برنج و آب مجازی گوشت اشاره کرد. بحران آب به وضعیتی گفته می‌شود که مشکل دسترسی به آب وجود داشته باشد. با زیاد شدن جمعیت، تعداد زیادی از کشورهای جهان در وضعیت بحران آب قرار دارند. در سرتاسر دنیا، میزان منابع آب شیرین در سال‌های گذشته به علت افزایش جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی، کاهش یافته است. عواملی مانند افزایش جمعیت کرهٔ زمین و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع محیط زیست برای تأمین نیازهای اقتصادی، تأثیر به‌سزایی بر منابع آب داشته است.

از نظر سازمان ملل متحد، مسائل مربوط به بحران و مدیریت آب پس از مشکل جمعیت، دومین مسئله مهم دنیا شناخته شده است. محدودیت ذخایر آب شیرین، در دسترس بودن آب کافی و مشکلات سیاسی در کشورهای دنیا به یک مشکل اساسی تبدیل شده است؛ و سبب شده که رشد در این کشورها را تحت تأثیر قرار دهد. طبق مطالعات و آمار ارائه‌شده توسط برنامهٔ عمران سازمان ملل متحد، نیمی از جمعیت دنیا برای رفع نیازهای خود، به آب کافی و سالم دسترسی ندارند. حدود یک میلیارد نفر و از هر پنج نفر یک نفر در دنیا به آب سالم دسترسی ندارند.

در خاورمیانه که یکی از مناطق کم‌آب جهان است، در سال‌های گذشته بین ترکیه، سوریه و عراق بر سر فرات، بین اردن، اسرائیل و لبنان برای رود اردن، میان ایران و افغانستان بر سر رود هیرمند اختلافات افزایش یافته است. طبق گزارش‌های فائو این منطقه ۱۴ درصد مساحت کرهٔ زمین را به خود اختصاص داده است، اما فقط ۲ درصد از منابع آب را در اختیار دارد. ایران به علت قرارگیری در اقلیم خشک و نیمه‌خشک و رشد روزافزون مصارف آب، در سال‌های آینده با خطر بروز بحران آب مواجه خواهد بود. پس برای مقابله با این مشکل باید نسبت به مصرف آب حساسیت بیشتری نشان داده شود که از جملهٔ این مصارف، آب مجازی است.

- **آب مجازی در کشاورزی**

آب مجازی و استفاده از ذخایر آب[1] با هم ارتباط متقابل دارند. مطابق تعریف، بهره‌وری آب یعنی مقدار محصول تولیدشده از واحد حجم آب که واحد بهره‌وری را عموماً به شکل کیلوگرم بر مترمکعب می‌گویند. اما آب مجازی مقدار آب مصرفی برای تولید اندازهٔ مشخصی از محصول است و واحد آب مجازی لیتر بر کیلوگرم است. در حالت کلی در بهره‌وری بیشتر به میزان تولید از آب و در این نوع آب بیشتر به مقدار آب مصرف‌شده در تولید محصولات تأکید دارد. در کل می‌توان نتیجه گرفت که با زیاد شدن بهره‌وری آب، میزان آب مجازی در تولیدات کم می‌شود و می‌تواند به صرفه‌جویی در آب مجازی کمک کند [۱۵ و ۱۶].

۲. ۵. بهینه‌سازی و الگوریتم هوش جمعی

فرایند بهینه‌سازی به طور کلی در چهار مرحله فرموله کردن، مدل‌سازی، بهینه‌سازی و استقرار مسئله انجام می‌شود. در واقع بهینه‌سازی به یافتن مناسب‌ترین راه حل از بین همهٔ راه حل‌های امکان‌پذیر اشاره دارد. استفاده از آن برای حل مسائل می‌تواند راه حل‌ها را به بهترین شکل ممکن مقایسه کند و شامل اطلاعاتی در مورد تابع هدف، محدودیت‌ها و قوانین مسئله است. هر مسئله با محدودیت‌هایی مانند محدودهٔ مقادیر ممکن برای یک تابع، مشخص می‌شود.

1. Water Reserves

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

برای یافتن راه حل بهینه باید از انواع الگوریتم ارزیابی عملکرد استفاده شود و در نهایت راه حل بهینه دارای حداقل خطا خواهد بود. سه عنصر اصلی برای حل یک نوع الگوریتم بهینه‌سازی وجود دارد: هدف، متغیرها و محدودیت‌ها. هر متغیر می‌تواند مقادیر متفاوتی داشته باشد و هدف یافتن مقدار بهینه برای هر یک از آن‌ها و در نهایت مقدار محاسبه‌شدهٔ تابع هدف است. روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دستهٔ الگوریتم‌های دقیق[1] و الگوریتم‌های تقریبی[2] تقسیم‌بندی می‌شوند.

الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق هستند، اما در مورد مسائل بهینه‌سازی سخت کارایی کافی را ندارند و زمان اجرای آن‌ها متناسب با ابعاد مسائل به صورت نمایی افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های تقریبی، قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی سخت هستند. الگوریتم‌های تقریبی به الگوریتم‌های ابتکاری[3] و فراابتکاری[4] و فوق ابتکاری[5] بخش‌بندی می‌شوند.

معیارهای مختلفی می‌تواند برای طبقه‌بندی الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی استفاده شود که در ذیل بیان می‌شود [۱۷]:

- **مبتنی بر یک جواب و مبتنی بر جمعیت:** الگوریتم‌های مبتنی بر یک جواب در حین فرایند جست‌وجو یک جواب را تغییر می‌دهند، در حالی که در الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت در حین جست‌وجو، یک جمعیت از جواب‌ها در نظر گرفته می‌شوند.
- **الهام‌گرفته از طبیعت و بدون الهام از طبیعت:** بسیاری از الگوریتم‌های تقریبی (فراابتکاری) از طبیعت الهام گرفته شده‌اند.
- **با حافظه و بدون حافظه:** برخی از الگوریتم‌های فراابتکاری فاقد حافظه هستند، به این معنا که این نوع الگوریتم‌ها از اطلاعات به‌دست‌آمده در حین جست‌وجو استفاده نمی‌کنند (به طور مثال تبرید). این در حالی است که در برخی از الگوریتم‌های فراابتکاری (نظیر جست‌وجوی ممنوعه) از حافظه استفاده می‌شود و این حافظه اطلاعات به‌دست‌آمده در حین جست‌وجو را در خود ذخیره می‌کند.
- **قطعی و احتمالی:** یک الگوریتم فراابتکاری قطعی (نظیر جست‌وجوی ممنوعه)، مسئله را با استفاده از تصمیمات قطعی حل می‌کند، اما در الگوریتم‌های فراابتکاری احتمالی (نظیر تبرید) یک سری قوانین احتمالی در حین جست‌وجو مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳. روش اجرا

۳. ۱. شبکه‌های آبیاری و اجزای آن

یک سیستم آبیاری از اجزای مختلفی تشکیل شده است که باید به صورت هماهنگ کار کنند تا هدف از اجرای سیستم را تأمین کنند. در کارهای کشاورزی سیستم‌های آبیاری برای این طراحی و اجرا می‌شوند که آب مورد نیاز زراعت را در زمان معین در اختیار گیاه قرار دهند. بنابراین یک سیستم آبیاری باید از خصوصیات زیر برخوردار باشد:

۱. به لحاظ اقتصادی به‌صرفه باشد.
۲. در زمان مورد نظر مقدار آب لازم را به مزرعه برساند.
۳. آب را به صورت یکنواخت در سطح مزرعه پخش کند.
۴. از پیچیدگی کمتری برخوردار بوده و حتی‌الامکان کار کردن با آن ساده باشد.

در صورتی که یک سیستم آبیاری از ویژگی‌های یادشده برخوردار باشد، می‌توان به کارایی و پایداری آن امیدوار بود. در غیر این‌صورت، همان‌گونه که شاهد شکست بسیاری از طرح‌های آبیاری بوده‌ایم، موفقیتی از آن کسب نخواهد شد [۱]. صرف نظر از

1. Exact algorithms
2. Approximate algorithms
3. Heuristic
4. Meta-heuristic
5. Hyper heuristic

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

نوع روشی که برای آبیاری در مزارع به کار گرفته می‌شود، هر سیستم یا شبکهٔ آبیاری از ۳ قسمت عمده تشکیل شده است که عبارت‌اند از:

۱. منبع آب[1]
۲. سیستم انتقال آب به مزرعه[2]
۳. سیستم توزیع آب در مزرعه[3]

۳. ۲. برنامه‌ریزی آبیاری

به کلیهٔ عملیاتی که طی آن مشخص شود چه موقع و چه مقدار آب به زمین داده شود برنامه‌ریزی آبیاری گویند [۱۸]. برنامه‌ریزی آبیاری از این نظر اهمیت دارد که علاوه بر صرفه‌جویی در مقدار آب، زارع می‌تواند هماهنگ با آن سایر عملیات کشاورزی را تنظیم کند. با برنامه‌ریزی آبیاری می‌توان استراتژی‌های آبیاری را نیز طراحی کرد. منظور از استراتژی آن است که آیا آبیاری به صورت کامل صورت پذیرد و یا اینکه آبیاری اندک انجام شود. در آبیاری کامل تمام نیازهای آبیار برآورده می‌شود تا بر اساس تابع تولید حداکثر مقدار محصول عاید شود [۱].

در این پژوهش نوعی تخصیص آب وابسته به زمان و مکان به صورت بهینه و با درنظرگیری آب مجازی به عنوان پارامتری مهم برای مدیریت کشت صحیح، به‌خصوص در نواحی کم‌آب، طراحی، محاسبه و اجرا می‌شود.

۳. ۳. الگوریتم جامعهٔ مورچگان

دو مشکل اصلی الگوریتم‌های تقریبی، گیر افتادن آن‌ها در نقاط بهینهٔ محلی و همگرایی زودرس به این نقاط است. بنابراین، الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل این مشکل ارائه شده‌اند. در واقع، الگوریتم‌های فراابتکاری یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که راهکارهای برون‌رفت از نقاط بهینهٔ محلی را دارند و قابلیت کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسائل را دارند [۱۹ و ۲۰]. سطوح گوناگونی از این نوع الگوریتم از جمله الگوریتم جامعهٔ مورچگان در دهه‌های اخیر توسعه یافته است [۲۱]. برخی از روش‌های فراابتکاری بر پایهٔ مطالعات شکل‌گرفته روی رفتار اجتماعی حیوانات ایجاد شده‌اند [۲۲].

در بین رفتارهای مختلف، رفتار جست‌وجوی غذا یکی از عوامل مهم ایجاد این‌گونه سیستم‌های مصنوعی بوده است [۲۳]. الگوریتم مورچه با الگوی تصادفی خود ضمن اجرای الگوریتم می‌تواند از جواب‌های قبلی برای هدایت جست‌وجو و ایجاد جواب‌های جدید بهره گیرد. معروف‌ترین رفتار گروهی مورچه‌ها که به صورت گسترده در مسائل مختلف بهینه‌سازی مورد مطالعه قرار گرفته است، نحوهٔ عملکرد آن‌ها در جست‌وجوی غذا است. مورچه‌ها قادرند کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و منبع غذایی را با کارایی بسیار بالایی پیدا کنند.

مورچه‌های واقعی در حین حرکت، ماده‌ای شیمیایی به نام فرومون روی مسیر خود به جای می‌گذارند. در مسیرهای کوتاه‌تر، مورچه‌ها راحت‌تر و سریع‌تر به غذا می‌رسند، در نتیجه در این مسیرها فرومون بیشتری ریخته شده و به دلیل حساسیت مورچه‌ها نسبت به آن، بیشتر جذب این مسیرها می‌شوند و مسیرهای مناسب‌تر شناسایی می‌شوند.

رفتار دیگر مورچه‌ها، ساخت قبرستان و مراقبت از کودکان است که این دو رفتار اجتماعی و عملکرد مورچه‌ها، مفهوم خوشه‌بندی و دسته‌بندی را نشان می‌دهد. در این روش‌ها برای شبیه‌سازی رفتار مورچه‌های واقعی، مورچه‌های مصنوعی تعریف می‌شوند. برخی از مطرح‌ترین الگوریتم مورچه‌ها سیستم مورچه نخبه[4]، سیستم مورچه ماکسیمم- مینیمم[5] و سیستم کلونی مورچه[6] هستند [۲۳].

1. Water Source
2. Delivery system to field
3. Distribution system in the field
4. Ant-System
5. Min-Max Ant System
6. Ant Colony System

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۳. ۴. تابع هدف

در اینجا کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی با درنظرگیری آب مجازی هدف نهایی پژوهش است. از این‌رو تابعی باید طراحی شود که در آن آب مجازی، نوع محصولات، میزان نیاز آبی آن‌ها، مساحت زیر کشت هر محصول پارامترهای اساسی باشد. با مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده طبق مستندات سامانهٔ جهانی ردپای آب[1] مجازی، میزان میانگین آب مجازی برای محصولات مختلف و همچنین تابع محاسبهٔ شرایط بهینهٔ کشت و آبیاری با توجه به آب مجازی به صورت رابطهٔ ۱ مشخص شد.

داده‌های مورد نیاز برای پارامترهای اساسی از جمله شرایط محدودهٔ مطالعاتی و میزان آب موجود و نیاز آبی محصولات در آن ناحیه توسط سامانهٔ ملی توتک جمع‌آوری شده است. همچنین گیاهان قابل کشت و مناسب آن ناحیه نیز از طریق مشاهده و تحقیقات محلی شناسایی شده است. برخی پارامترها مانند میزان میانگین آب مجازی برای هر محصول، آب مورد نیاز محصولات به صورت کلی نیز از طریق سامانهٔ جهانی ردپای آب شناسایی شده است.

توابع مشخص‌شده برای قرارگیری به عنوان تابع هدف در سامانهٔ جهانی ردپای آب مجازی مطابق روابط ذیل ارائه می‌شود [۲۴].

$$Z = \sum_{i=1}^{n} (V_i * Y_i) \qquad (۱)$$

هدف این پژوهش حداقل رسانیدن تابع شمارهٔ ۱ است. بیان مفهوم هر یک از پارامترهای یادشده:

Z = کل ردپای آب مجازی (مترمکعب در هکتار)

Vi = ردپای آب مجازی (متر مکعب در تن) محصول i ام

Yi = مساحت (هکتار) اختصاص‌داده‌شده به محصول i ام

۴. پیاده‌سازی روش پیشنهادی

۴. ۱. محدودهٔ مطالعاتی

روستای قورتان مرکز دهستان گاوخونی، از توابع بخش بن‌رود شهرستان اصفهان، در موقعیت جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۳ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۲ درجه و ۲۷ دقیقهٔ عرض شمالی، در فاصلهٔ ۱۹ کیلومتری جنوب شرقی هرند و ۱۱۰ کیلومتری شرق اصفهان و در ۳۵ کیلومتری تالاب گاوخونی واقع شده است. ارتفاع روستای قورتان از سطح دریا ۱۴۸۰ متر و آب‌وهوای آن نیمه‌خشک است. فاصلهٔ این روستا تا شهر ورزنه (مرکز بخش بن‌رود) حدود ۱۲ کیلومتر و تا تالاب گاو خونی، ۳۵ کیلومتر است. پیشهٔ اصلی مردم نیز همانند همهٔ روستاییان بن‌رود،کشاورزی و دامداری است. زمین‌های کشاورزی این روستا نیز در بخش‌های شرقی و غربی روستا متمرکز شده است. زمین‌های کشاورزی به صورت خطی و مستقیم و هم‌عرض با جریان رودخانهٔ زاینده‌رود است. در این زمین‌ها محصولات متنوعی کشت می‌شود که از میان مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به پنبه، یونجه، ذرت، ارزن، جو و گندم اشاره کرد.

۴. ۲. معرفی قطعه زمین‌های زیر کشت

بحران کم‌آبی مشکلی است پیچیده و عمیق که کشاورزان کشورمان را با تبعات آن درگیر کرده است و نظر به کاهش بارش‌های آسمانی و کمبود سفره‌های آبی زیرزمینی،گویا راه‌حلی برای آن یافت نمی‌شود. مطابق آمار سازمان جهاد کشاورزی، ۹۵ درصد آب استحصالی کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود که متأسفانه بازده آبیاری در این بخش ۳۰ درصد است. به بیانی دیگر، از ۹۰ میلیارد متر مکعب که در اختیار این بخش قرار می‌گیرد تنها ۲۷ میلیارد متر مکعب آن مورد استفاده گیاهان است.

این تلفات نه‌تنها باعث از دست رفتن آب می‌شود، بلکه باعث صدمات جدی دیگر از قبیل شور و ماندابی شدن اراضی، فرسایش خاک، کاهش حاصل‌خیزی خاک، کاهش کمی و کیفی تولیدات کشاورزی و درنهایت آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. در ایران سالیانه حدود ۶ میلیون هکتار به کشت آبی اختصاص دارد که ۹۵ درصد آن به روش سطحی سنتی

1. Water Foodprints

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

آبیاری می‌شود. مهم‌ترین دلایل پایین بودن بازده آبیاری در ایران را می‌توان «ناهمواری اراضی زراعی»، «خاکی و غیرفنی بودن مسیر انتقال و توزیع آب» و «عدم برنامه‌ریزی آبیاری در مزارع توسط کشاورزان» نام برد.

فناوری‌های جدید این مشکل را تا حد زیادی مرتفع کرده‌اند. به عبارتی دیگر، به جای افزایش میزان آبیاری مزارع، می‌توان بهره‌وری از آب موجود را افزایش داد. با این تفاسیر و با توجه به کمبود آب و عدم مدیریت بهینه در بخش‌های مختلف کشاورزی و استفادهٔ بهینه از آب موجود در شهرستان اصفهان و بخش‌های زیرمجموعهٔ آن و با توجه به اینکه بخش اعظم اتلاف آب در کشاورزی بر اثر انتقال‌های پیاپی از یک زمین به زمین دیگر، با وسعت‌های خیلی کم و همچنین، ناهمواری‌های زمین‌ها باعث افزایش زمان در آب‌رسانی و آبیاری کل زمین‌ها است.

طرح‌های عمرانی مختلفی مورد بررسی قرار گرفته و اجرا شده است که می‌توان از مهم‌ترین آن‌ها از طرح یکپارچه‌سازی و تجهیز و نوسازی اراضی کشاورزی نام برد که این طرح در بخش بن‌رود در چند قسمت از جمله «قورتان» و «ورزنه» در حال اجرا است که طرح قورتان به دلیل وسعت کمتر و همکاری و حمایت بیشتر کشاورزان به نتیجه رسید و تسطیح لیزری و یکپارچه‌سازی اراضی آن به اتمام رسید. مبنای کار در این پژوهش بر این اراضی قرار دارد. زمین‌های مورد مطالعه قبل از انجام طرح شامل اراضی با تعداد زیاد و مساحت‌های کم و مالکان مشخص بوده است.

با توجه به اینکه از نظر کیفیت زمین تفاوت زیادی بین کل اراضی نبوده است، بهترین روش به منظور مدیریت بهینه‌تر، یکپارچه‌سازی این اراضی با یک مدیریت واحد بوده است؛ که پس از انجام طرح، تفکیک‌ها منظم‌تر و در راستای شبکه‌های آبرسانی و انتقال آب بوده است. در واقع تعداد اراضی قبل از یکپارچه‌سازی بیش از ۴۰۰ قطعه بوده است که پس از یکپارچه‌سازی با افزایش مساحت هر قطعه، این تعداد به ۲۹۶ قطعه کاهش یافته است. این اراضی دارای مساحتی برابر با ۵۶۳/۵۳ هکتار به صورت خالص است. پژوهش حاضر در راستای بهینه‌سازی مکانی- زمانی تخصیص آب در این اراضی، یکپارچه‌سازی شده است؛ که تقسیمات و موقعیت کلی اراضی در شکل ۱ نمایش داده شده است.

شکل ۱. نمایی از اراضی مورد مطالعه روی تصویر ماهواره‌ای

۴. ۲. ۱. وضعیت آب در منطقهٔ مطالعاتی

بر اساس آمار و ارقامی که در بخش‌های پیشین ذکر شد و پس از بررسی پارامترها، معیارها و محصولات مختلف، یک برنامهٔ زمانی آبیاری تجربی به دست آمده است که کشاورزان بر پایهٔ این برنامه، نسبت به تخصیص آب اقدام می‌کنند. با توجه به اینکه حتی کشاورزان با استفاده از تجربهٔ خود نسبت به انتخاب نوع محصول و میزان کشت اقدام به آبیاری می‌کنند، باز هم شاهد کمبود آب در زمان‌های مختلف سال هستیم که این میزان کمبود را از چاه‌های سطحی منطقه تأمین می‌کنند.

در واقع بر اساس برنامهٔ زمانی آبیاری سنتی و تجربی که تخصیص آب بر اساس آن انجام می‌گیرد، بعضی روزهای سال مثل ۵ روز سوم و ششم فروردین یا ۵ روز اول و سوم و ششم خردادماه با اینکه مقدار قابل توجهی آب در دسترس است و نیاز به آب نداریم و کل آب در دسترس در این روزها به هدر می‌رود و برعکس در بعضی از زمان‌ها مانند ماه‌های تیر، مرداد و شهریور کمبود آب به‌شدت احساس می‌شود.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

با توجه به این نکته باید برنامهٔ زمانی آبیاری را به گونه‌ای تغییر دهیم که کمترین پرت آب و به تبع آن، کمترین کمبود آب را داشته باشیم. برای این منظور، نیاز است که ابتدا کلیهٔ اطلاعات پایه به یک پایگاه داده جامع تبدیل شود و پس از تهیهٔ این پایگاه داده نسبت به بهینه‌سازی مکانی- زمانی بر اساس مدل ACO در نرم‌افزار Matlab و توانایی‌ها و قابلیت‌های GIS و به تبع آن، تهیهٔ برنامهٔ مکانی- زمانی آبیاری و کشت اقدام کرد.

۴. ۳. مراحل اجرای روش پیشنهادی

در این مرحله، ابتدا یک ساختار کلی برای مسئلهٔ پیش رو تعریف می‌شود. این ساختار کلی ممکن است خیلی دقیق نباشد اما وضعیت کلی مسئله را که شامل فاکتورهای ورودی و خروجی و اهداف مسئله است، بیان می‌کند. شفاف‌سازی و ساختاردهی به مسئله، ممکن است برای بسیاری از مسائل بهینه‌سازی، کاری پیچیده باشد.

شکل ۲. فلوچارت کلی پژوهش

ابتدا یک مدل ریاضی بر اساس مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده به عنوان تابع هدف برای مسئله ایجاد می‌شود [۲۵] (بخش ۳ـ ۴ـ روابط ۱ و ۴). این گام موجب تجزیهٔ مسئله به ساختار مناسب برای بهینه‌سازی می‌شود. یکی از مواردی که قبل از اجرای الگوریتم باید مشخص باشد، تعداد مورچه‌ها است. در مرحلهٔ ابتدایی اجرای الگوریتم مورچه‌ها به طور تصادفی در فضای پاسخ قرار می‌گیرند.

برای تنظیم فرومون اولیه می‌توان از یک مقدار تصادفی در بازه $[0,\tau_0]$ استفاده کرد. حداکثر تعداد تکرار الگوریتم، شاخص دیگری است که قبل از شروع الگوریتم باید تنظیم شود. در هر تکرار مورچه‌ها برای انتقال از موقعیت کنونی به موقعیت بعدی از یک تابع احتمال بر اساس رابطهٔ ۲ استفاده می‌کنند.

$$P_{ij}^{k}(t)=\begin{cases}\dfrac{\tau_{ij}^{\alpha}(t)*_{ij}^{\beta}(t)}{\sum_{j\in N_i^k}\tau_{ij}^{\alpha}(t)*_{ij}^{\beta}(t)}, j\in N_j^k\\ 0\ ,\ j\notin N_j^k\end{cases} \qquad (۲)$$

در این رابطه $P_{ij}^{k}(t)$ احتمال انتقال مورچه k ام در زمان t از موقعیت i به موقعیت j است. τ_{ij} چگالی فرومون متناظر حرکت از i به j است. η_{ij} میزان مطلوبیت حرکت از i به j. N_j^k مجموعه موقعیت‌های مجازی است که هنوز توسط مورچه k ام بررسی نشده است. از α جهت تنوع‌بخشی به پاسخ‌ها و β به عنوان نرخ یادگیری استفاده می‌شود.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

موقعیت‌های قبلی که توسط مورچه بررسی شده در لیستی قرار می‌گیرد تا دوباره به عنوان پاسخ مناسب انتخاب نشود. در نهایت کل پاسخ‌های انتخاب‌شده با استفاده از تابع هدف (رابطهٔ ۱) بررسی شده و اگر بهینه‌تر از مجموعه پاسخ تکرار قبلی الگوریتم بود، به عنوان پاسخ مناسب جایگزین آخرین پاسخ بهینه می‌شود [۲۶].

با توجه به جمیع جوانب از جمله رسیدن به دقت بهتر و درنظرگیری تمامی پاسخ‌ها و راه‌حل‌ها و نوین بودن استفاده از آن در پژوهش حاضر، از الگوریتم یادشده برای بهینه‌سازی در این پژوهش استفاده شده است. از این‌رو، در ادامه مقادیر مناسب شناسایی‌شده برای پارامترهای اساسی این الگوریتم بیان می‌شود که در جدول ذیل (جدول ۲) آمده است.

جدول ۲. مقادیر پارامترهای اساسی الگوریتم جامعهٔ مورچگان

پارامتر	مقدار در این پژوهش
تعداد مورچه‌ها	$Number\ of\ Ants = 20$
تعداد تکرار	$Iteration = 100$
نرخ تنوع‌بخشی	$\alpha = 1$
نرخ یادگیری	$\beta = 1$
τ_0	1
τ	$\tau = \tau_0 * Ones\ Matrix$
η	$\eta = 1/\sum(V_i * Y_i)$
نرخ تبخیر فرومون	$\rho = 0.05$
نرخ افزایش فرومون	$1/Cost(ant_i)$
شروط تکمیلی مرتبط با تابع هدف	$\sum(X_i) = 1$ $\sum(Y_i) \leq A$ $\sum(W_i * Y_i) \leq B$ $Y_i \geq 0, for = 1,2,3,4,5$

(نکات تکمیلی پارامترها:

Yi ـ مساحت تحت کشت هر محصول

Xi ـ نسبت زمین تحت کشت هر محصول

A ـ کل سطح قابل کشت

Wi ـ نیاز آبی هر محصول

B ـ حداکثر ردپای مجاز آب مجازی [۲۴])

ابتدا با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان تخصیص مرحلهٔ اول آبیاری را بهینه می‌کنیم. به این‌صورت که داده‌های جمع‌آوری‌شده برای آب موجود، آب مورد نیاز کشت محصولات، آب مجازی برای محصولاتی که در آن منطقه کشت می‌شوند، مساحت قطعه زمین‌ها برای کشت محصولات همراه با تابعی که به عنوان تابع هدف به منظور بهینه‌سازی الگوی کشت با پارامترهای بیان‌شده ذکر شده است (رابطهٔ ۱). به علاوه با پارامترهای الگوریتم کلونی مورچگان که پیش‌تر با جزئیات مشخص شد (جدول ۲)؛ در محیط نرم‌افزار MATLAB و ArcGIS برای اجرا، نمایش و ذخیره‌سازی و پردازش‌های استفاده می‌شود.

طبق جدول ۳ که خروجی اولیه نرم‌افزار MATLAB پس از تخصیص بهینه‌سازی مرحلهٔ اول آب است، زمان اولین آبیاری در روزهای مجاز بازهٔ زمانی را نشان می‌دهد؛ که باید این برنامه کامل‌تر و جامع‌تر شود. به این معنا که این برنامه باید به کل سال و کل دفعات آبیاری تعمیم داده شود. به این‌منظور، ابتدا برنامه را به کل زمان‌های آبیاری تعمیم داده و بر اساس این برنامه تعمیم داده شده، یک برنامهٔ بهینه‌شده طی دورهٔ رشد محصولات مختلف در کل سال را ارائه می‌شود.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

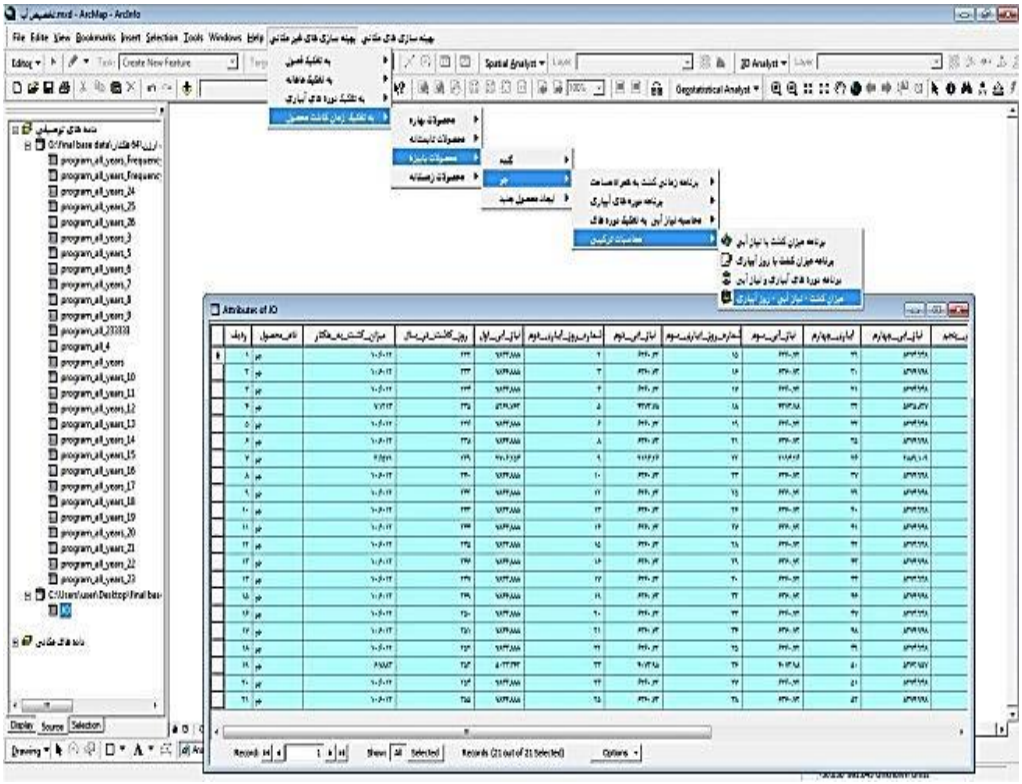
جدول ۳. میزان آبیاری اول برای هر محصول در هکتار و روز کاشت

میزان آب اولین آبیاری کشت اول هر محصول در بازهٔ زمانی مجاز (هکتار)					روز آبیاری در بازهٔ زمانی مجاز
یونجه	گندم	جو	پنبه	ارزن	
۴۷.۳	۲۱.۱۲	۰	۸۱.۳	۰	۱
۴۰.۵	۲۱.۱۲	۶۰.۱۰	۷۵.۱	۰	۲
۴۰.۵	۲۱.۱۲	۶۰.۱۰	۵۳.۱	۸۰.۴	۳
۴۰.۵	۲۱.۱۲	۶۰.۱۰	۳۱.۰	۰	۴
۰	۲۱.۱۲	۱۲.۷	۳۹.۱	۸۰.۴	۵
۴۰.۵	۲۱.۱۲	۶۰.۱۰	۲۱.۲	۰	۶
۰	۲۱.۱۲	۰	۰	۰	۷
۰	۷۷.۱۰	۶۰.۱۰	۲۵.۲	۷۹.۰	۸
۴۰.۵	۲۱.۱۲	۶۵.۳	۰	۰	۹
۴۰.۵	۲۱.۱۲	۶۰.۱۰	۸۱.۳	۸۰.۴	۱۰
۱۸.۴	۲۱.۱۲	۰	۸۱.۳	۸۰.۳	۱۱
۲۶.۲	۲۱.۱۲	۶۰.۱۰	۸۱.۳	۳۷.۳	۱۲
۰۸.۲	۲۱.۱۲	۶۰.۱۰	۵۲.۲	۸۰.۴	۱۳
۴۰.۵	۴۲.۲	۶۰.۱۰	۸۱.۳	۱۱.۳	۱۴
۰	۴۰.۲	۶۰.۱۰	۸۱.۳	۷۱.۳	۱۵
۴۰.۵	۰	۶۰.۱۰	۸۱.۳	۸۰.۴	۱۶
۴۰.۵	۰۰.۱	۶۰.۱۰	۸۱.۳	۹۳.۱	۱۷
۵۱.۴	۲۱.۱۲	۰	۸۱.۳	۸۰.۴	۱۸
۳۹.۴	۳۸.۶	۶۰.۱۰	۸۱.۳	۸۰.۴	۱۹
۴۰.۵	۰	۶۰.۱۰	۸۱.۳	۸۰.۴	۲۰
۰۶.۲	۲۱.۱۲	۶۰.۱۰	۸۱.۳	۸۰.۴	۲۱
_	۰	۶۰.۱۰	۸۱.۳	۸۰.۴	۲۲
_	۰	۷۸.۶	۴۰.۳	_	۲۳
_	۰	۶۰.۱۰	۸۸.۰	_	۲۴
_	۰	۶۰.۱۰	۸۱.۳	_	۲۵
_	۲۱.۲	۰	۶۰.۱	_	۲۶
_	۰	۰	۰	_	۲۷
_	۰	۰	۷۴.۱	_	۲۸
_	۰	۰	۸۱.۳	_	۲۹
_	۰	۰	۸۱.۳	_	۳۰
_	۰	۰	۱۹.۱	_	۳۱
_	۰	۰	_	_	۳۲
_	۰	۰	_	_	۳۳
_	۰	۰	_	_	۳۴
_	۰	۰	_	_	۳۵
_	۰	۰	_	_	۳۶
_	۰	۰	_	_	۳۷
_	۰	۰	_	_	۳۸
_	۰	۰	_	_	۳۹
_	۰	۰	_	_	۴۰
_	۰	۰	_	_	۴۱

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

در مرحلهٔ بعد، پس از بهینه‌سازی تخصیص اولیه آب با درنظرگیری تمامی پارامترهای اثرگذار و مهم از جمله آب مجازی، بهینه‌سازی مکانی- زمانی تخصیص آب انجام می‌شود. به این‌صورت که تخصیص زمان و میزان آبیاری محصولات طی زمان (یکساله) با استفاده از الگوریتم جامعهٔ مورچگان و قسمت سوم شروط تکمیلی تابع هدف (جدول ۲) و بر اساس مدل Snapshot که پیش‌تر شرح داده شده، صورت می‌پذیرد. در شکل ۳ نمایی از آماده‌سازی جدول زمانی آبیاری یک محصول در کل دورهٔ رشد به همراه نیاز آبی نشان داده شده است.



شکل ۳. نمایی از آماده‌سازی جدول زمانی آبیاری یک محصول در کل دورهٔ رشد به همراه نیاز آبی آن

پس از تهیهٔ جدول زمانی و نیاز آبی تک‌تک محصولات طی دورهٔ رشد با ترکیب این جدول‌ها با یکدیگر به یک برنامهٔ زمانی آبیاری طی سال دست می‌یابیم که در آن زمان و میزان نیاز آب و مساحت تحت آبیاری مشخص شده است. در واقع، برنامهٔ محصولات مختلف را به گونه‌ای توزیع داده است که هیچ‌گونه زمانی که به آب نیاز نداریم وجود ندارد و به نوعی از آب موجود در زمان‌های مختلف بیشترین استفاده را می‌برد. در جدول زیر (جدول ۴) برنامهٔ بهینه‌شده به تفکیک دهه‌های مختلف ماه در کل سال نشان داده شده است که می‌توان برای استفادهٔ بیشتر و بهتر از آب مجازی استفاده کرد.

بر اساس برنامهٔ زمانی بهینه‌سازی‌شدهٔ فوق، می‌توان تفاوت میزان آب موجود و آب در دسترس را در هر ماه به صورت زیر بیان کرد. این نمودار بیانگر آن است که میزان کمبود آب در مقایسه با برنامه قبل از بهینه‌سازی بسیار کاهش پیدا کرده است.

در واقع، هدف نهایی تهیه یک برنامهٔ مکانی- زمانی بهینه‌شدهٔ آبیاری است و با روش پیشنهادی این پژوهش به برنامه‌ای دست می‌یابیم که مشخص است کدام محصول در چه مساحت و مکانی به چه میزان نیاز به آبیاری در چه زمان‌هایی از سال دارد. به این صورت که وقتی نقطه‌ای به عنوان شروع آبیاری هر محصول مشخص می‌شود، سیستم با توجه به این نقطهٔ شروع، فاصلهٔ زمانی آبیاری محصولات در دوره‌های مختلف، بر اساس گردش آب، همچنین میزان و نوع محصولات مختلف و بر اساس طبقه‌بندی زمانی (ماهانه یا دهه‌ای) نسبت به مشخص کردن اراضی که باید در هر زمانی آبیاری شوند، اقدام کند.

Archive of SID.ir

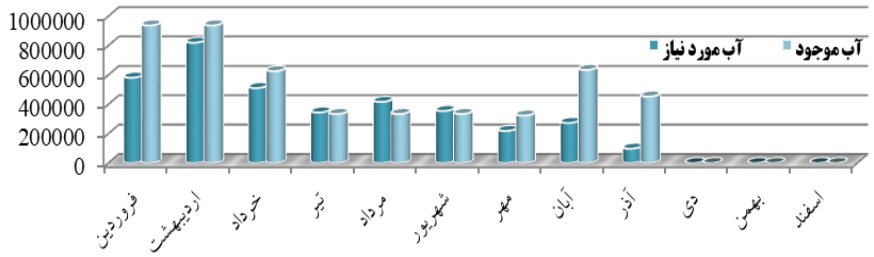
Archive of SID.ir

جدول ٤. برنامهٔ زمانی آبیاری بهینه‌شدهٔ محصولات

دشت: قورتان استان: اصفهان حوضهٔ آبریز: رودخانهٔ زاینده‌رود

محصول: ارزن، پنبه، جو، گندم، یونجه

ماه	گروه ۱۰ روزه	نام محصول	مجموع میزان آب مورد نیاز (m^3/hec)	ماه	مجموع آب در دسترس	گروه ۱۰ روزه	نام محصول	مجموع میزان آب مورد نیاز (m^3/hec)	مجموع آب در دسترس
فروردین	۱	جو و گندم و یونجه	۱۳۸۸۸۲,۵۵	مهر	۳۰۲۴۰۰	۱	ارزن و پنبه و یونجه	۸۷۲۱۴,۸۷	۱۰۸۰۰۰
	۲	جو و گندم و یونجه	۲۰۱۸۱۵,۰۹		۳۰۲۴۰۰	۲	ارزن و پنبه و یونجه	۷۴۲۷۸,۵۰	۱۰۸۰۰۰
	۳	پنبه و جو و گندم و یونجه	۲۴۱۲۵۰,۰۴		۳۳۲۶۴۰	۳	ارزن و پنبه و یونجه	۵۸۱۳۸,۶۷	۱۰۸۰۰۰
	جمع	-	۵۸۱۹۴۷,۶۸		۹۳۷۴۴۰	جمع	-	۲۱۹۶۳۲,۰۴	۳۲۴۰۰۰
اردیبهشت	۱	پنبه و جو و گندم و یونجه	۲۵۱۹۳۴,۶۷	آبان	۳۰۲۴۰۰	۱	ارزن و پنبه و یونجه	۳۲۹۴۲,۷۳	۱۰۸۰۰۰
	۲	پنبه و جو و گندم و یونجه	۲۷۵۱۵۶,۲۷		۳۰۲۴۰۰	۲	پنبه و جو و گندم و یونجه	۱۰۵۹۸۶,۹۷	۲۲۴۶۴۰
	۳	پنبه و جو و گندم و یونجه	۲۹۳۳۸۱,۴۹		۳۳۲۶۴۰	۳	جو و گندم و یونجه	۱۳۴۸۵۵,۲۵	۳۰۲۴۰۰
	جمع	-	۸۲۰۴۷۲,۴۳		۹۳۷۴۴۰	جمع	-	۲۷۳۷۸۴,۹۵	۶۳۵۰۴۰
خرداد	۱	پنبه و جو و گندم و یونجه	۲۱۸۶۰۳,۸۷	آذر	۳۰۲۴۰۰	۱	جو و گندم و یونجه	۹۳۶۸۴,۳۹	۳۰۲۴۰۰
	۲	پنبه و جو و گندم و یونجه	۱۵۸۲۶۸,۵۱		۲۰۵۲۰۰	۲	یونجه	۴۸۵۷,۵۱	۱۵۱۲۰۰
	۳	پنبه و گندم و یونجه	۱۳۴۵۹۹,۶۷		۱۱۸۸۰۰	۳	۰	۰	۰
	جمع	-	۵۱۱۴۷۲,۰۵		۶۲۶۴۰۰	جمع	-	۹۸۵۴۱,۹	۴۵۳۶۰۰
تیر	۱	پنبه و گندم و یونجه	۱۰۹۹۴۵,۲۸	دی	۱۰۸۰۰۰	۱	۰	۰	۰
	۲	پنبه و یونجه	۱۰۶۱۱۱,۷۸		۱۰۸۰۰۰	۲	۰	۰	۰
	۳	ارزن و پنبه و یونجه	۱۲۹۰۲۲,۳۰		۱۱۸۸۰۰	۳	۰	۰	
	جمع	-	۳۴۵۰۷۹,۳۶		۳۳۴۸۰۰	جمع	-	۰	۰
مرداد	۱	ارزن و پنبه و یونجه	۱۳۷۳۳۵,۸۵	بهمن	۱۰۸۰۰۰	۱	۰	۰	۰
	۲	ارزن و پنبه و یونجه	۱۳۱۸۶۳,۰۱		۱۰۸۰۰۰	۲	۰	۰	۰
	۳	ارزن و پنبه و یونجه	۱۴۷۹۲۳,۷۳		۱۱۸۸۰۰	۳	۰	۰	
	جمع		۴۱۷۱۲۲,۵۹		۳۳۴۸۰۰	جمع	-	۰	۰
شهریور	۱	ارزن و پنبه و یونجه	۱۳۰۸۲۱,۵۹	اسفند	۱۰۸۰۰۰	۱	۰	۰	۰
	۲	ارزن و پنبه و یونجه	۱۱۴۰۹۳,۹۹		۱۰۸۰۰۰	۲	۰	۰	۰
	۳	ارزن و پنبه و یونجه	۱۱۰۳۱۸,۲۵		۱۱۸۸۰۰	۳	۰	۰	
	جمع	-	۳۵۵۲۳۳,۸۳		۳۳۴۸۰۰	جمع	-	۰	۰



نمودار ۱. تفاوت میزان آب موجود و آب در دسترس در هر ماه (m^3)

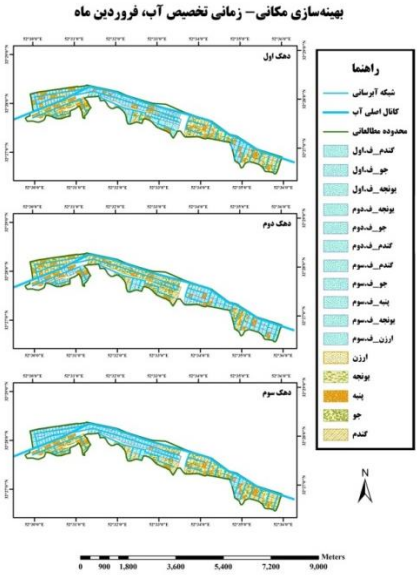
در واقع، سیستم در این مرحله با توجه به نوع محصولات و نیاز آبی آن‌ها که قبلاً آماده شده بود و با توجه به شبکهٔ آبرسانی و جهت‌های آن و بر اساس میزان مساحتی که قبلاً برای هر محصول محاسبه شده است، اقدام به مشخص کردن نوبت آبیاری هر محصول به تفکیک قطعات کشاورزی می‌کند و این اطلاعات را به صورت یک فیلد اطلاعاتی در لایهٔ یادشده اضافه می‌کند و پس از آن، می‌توان با استفاده از توانایی‌های عمومی GIS در تهیهٔ نقشه و خروجی گرفتن، نسبت به تهیهٔ نقشهٔ مکانی- زمانی آبیاری قطعات و محصولات اقدام کرد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

پس از ترکیب داده‌های مکانی و زمانی با یکدیگر و اعمال کلیهٔ معیارها و پارامترهای مورد نظر به نقشه‌هایی دست می‌یابیم که در آن میزان و نوع محصولاتی که باید آبیاری شوند را نشان می‌دهند. با این نقشه‌ها می‌توان طی سال نسبت به تخصیص آب اقدام کرد و به طور هم‌زمان مسئلهٔ زمانی و مکانی در برنامه‌های آبیاری در کل سال حل شود.

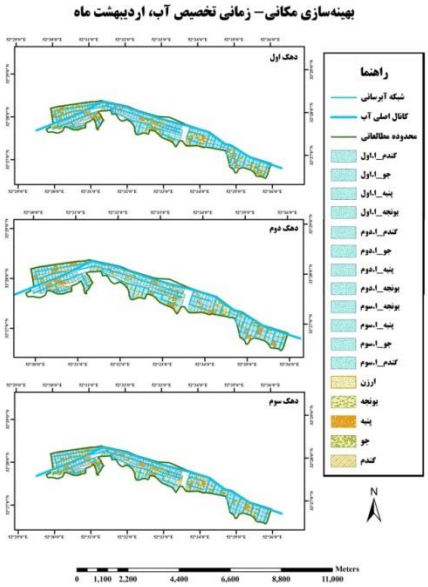
در زیر نقشه‌های آبیاری و تخصیص آب در کل سال در هر ماه از سال به صورت دهه‌های مختلف نشان داده شده است و در ذیل همهٔ این نقشه‌ها، میزان محصولاتی که باید در آن ماه آبیاری شوند به تفکیک محصول و دهه به صورت جدولی بیان شده است. به بیانی با استفاده از این نقشه‌ها و اطلاعات آن به نوعی خلأ وجود داده‌ای مکانی- زمانی برطرف شده است و این سامانه توانسته بهترین و کاراترین تصمیم و برنامه را به مدیر ارائه دهد. در نقشهٔ هر ماه سه زیرنقشه وجود دارد که به‌ترتیب از بالا به پایین، دههٔ اول هر ماه، دههٔ دوم و دههٔ سوم هستند.



نقشهٔ ۱. نقشهٔ زمانی- مکانی تخصیص آب در فروردین‌ماه

جدول ۵. میزان مساحت مورد نیاز برای آبیاری در فروردین‌ماه

ردیف	نام محصول	میزان مساحتی که باید آبیاری شوند (هکتار)		
		دههٔ اول	دههٔ دوم	دههٔ سوم
۱	ارزن	۰	۰	۰
۲	پنبه	۰	۰	۲۳.۱۲
۳	جو	۹۸.۷۴	۳۲.۱۴۴	۴۶.۱۷۰
۴	گندم	۶۴.۱۲۱	۵۴.۱۴۸	۱۳.۱۵۸
۵	یونجه	۵۱.۴۰	۷۲.۷۴	۷۷.۷۶



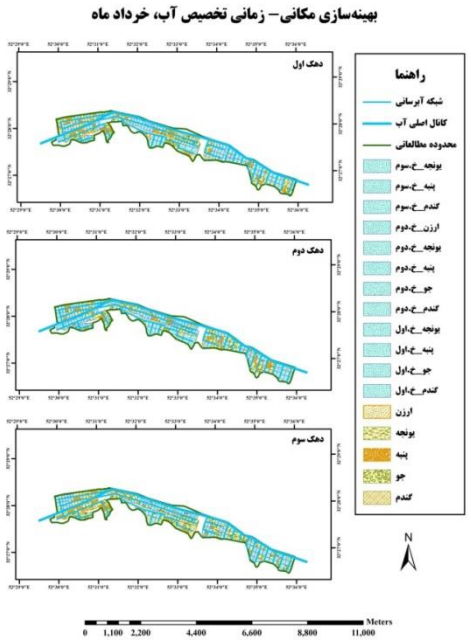
نقشهٔ ۲. نقشهٔ مکانی- زمانی تخصیص آب در اردیبهشت‌ماه

جدول ٦. میزان مساحت مورد نیاز برای آبیاری در اردیبهشت‌ماه

ردیف	نام محصول	میزان مساحتی که باید آبیاری شوند (هکتار)		
		دههٔ اول	دههٔ دوم	دههٔ سوم
۱	ارزن	۰	۰	۰
۲	پنبه	۷۳.۳۰	۸۷.۳۲	۶۸.۲۶
۳	جو	۷۸.۱۴۴	۵۸.۱۶۳	۳۰.۱۷۸
۴	گندم	۹۰.۱۴۳	۸۳.۱۴۴	۱۷.۱۸۶
۵	یونجه	۲۹.۶۶	۳۹.۶۳	۵۶.۶۸

Archive of SID.ir

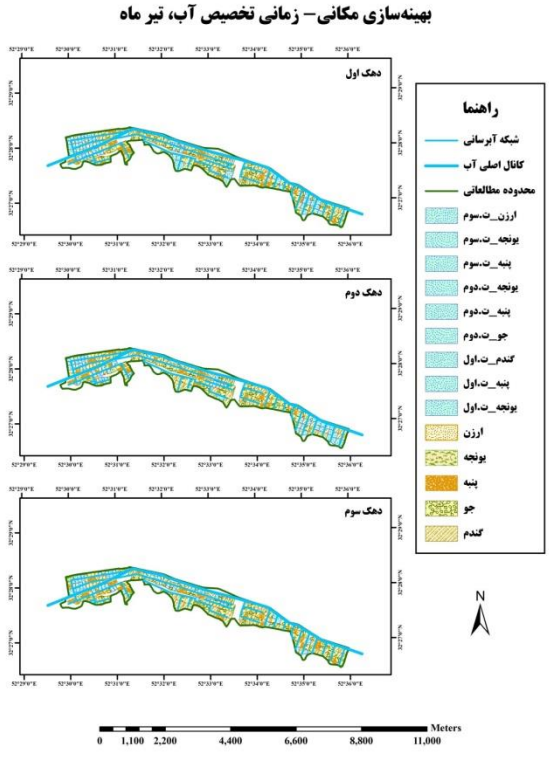
Archive of SID.ir



نقشهٔ ۳. نقشهٔ مکانی- زمانی تخصیص آب در خردادماه

جدول ۷. میزان مساحت مورد نیاز برای آبیاری در خردادماه

ردیف	نام محصول	میزان مساحتی که باید آبیاری شوند (هکتار)		
		دههٔ اول	دههٔ دوم	دههٔ سوم
۱	ارزن	۰	۳۶.۸۹	۰
۲	پنبه	۵۰.۳۲	۴۲.۳۷	۳۷.۴۶
۳	جو	۴۰.۱۲۳	۱۹.۴۹	۰
۴	گندم	۵۲.۱۱۸	۳۶.۱۲۲	۸۸.۱۳۱
۵	یونجه	۶۳.۵۶	۸۲.۶۸	۸۷.۷۴



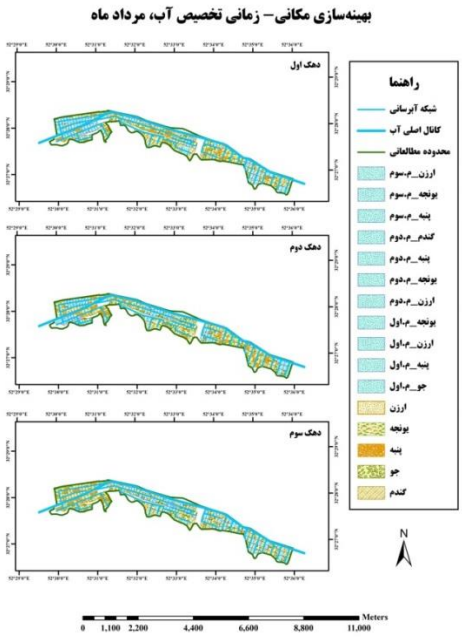
نقشهٔ ٤. نقشهٔ مکانی- زمانی تخصیص آب در تیرماه

جدول ۸. میزان مساحت مورد نیاز برای آبیاری در تیرماه

ردیف	نام محصول	میزان مساحتی که باید آبیاری شوند (هکتار)		
		دههٔ اول	دههٔ دوم	دههٔ سوم
۱	ارزن	۰	۰	۴۹.۳۲
۲	پنبه	۹۳.۵۵	۶۲.۰۹	۶۳.۶۸
۳	جو	۰	۳۱.۲۹	۰
۴	گندم	۲۸.۳۷	۰	۰
۵	یونجه	۳۹.۷۲	۴۸.۵۹	۴۳.۷۳

Archive of SID.ir

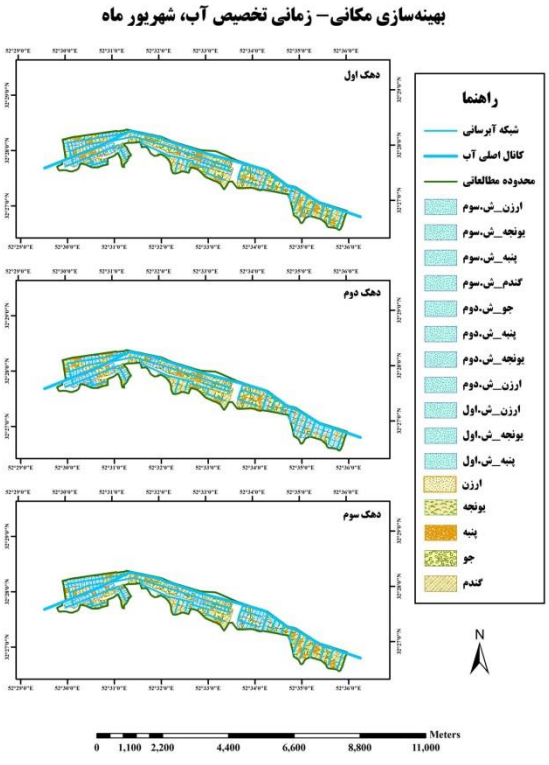
Archive of SID.ir



نقشهٔ ۵. نقشهٔ مکانی- زمانی تخصیص آب در مردادماه

جدول ۹. میزان مساحت مورد نیاز برای آبیاری در مردادماه

ردیف	نام محصول	میزان مساحتی که باید آبیاری شود (هکتار)		
		دههٔ اول	دههٔ دوم	دههٔ سوم
۱	ارزن	۷۸.۵۴	۴۱.۶۲	۷۲.۶۰
۲	پنبه	۴۲.۷۳	۷۵.۶۴	۱۰.۷۱
۳	جو	۱۸.۱۹	۰	۰
۴	گندم	۰	۳۱.۲۲	۰
۵	یونجه	۲۳.۵۷	۳۴.۶۴	۵۹.۷۱



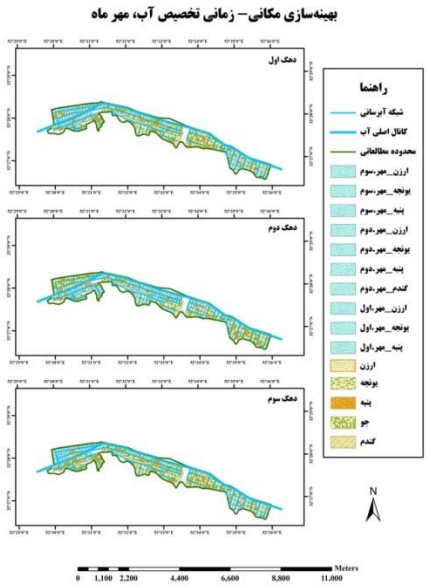
نقشهٔ ٦. نقشهٔ مکانی- زمانی تخصیص آب در شهریورماه

جدول ۱۰. میزان مساحت مورد نیاز برای آبیاری در شهریورماه

ردیف	نام محصول	میزان مساحتی که باید آبیاری شود (هکتار)		
		دههٔ اول	دههٔ دوم	دههٔ سوم
۱	ارزن	۵۸.۵۱	۸۷.۵۰	۴۴.۵۵
۲	پنبه	۸۱.۶۲	۳۵.۶۶	۸۵.۷۱
۳	جو	۰	۱۴.۲۳	۰
۴	گندم	۰	۰	۳۲.۱۸
۵	یونجه	۳۹.۶۵	۸۴.۵۷	۹۴.۷۰

Archive of SID.ir

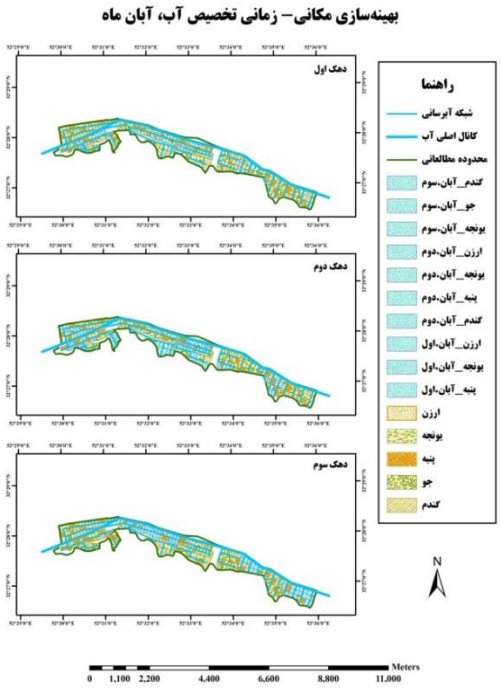
Archive of SID.ir



نقشهٔ ۷. نقشهٔ مکانی- زمانی تخصیص آب در مهرماه

جدول ۱۱. میزان مساحت مورد نیاز برای آبیاری در مهرماه

ردیف	نام محصول	میزان مساحتی که باید آبیاری شوند (هکتار)		
		دههٔ اول	دههٔ دوم	دههٔ سوم
۱	ارزن	۹۶.۵۰	۶۹.۵۳	۸۲.۴۱
۲	پنبه	۲۲.۷۱	۳۴.۶۷	۷۱.۵۸
۳	جو	۰	۰	۰
۴	گندم	۰	۶۷.۱۵	۰
۵	یونجه	۳۴.۶۰	۷۷.۵۹	۸۲.۶۵



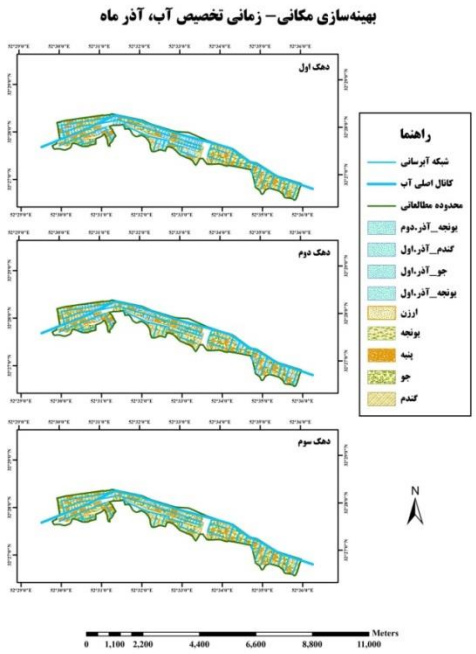
نقشهٔ ۸. نقشهٔ مکانی- زمانی تخصیص آب در آبان‌ماه

جدول ۱۲. میزان مساحت مورد نیاز برای آبیاری در آبان‌ماه

ردیف	نام محصول	میزان مساحتی که باید آبیاری شود (هکتار)		
		دههٔ اول	دههٔ دوم	دههٔ سوم
۱	ارزن	۸۰.۱۰	۵۸.۴۸	۰
۲	پنبه	۴۰.۴۵	۱۸.۱۳	۰
۳	جو	۰	۰	۸۶.۸۶
۴	گندم	۰	۲۹.۷۲	۸۶.۹۱
۵	یونجه	۳۹.۵۹	۶۴.۵۸	۷۴.۶۲

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



نقشهٔ ۹. نقشهٔ مکانی_ زمانی تخصیص آب در آذرماه

جدول ۱۳. میزان مساحت مورد نیاز برای آبیاری در آذرماه

ردیف	نام محصول	میزان مساحتی که باید آبیاری شوند (هکتار)		
		دههٔ اول	دههٔ دوم	دههٔ سوم
۱	ارزن	۰	۰	۰
۲	پنبه	۰	۰	۰
۳	جو	۸۲,۰۳	۰	۰
۴	گندم	۲۲.۳۸	۰	۰
۵	یونجه	۹۹.۵۹	۷۱.۲۳	۰

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پس از بهینه‌سازی و تهیهٔ برنامهٔ زمانی_ مکانی بهینه در زمینهٔ تخصیص آب در محصولات و قطعات مختلف و آماده‌سازی نقشه‌های تخصیص در این قطعات، باید نتایج به‌دست‌آمده را با برنامهٔ آبیاری و تخصیص قبل از بهینه‌سازی مقایسه کنیم و مشخص کنیم که آیا ترکیب این سامانه‌ها با یکدیگر و تصمیم‌گیری با این داده‌ها، به‌صرفه هست یا خیر. در واقع در این مرحله خلاصه‌ای از خروجی‌های پیش از بهینه‌سازی (استفاده از روش سنتی آبیاری) و بعد از بهینه‌سازی با هم مقایسه می‌شود و میزان بهینه‌شدگی مورد بررسی واقع می‌شود. مشکلات و مزایای هر یک نیز جداگانه بیان خواهد شد.

در آغاز، با توجه به اینکه نوع کشت مشخص است و به تبع آن، میزان آب مورد نیاز سالانه نیز مشخص و ثابت است و از طرفی، میزان سهمیه آب موجود طی سال نیز گویا و ثابت است، باید میزان اختلاف این دو را محاسبه کنیم. طبق جدول ۱۴، طی سال به میزان ۱۲۷۲۸۴۵,۹ مترمکعب آب مازاد بر نیاز وجود دارد و با این‌وجود، باز هم کشاورزان طی سال با کمبود آب مواجه هستند. شاید بخش اعظم این کمبود، بر اثر فقدان مدیریت در نحوهٔ تخصیص آب باشد.

جدول ۱۴. میزان آب موجود و مورد نیاز طی سال

عنوان	مقدار (متر مکعب)
کل آب در دسترس طی سال	۴۹۱۸۳۲۰,۰
کل آب مورد نیاز طی سال	۳۶۴۵۴۷۴,۱
اختلاف طی سال	+۱۲۷۲۸۴۵,۹

Archive of SID.ir

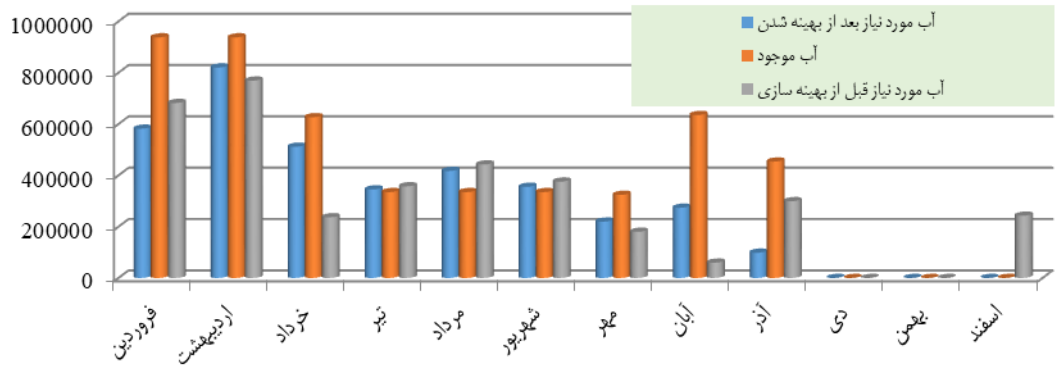
Archive of SID.ir

جدول ۱۵. میزان اختلاف در کمبود یا مازاد بودن آب موجود در مقابل آب مورد نیاز (m^3)

ردیف	ماه	میزان کمبود یا مازاد آب موجود و مورد نیاز قبل از بهینه‌سازی	میزان کمبود یا مازاد آب موجود و مورد نیاز بعد از بهینه‌سازی
۱	فروردین	۲.۲۵۵۳۳۴	۳۲.۳۵۵۴۹۲
۲	اردیبهشت	۵.۱۶۸۳۸۴	۵۷.۱۱۶۹۶۷
۳	خرداد	۲.۳۸۹۶۲۵	۹۵.۱۱۴۹۲۷
۴	تیر	-۱.۲۲۴۸۴	-۳۶.۱۰۲۷۹
۵	مرداد	-۳.۱۰۷۶۱۰	-۵۹.۸۲۳۲۲
۶	شهریور	-۷.۴۰۹۴۰	-۸۳.۲۰۴۳۳
۷	مهر	۵.۱۴۳۷۵۰	۹۶.۱۰۴۳۶۷
۸	آبان	۸.۵۵۵۸۱۶	۰۵.۳۶۱۲۵۵
۹	آذر	۸.۱۵۴۲۴۷	۱.۳۵۵۰۵۸
۱۰	دی	۰	۰
۱۱	بهمن	۰	۰
۱۲	اسفند	-۲۴۲۷۱۸	۰

پیش از بهینه‌سازی، کشاورزان به صورت یک برنامهٔ تجربی و ازپیش‌تعیین‌شده نسبت به تخصیص آب و کشت اقدام می‌کردند. در این برنامه بر اساس آب موجود میزان کشت را مشخص کرده و اقدام به کشت می‌کردند. پس از بررسی این برنامه، مشخص شد که با وجود اینکه طی سال مجموع آب موجود بیش از آب مورد نیاز است، اما باز هم بر اساس جدول ۱۵ در مجموع چند ماه مختلف به میزان ۴۱۳۷۵۳ مترمکعب کمبود آب وجود دارد و کشاورزان این منطقه، با مشکل تنش و کم‌آبی مواجه هستند و ناگزیرند با استفاده از منابع دیگر، اقدام به رفع این کمبود کنند. گفتنی است که با توجه به این میزان کمبود آب، کشاورزان توانسته‌اند با استفاده از آب چاه، این مشکل را تا اندازه‌ای مرتفع کنند.

اما پس از بهینه‌سازی تخصیص آب در این اراضی بر اساس آب موجود، مورد نیاز، آب مجازی و توزیع بهینهٔ زمان آبیاری محصولات طی سال، این میزان کمبود از ۴۱۳۷۵۳ مترمکعب در حالت غیر بهینه به ۱۱۳۰۳۵ مترمکعب در حالت بهینه کاهش یافته که بیانگر ۷۰ درصد کاهش در کمبود آب است. به بیان دیگر، با این برنامهٔ جدید، نگرانی و کمبود آب برای کشاورزان به میزان قابل توجهی کاهش یافته و می‌توان اذعان کرد که این روش نسبت به روش سنتی از کارایی بالاتری برخوردار است. در نمودار ۲ میزان کاهش نیاز به آب بر اساس میزان آب موجود در ماه‌های مختلف در مقایسه با روش تخصیص سنتی نشان داده شده است. برتری این روش نسب به روش سنتی در این نمودار قابل مشاهده است.



نمودار ۲. میزان نیاز به آب بهینه‌شده در مقایسه با روش سنتی (m^3)

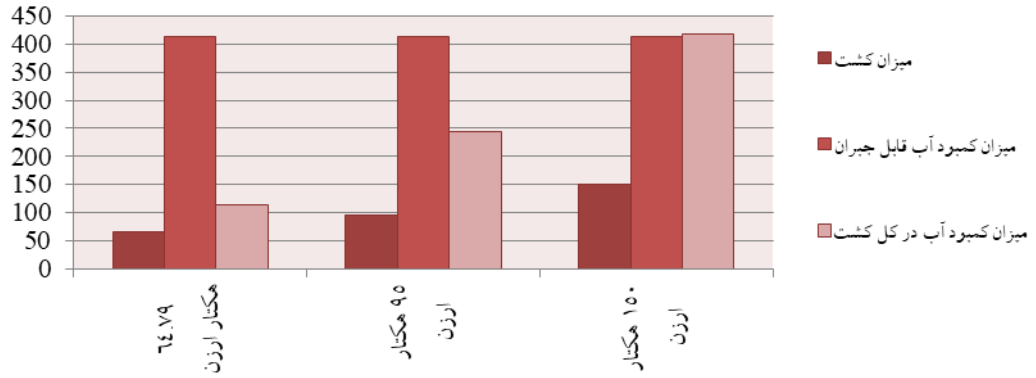
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

با توجه به آمار و ارقام به‌دست‌آمده در مقایسهٔ برنامهٔ تخصیص آب، قبل و بعد از بهینه‌سازی بسیار واضح است که استفاده از این سیستم، به میزان قابل توجهی ما را مدیریت بهینهٔ آب یاری می‌کند. اما باید این نکته را مد نظر قرار داد که هرگونه تغییر در برنامه‌ریزی‌های تجربی و سنتی ممکن است با مقابله کسانی که با این برنامه‌ها کار می‌کنند مواجه شود. بنابراین، باید در برنامه‌ریزی‌ها این نکته را نیز مد نظر قرار داد. برای نمونه، در برنامهٔ جدید تخصیص آب که توسط سیستم و با استفاده از سامانهٔ بهینه‌سازی تهیه و تدوین شده است، به دلیل اینکه پراکندگی آبیاری فراوان است و باید میراب و کشاورز تمام وقت خود را برای این برنامه صرف کنند و تخصیص آب را مطابق با برنامه پیش ببرند.

از این‌رو، ممکن است به مشکلاتی همچون افزایش تعداد میراب‌ها و آبیار و به تبع آن، افزایش هزینه‌های جاری برخورد کنیم. چنین مشکلاتی چه بسا نتواند کشاورزان را برای پذیرش این سیستم تخصیص جدید قانع کند؛ به این دلیل و نیز برای رفع این مشکل با توجه به اینکه در حال حاضر مالکان و کشاورزان از آب منابع دیگری همون چاه نیز استفاده می‌کنند و توانسته‌اند کمبود ۴۱۳۷۵۳ مترمکعب آب را با استفاده از این منابع تأمین کنند، بهتر است توجه کشاورزان و مالکان را به این نکته جلب کرد که در روش تخصیص آب بهینه‌شده، با وجود اینکه از میزان مساحت تحت کشت چیزی کاسته نمی‌شود، اما میزان کمبود آب ۱۱۳۰۳۵ متر مکعب می‌رسید.

بنابراین، می‌توان با افزایش مساحت تحت کشت یکی از این محصولات را نسبت به جبران هزینه‌های اضافه‌شده، در سطح بیشتری کشت کرد و حتی به سودآوری فراوانی از این طریق دست یافت. به همین‌منظور و برای نمونه، مساحت تحت کشت ارزن را در چند مرحله افزایش دادیم و کمبود آب را در مراحل قبلی آن مقایسه کردیم. نمودار ۳ بیانگر این مراحل بر اساس افزایش کشت محصول و میزان کمبود آب در هر مرحله از طریق بهینه‌سازی است و مشخص می‌کند که حتی با افزایش قابل توجه کشت ارزن، میزان کمبود آب برابر با کمبود آب در روش سنتی است.



نمودار ۳. میزان تغییر کمبود آب بر اساس تغییر کشت در برنامهٔ بهینه‌شده (بر حسب هزار متر مکعب)

به عنوان پیشنهادهای آتی، می‌توان تحلیل حساسیت مدل و محاسبهٔ عدم قطعیت نتایج و تحلیل‌های آماری نیز اجرا کرد.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

منابع

[1].Alizadeh, A. "Principles of applied hydrology", Imam Reza University Publications, 2002.

[2].Kolahi, M., Hosseinali, F., Karimaei- Tabarestani, M., "Determining the optimal cultivation pattern by considering the concept of virtual water and economic benefits (Case Study: Omrani Plain in Khorasan Razavi)", Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 2023; Volume 16, Issue 6 - Serial Number 96, March and April 2023, Pages 1221- 1232.

[3].Maroufpoor, S., Bozorg- Haddad, O., Maroufpoor, E., Gerbens- Leenes, P.W., Loáiciga, H.A., Savic, D., Singh, V.P., "Optimal virtual water flows for improved food security in water- scarce countries", Scientific Reports, 2021; 11 (1), 21027.

[4].Qasemipour, E., Tarahomi, F., Pahlow, M., Malek Sadati, S. S., Abbasi, A., "Assessment of Virtual Water Flows in Iran Using a Multi- Regional Input- Output Analysis. Sustainability", 2020; 12(18), 7424.

[5].Bahrami, N., Kiavarz, M., and Argany, M., "The Fusing of Satellite Images and Using Particle Swarm Optimization Algorithm to Improving Evaluation of Water Body, Focusing on Monitoring and Identifying Flood." Journal of Environmental Studies, 2020; 46.2: 355- 366.

[6].Bahrami, N., Vafaeinejad, A.R., Alesheikh, A.A., (2019). "Designing a spatio- temporal Decision Support System for tasks allocation planning to relief workers after the earthquake." Journal of Environmental Science and Technology, December 2019; Doi: 10.22034/JEST.2019.31884.4003.

[7].Gundogdu, K.S., Degirmenci, H. and Demirtas, C., "Creation of GIS Supported Data Base in Irrigation Project Management", International Conference of AGROENVIRON, Cairo, Egypt, 2002.

[8].Sarangi, A., Rao, N.H., Brownee, SH.M., and Singh, A.K., "Use of Geographic information system (GIS) Tool in watershed hydrology and irrigation water management", Gisdevelopment, 2001; pp. 10- 14

[9].Rangzen, K., "The use of remote sensing in improving the management and optimal use of agriculture in the irrigation network. Seminar on the application of geographic information system - remote sensing, Ahvaz Sugarcane Planting and By- Industries Company", 2005; pp. 5- 3

[10]. Z.Q. Huang and X.Z. Feng, "A Study of Spatio- temporal Process Modeling Based on Petri Net for Land Alteration," Acta Geodaetica Et Cartographic Sinica, 2005; vol.34, pp. 239- 245.

[11]. Gilberto, G., Gonzalo, D., Andrea, R., José, O. "A spatio- temporal access method based on snapshots and events", Conference: 13th ACM International Workshop on Geographic Information Systems, ACM- GIS 2005; November 4- 5, 2005, Bremen, Germany, Proceedings.

[12]. Jianhong Pan, Qin Lin, Chenjie Cao., "Spatial- Temporal Data Model on Emergency: A Review", Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE 2013).

[13]. Manem, M.J., "Determining the most suitable option for water distribution in the irrigation network (case study of Ghorichai irrigation network)", Iranian Journal of Agricultural Sciences, 2000; Volume 30, Number 2, Year 78, Pages 110- 117.

[14]. Zhou, Q., Huang, G. H. and Chan, C. W. "Development of an intelligent decision support system for air pollution control at coal- fired power plants", Expert Systems with Applications, 2004; 26: 335- 356.

[15]. Virtual Water in Agriculture, https://palayeshcood.com

[16]. Virtual Water, Country Water and Wastewater Company, https://www.nww.ir

[17]. Trelea, I.C., "The Particle Swarm Optimization Algorithm: convergence analysis and parameter selection", Information Processing Letters, 2003; 85(6): 317- 325.

[18]. Makhdoum, M.F. "Environmental unit: An arbitrary ecosystem for land evaluation", Agriculture, Ecosystems & Environment, 1992; 41, 209- 214.

[19]. Manem, M.J. "Application of PSO optimization algorithm in optimal distribution and delivery of water in irrigation networks", Iran Irrigation and Drainage Journal, 2011; Number 1, Volume 4, Spring 2019. P. 82- 73.

[20]. Akhwan- Kazemzadeh, M., Yamani, M., "Meta- heuristic optimization algorithms", Publisher: Jihad University, branch of Amirkabir University of Technology, 2016; 428 pages.

[21]. Manem, M. J. "Optimal planning of water delivery in irrigation canals using genetic algorithm", Iranian Journal of Water Resources Research, third year, number 1, spring 2016; pp. 30- 41

[22]. Bahrami, N., Argany, M., Samani, N.N., Vafaei Nejad, A.R., "Designing a context- aware recommender system in the optimization of the relief and rescue", The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2019; Volume 42, Pages 171- 177.

[23]. Bahrami, N., "Using Tabu Search Algorithm and Geospatial Information System for Managing of the Relief and Rescue Teams", Journal of Geomatics Science and Technology, 2019; Volume 8, Issue 3, Pages 179- 188.

[24]. Water Footprint, Water Footprint Network, https://www.waterfootprint.org, 2021.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[25]. Bahrami, N., Meysam Argany, M., Jelokhani Neyaraki, M., Vafaeinezhad, A.R., "Providing a spatial approach in the rescue and relief management after the earthquake", Environmental Management Hazards, 2019; Volume 6, Issue 2, Pages 117- 129.

[26]. Bahrami, N., Argany, M., Neysani Samani, N., Vafaei Nejad, A.R., "Designing a Context- aware Recommender System in the Optimization of the Relief and Rescue by Ant Colony Optimization Algorithm and Geospatial Information System", Journal of Geomatics Science and Technology, 2021; Volume 11, Issue 2, Pages 153- 162.

Archive of SID.ir