

مقاله علمی-پژوهشی

## تعیین الگوی کشت مطلوب با تأکید بر مصارف بهینه آب کشاورزی در دشت شهریار تهران

نیما صالحی شفا<sup>۱</sup>، حسین بابازاده<sup>۲\*</sup>، فیاض آقایی<sup>۳</sup>، علی صارمی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰

### چکیده

به دلیل فعالیت‌های کشاورزی گسترده و نیاز آبیاری قابل توجه، مصرف آب در بخش کشاورزی افزایش یافته است؛ بنابراین ارائه راهکارهایی به منظور کاهش مصارف آبی، مسئله‌ای مهم و حائز اهمیت است. به این منظور مدل بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه (NSGA-II) با دو تابع هدف سود خالص و مصرف آب کشاورزی به صورت مجزا برای دشت شهریار تهران و سال آبی ۹۵ محاسبه و ارائه شد. همچنین مقادیر بهینه سود خالص، الگوی کشت، مصارف آبیاری و نیاز ناخالص آبیاری در مدل بهینه‌سازی موردنظر برآورد شدند. نتایج نشان داد بیشترین سود خالص، مساحت کشت و حجم نیاز آبی بهینه مربوط به ناحیه اسلامشهر بوده سپس ناحیه شهریار و در نهایت رباط کریم بیشترین مقادیر موردنظر را دارد. ناحیه شهریار بیشترین مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی را دارد، سپس اسلامشهر و در آخر رباط کریم کمترین مقدار بهینه مصرف آب کشاورزی را دارد. بیشترین مقدار نسبت سود خالص به مساحت کشت در حالت بهینه مربوط به ناحیه رباط کریم سپس ناحیه شهریار و در انتها ناحیه اسلامشهر بوده است. همچنین با توجه به مساحت کشت و حجم آب مصرفی بهینه محصولات انگور، انار، پیاز، سبزیجات و گلادی در هر ناحیه، سود خالص آن‌ها مناسب و ایده‌آل می‌باشد؛ و انگور بهترین محصول ممکن در میان آن‌ها می‌باشد. سیاست بهره‌برداری بهینه از منابع آبی منجر به کاهش سطح زیر کشت، حجم آب مصرفی بهینه و حجم نیاز آبی در کل محدوده مورد مطالعه نسبت به حالت فعلی به اندازه ۲۰/۴۴، ۴۹/۷۱ و ۲۰/۳۵ درصد شده است.

**واژه‌های کلیدی:** سود خالص، سیاست بهره‌برداری بهینه، مصرف آب کشاورزی، نسبت سود خالص به مساحت کشت

### مقدمه

پایدار با توجه به محدودیت منابع آب قابل دسترس و وضعیت واقعی تولیدات کشاورزی، ضرورت پیدا کرده است؛ بنابراین با توسعه الگوی کشت بهینه و هم‌زمان بهره‌برداری بهینه از منابع آبی در بخش کشاورزی، با خشک‌سالی و کم‌آبی مقابله شده، عوامل محدودکننده به کنترل درآمده و نیز حفاظت از منابع آب و خاک افزایش خواهد یافت. با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی می‌توان مناسب‌ترین سطح زیر کشت و مقدار آب مصرفی را برآورد نمود تا سود خالص حاصل از محصولات کشاورزی حداکثر شود. مدل‌های بهینه‌سازی با پیدا کردن بهترین پاسخ تولیدشده با توجه به شرایط مسئله می‌توانند به‌عنوان یک ابزار مناسب به منظور رفع و یا کاهش مسائل بخش کشاورزی مفید و مؤثر واقع شوند. به منظور بهینه‌سازی الگوی کشت و مصارف بهینه آبی در مناطق مختلف، مدل‌ها و روش‌های مختلفی ارائه شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به الگوریتم‌های تکاملی نخبه‌گرا مانند الگوریتم ژنتیک (Sarma et al., 2006)، (Bergez, 2013) و (Wardlaw and Bhaktikul., 2000)، الگوریتم ازدحام ذرات (Varade and patel, 2018)، (Jain et al., 2021)، الگوریتم تکاملی دیفرانسیل چندهدفه (Adeyemo and Otieno, 2010)،

آب مهم‌ترین عامل توسعه اقتصادی می‌باشد. با توجه به افزایش جمعیت و تقاضای در حال افزایش محصولات کشاورزی و از طرف دیگر محدودیت‌هایی مانند پراکنش نامناسب مکانی و زمانی بارندگی، شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک در بعضی از کشورها، تغییرات اقلیمی و مشکلات اقتصادی و اجتماعی، نیاز به مدیریت هماهنگ و مؤثر منابع محدود طبیعی دارد؛ که با توجه به این موضوع طراحی و اجرای الگوی کشت مناسب، استفاده بهینه از منابع آبی از منظر توسعه

۱- دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار، دانشکده کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

\* نویسنده مسئول: (Email: h\_babazadeh@hotmail.com)

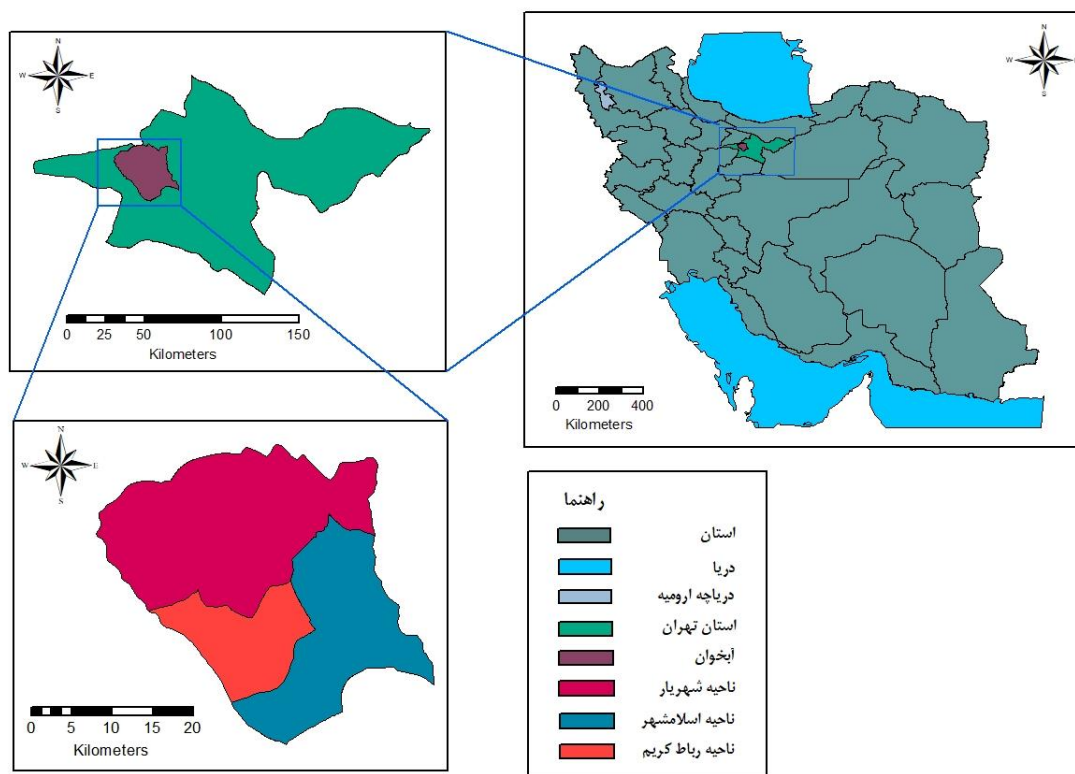
سطوح مختلف به‌طور متوسط ۲۵ دلار در مترمکعب آب افزایش می‌دهد. نتایج سطح دوم حاکی از افزایش ۶۴ درصدی سود خالص در مقایسه با سود مربوط به الگوی کشت موجود است. در منطقه مورد مطالعه میزان آب مصرفی در شرایط مطلوب از ۱۰۰ درصد آب اختصاص یافته به ۸۰ درصد کاهش می‌یابد (Shirshahi et al., 2020). نجف‌آبادی و همکاران به‌منظور بهینه‌سازی الگوی کشت ۲۳ شهرستان استان اصفهان ایران با اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، مدلی را که یکی از زیرمجموعه‌های رویکرد برنامه‌ریزی ساختاری چند هدفه (MOSP) است، معرفی نمودند. نتایج کاهش مصرف آب آبیاری ۱۷ درصد، افزایش سود ۵۸ درصد و افزایش تولید ۱۱ درصد نشان داد (Najafabadi et al., 2019). جیانگ و همکاران یک مدل بهینه‌سازی دوسطحی که در سطح اول آن از تکنیک برنامه‌ریزی غیرخطی و در سطح دوم آن از الگوریتم برنامه‌نویسی پویا استفاده می‌شد را توسعه دادند. نتایج نشان داد که کل سود اقتصادی منطقه آبیاری به‌طور متوسط ۱۵ درصد از طریق بهینه‌سازی تخصیص آب و الگوی کشت نسبت به وضعیت فعلی افزایش یافته است. همچنین کل آب آبیاری می‌تواند به‌طور متوسط بدون کاهش سود در مقایسه با وضعیت فعلی، ۲۳ درصد کاهش یابد (Jiang et al., 2016). تافته و همکاران برنامه‌ای برای توزیع آب آبیاری و همچنین یک الگوی کشت مطلوب با هدف حداکثر سازی سود خالص و نیز بهره‌وری آب ارائه نمودند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بهره‌وری آب را می‌توان با استفاده از مدل ارائه‌شده تا ۴۰ درصد افزایش داد. بررسی آن‌ها نشان داد که در شرایط کم‌آبی که کمبود آب بین ۳۰ تا ۳۵ درصد می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری آب به میزان ۵۴ درصد شود (Tafteh et al., 2014). دی و همکاران نظریه ردپای آب، برنامه‌نویسی با محدودیت شانس فازی و برنامه‌نویسی کسری را در یک چارچوب بهینه‌سازی کلی ادغام نمودند تا مدل موردنظر به دنبال الگوهای بهینه کشت محصول برای سیستم مدیریت آب کشاورزی باشد. نتایج نشان داد که برنج، سورگوم و ارزن بیشتری، تقریباً در همه مناطق موردنیاز است، درحالی‌که گندم و ذرت باید در بیشتر مناطق کاهش یابد. الگوی کشت بهینه، آب آبی و خاکستری را تقریباً در همه مناطق کاهش می‌دهد و بهره‌وری اقتصادی آب حوضه را ۱۳۹ درصد بهبود می‌بخشد (Dai et al., 2021). کالس واران و همکاران مدل انتخاب چند محصول با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات دوتایی (MCS-BPSO) و با هدف حداکثر کردن سود خالص کشاورزی تدوین نمودند. عملکرد مدل را بر روی مجموعه داده کشاورزی هند مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که الگوریتم انتخاب چند محصوله، در شرایط مشخص، مانند کل سطح برداشت و در دسترس بودن آب مؤثر بوده و به کشاورزان در انتخاب مناسب‌ترین محصول کمک می‌کند و سود و بهره‌وری خالص در منطقه کشاورزی با آب موجود افزایش می‌یابد (

(Chetty, Ketsripongsa et al., 2018)، الگوریتم جستجوی فاخته (Rath and Swain, 2020) and Adewumi, 2013)، همچنین مدل بهینه‌سازی خطی (Inas et al., 2017)، مدل بهینه‌سازی غیرخطی (Garg and Dadhich., 201) (Georgiou and Papamichail, 2008)، اشاره نمود که به‌عنوان پرکاربردترین روش - ها در حل مسائل الگوی کشت و مصارف آب در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شیردلی و همکاران با استفاده از یک مدل ریاضی تک هدفه، اقدام به بهینه‌سازی الگوی کشت اراضی کشاورزی پایین دست سد بوئین نمودند. هدف مطالعه آن‌ها بهینه‌سازی درآمد کشاورزان در این منطقه بود و برای تحلیل آن در آینده دو برنامه یک ساله را تدوین نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها حاکی از این بود که امکان افزایش قابل توجه درآمد کشاورزان در این منطقه وجود دارد. همچنین میزان افزایش درآمد کشاورزان در طی برنامه‌های ۵ ساله دوم تا چهارم به ترتیب ۲۰، ۴۴/۷ و ۲۵۰/۳ درصد نسبت به اولین دوره ۱ ساله خواهد بود. بعد از اتمام آخرین برنامه یک ساله میزان بهره‌وری آب از ۱۶ درصد تا ۷۷ درصد افزایش داشته است (Shirdeli et al., 2014). دی و همکاران از مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای برای تخصیص آب برای تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط عدم قطعیت در حوضه رودخانه ژانگ و ننگ و با استفاده از سناریوهای متفاوت عدم قطعیت، میزان بهینه تخصیص آب و الگوی کشت به دست آوردند (Dai et al., 2013). خنجری ساداتی و همکاران در پژوهشی از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی تخصیص آب و تعیین الگوی کشت بهینه منطقه کشاورزی تحت پوشش سد درود زن واقع در استان فارس استفاده نمودند. آن‌ها در شرایط آب و هوایی مختلف و کم آبیاری و آبیاری کامل، الگوی کشت و آب تخصیصی را مشخص کردند (Khanjari Sadati et al., 2014). گارگا و همکاران از روش کم آبیاری و برنامه‌ریزی غیرخطی برای بهینه‌سازی الگوی کشت و منابع آب سطحی و زیرزمینی در اراضی حوزه ایندوس هند استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد سود خالص الگوی کشت بهینه در مقایسه با الگوی موجود ۹۲/۵ درصد افزایش یافت (Garga et al., 2014). شریدهار و همکاران با بهینه نمودن سطح زیر کشت و استفاده از تکنیک‌های کم آبیاری ضمن افزایش سود خالص، بهره‌وری مصرف آب را افزایش دادند (Shreedhar et al., 2015). برهانو و همکاران با بهینه نمودن سطح زیر کشت، استفاده از تکنیک‌های کم آبیاری و افزایش سود خالص، بهره‌وری مصرف آب را افزایش دادند (Birhanu et al., 2015). شیرشاهی و همکاران در تحقیقی از یک مدل بهینه‌سازی دوسطحی به‌منظور بهینه‌سازی الگوی کشت و به حداکثر رساندن سود و به حداقل رساندن اختلال در پایداری منابع آب در شعب و کانال‌های توزیع در منطقه قزوین، ایران استفاده نمودند. بر اساس نتایج سطح اول، سناریوی کاهش ۱۰ درصدی آب آبیاری، بهره‌وری اقتصادی را در

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، محدوده دشت شهریار است که در حاشیه غربی شهر تهران و در موقعیت جغرافیایی  $35^{\circ} 22' 14''$  تا  $50^{\circ} 23' 02''$  عرض شمالی  $51^{\circ}$  طول شرقی و  $35^{\circ} 44' 32''$  تا  $35^{\circ} 02' 25''$  عرض شمالی واقع شده است. با توجه به موقعیت محدوده مورد نظر شهرهای شهریار، اسلامشهر، رباط کریم و بخشی از شهرهای تهران و کرج و نیز حاشیه شمالی شهرستان ری در آن قرار دارند. به منظور انجام محاسبات و آنالیزهای مربوطه، محدوده مورد مطالعه به سه ناحیه (شهریار، اسلامشهر، رباط کریم) تقسیم شدند. به این منظور در محدوده مطالعاتی، مناطق تهران و کرج بخشی از ناحیه شهریار شده و منطقه ری به ناحیه اسلامشهر پیوسته و ناحیه رباط کریم بدون تغییر مانده است. شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.

(Kaleeswaran et al. 2021). به منظور تعیین الگوی کشت و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی توسط مدل‌های بهینه‌سازی، تحقیقات متعددی انجام شده است که تحقیقات (Alizadeh et al., 2012)، (Divakar et al., 2012)، (Alabdulkader et al., 2012)، (Zeng et al., 2010)، (Fasakhodi et al., 2010)، (Honar et al., 2021)، (Singh et al., 2013)، (XieTing et al., 2010)، (al., 2010)، (Karamouz et al., 2010)، (Khashei-siuki et al., 2010)، (Babel et al., 2005)، (Regulwar et al., 2013)، (Rawabdeh et al., 2010) در این مورد می‌باشند. با توجه به افزایش سطح زیر کشت، نیاز آبی، مصارف منابع آب زیرزمینی و کمبود منابع آب سطحی در بخش کشاورزی و همچنین افزایش فرونشست زمین در محدوده مطالعاتی، انجام تحقیق حاضر ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به این موضوع، در مطالعه حاضر تلاش می‌شود تا با تدوین مدل بهینه‌سازی، بهره‌برداری بهینه از منابع آبی در بخش کشاورزی و سود خالص بهینه محصولات کشاورزی بر اساس سطح زیر کشت بهینه برای سال آبی ۹۵-۹۶، تعیین شوند.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

در مدل بهینه‌سازی در این تحقیق مدنظر قرار گرفته است شامل هدف اول، حداکثر نمودن سود خالص و هدف دوم، حداقل نمودن آب مصرفی توسط محصولات زیر کشت، می‌باشد. در این مدل، اهداف

در این تحقیق به بهینه‌سازی سود خالص حاصل از سطح زیر کشت محصولات محدوده مورد مطالعه و مصرف آب سطحی و زیرزمینی توسط محصولات زیر کشت، پرداخته شده است. اهدافی که

دیگر مانند الگوی کشت بهینه و نیاز ناخالص آبیاری مناسب با مصرف آب و الگوی کشت بهینه، نیز تأمین می‌شوند. در این تحقیق با توجه به شرایط موجود محدوده مورد مطالعه، محدودیت‌هایی به‌منظور محاسبه الگوی کشت بهینه، تخصیص مصرف آب به سطح زیر کشت محصولات و همچنین محدودیتی جهت تأمین نیاز ناخالص آبیاری محصولات در نظر گرفته شد. همچنین سطح زیر کشت بهینه، مصرف آب بهینه و نیاز ناخالص آبیاری متناسب با مصرف آب و سطح زیر کشت بهینه در سه ناحیه رباط کریم، اسلامشهر و شهریار در محدوده مورد مطالعه، محاسبه شدند. در تحقیق فعلی اثر سطح زیر کشت بهینه بر آب مصرفی، نیاز ناخالص آبیاری و سود خالص محصولات کشاورزی مورد آنالیز قرار گرفته است. به‌منظور محاسبه سود خالص محصولات زراعی و باغی هر یک از ناحیه‌ها در محدوده مورد نظر، نیاز به تعیین عملکرد برآوردی محصولات می‌باشد. به این منظور توسط رابطه (۱)، عملکرد برآوردی تولید محصولات کشاورزی ناحیه‌ها برآورد شده‌اند.

$$Y_a = Y_p \times \left( \prod_i^n \left( 1 - K_y \left( 1 - \frac{EAT}{EAP} \right) \right) \right) \quad (1)$$

در رابطه فوق،  $Y_a$  عملکرد برآوردی (کیلوگرم بر هکتار)،  $Y_p$  عملکرد حداکثر (کیلوگرم بر هکتار)،  $K_y$  ضریب حساسیت گیاه به آب (بی‌بعد)،  $EAT$  تبخیر و تعرق واقعی (میلی‌متر بر روز)،  $EAP$  تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)، می‌باشند. کشت محصولات زراعی از ابتدای مهرماه در نظر گرفته شد. همچنین دور آبیاری محصولات ناحیه‌های محدوده مورد مطالعه با توجه به شرایط آبیاری آن‌ها، ۱۰ روز در نظر گرفته شده است که با توجه به آن در طول یک سال آبی ۳۶ بار آبیاری انجام می‌شود. تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از معادله فائو

پنمن ماتیس و توسط مدل CROPWAT 8.0 برآورد شده است. تبخیر و تعرق مرجع به‌صورت روزانه، ماهانه و سالانه محاسبه شده سپس با استفاده از ضرایب گیاهی نشریه ۳۳ سازمان خواروبار جهانی (فائو)، تبخیر و تعرق واقعی گیاهان محاسبه گردید. بعد از تعیین عملکرد برآوردی محصولات زراعی و باغی نواحی، سود خالص محاسبه خواهد شد. گیاهان باغی آب قابل توجهی با توجه به شرایط منابع آبی ناحیه‌های محدوده مورد مطالعه، مصرف می‌کنند؛ زیرا سطح زیر کشت آن‌ها با توجه به شرایط منابع و مصارف آبی نواحی گسترده می‌باشد؛ بنابراین در تحقیق فعلی به محاسبه و آنالیز سطح زیر کشت، مصرف آبی و سود خالص بهینه این گیاهان نیز پرداخته شده است. در این تحقیق، سود خالص و حجم مصارف آب محصولات کل محدوده محاسبه و بهینه‌شده سپس نتایج و مقادیر برآورد شده برای هر ناحیه در محدوده مورد مطالعه به‌صورت مجزا و مستقل آنالیز شده و مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز بر اساس اهداف و الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه در تحقیق حاضر، جمع‌آوری شدند. جدول (۱) و (۲) اطلاعات مربوط به هزینه‌های متغیر و ثابت محصولات زراعی و باغی در محدوده مورد مطالعه و جدول (۳) سطح زیر کشت و سود خالص محصولات کشاورزی مورد نظر را در ناحیه‌های محدوده مطالعاتی برای سال آبی ۹۵ نشان می‌دهند. با توجه به اینکه دشت شهریار به‌عنوان یک محدوده واحد به سه ناحیه مجزا تقسیم شده همچنین هم‌جواری نواحی به یکدیگر و آمار و اطلاعات مربوطه، هزینه‌ها و قیمت‌های محصولات زراعی و باغی در نواحی مورد مطالعه یکسان در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۱- هزینه‌های متغیر و ثابت محصولات زراعی در محدوده مطالعاتی

محصول	هزینه متغیر (میلیون ریال بر هکتار)				هزینه ثابت (میلیون ریال بر هکتار)		
	مصرف آب	آماده‌سازی زمین	کاشت	داشت	برداشت	سایر	
گندم	۱	۵	۷	۱۱	۳	۱۶	
جو	۱	۴	۶	۱۲	۳	۱۵	
پنبه	۱	۴	۱۱	۱۸	۱۱	۱۵	
کلزا	۱	۲	۶	۹	۶	۸	
خیار	۱	۶	۱۷	۴۷	۴۳	۲۳	
یونجه	۱	۳	۷	۱۶	۴	۱۷	
ذرت علوفه‌ای	۱	۴	۶	۱۲	۱۲	۱۵	
پیاز	۳	۶	۳۳	۵۰	۴۴	۴۷	
گوجه‌فرنگی	۲	۶	۱۲	۴۴	۴۵	۱۳	
سبزیجات	۱	۳	۸	۱۴	۹	۱۲	
ذرت دانه‌ای	۱	۶	۱۸	۳۰	۱۹	۲۶	
خریزه	۱	۵	۱۴	۲۳	۱۵	۲۰	

جدول ۲- هزینه‌های متغیر و ثابت محصولات باغی در محدوده مطالعاتی

نام محصول	هزینه متغیر (میلیون ریال بر هکتار)			هزینه ثابت (میلیون ریال بر هکتار)		
	مصرف آب	ارزش نهاده‌ها	سموم دفع آفات و بیماری‌ها	علف کش	کود	تعمیرات وسایل نقلیه، ماشین‌آلات و تجهیزات
سیب	۲۹	۲۱	۳۶	۳	۱۱۳	۲
گیلاس	۳۳	۲۴	۴۰	۳	۱۲۹	۳
گلابی	۵۴	۳۸	۶۵	۵	۲۰۷	۵
زردآلو و قیسی	۳۱	۲۲	۳۷	۳	۱۱۸	۳
هلو، شلیل، شفتالو	۲۹	۲۱	۳۶	۳	۱۱۳	۲
آلو، گوجه	۲۹	۲۱	۳۵	۳	۱۱۲	۲
زیتون	۹	۷	۱۱	۱	۳۶	۱
بادام زمینی	۳۴	۲۴	۴۱	۳	۱۳۱	۳
انار	۴۰	۲۸	۴۸	۴	۱۵۲	۳
گردو	۳۰	۲۲	۳۷	۳	۱۱۷	۳
پسته	۷	۵	۸	۱	۲۷	۱
انگور	۵۲	۳۷	۶۳	۵	۲۰۲	۴
به	۳۴	۲۴	۴۱	۳	۱۳۰	۳
توت درختی	۳۵	۲۵	۴۲	۳	۱۳۳	۳
انجیر	۱۸	۱۳	۲۲	۲	۷۰	۲

در روابط فوق،  $Z_1$  تابع هدف اول در این تحقیق می‌باشد. در تابع هدف اول، OP عملکرد برآوردی محصولات (کیلوگرم بر هکتار)، SE قیمت فروش هر کیلوگرم محصولات ناحیه‌های محدوده مورد مطالعه (ریال)، A مساحت زیر کشت محصولات (هکتار)، CO هزینه ثابت هر هکتار از محصولات ناحیه‌های محدوده مورد مطالعه (ریال)، COW هزینه هر مترمکعب آب مصرفی (ریال) و W حجم آب مصرفی محصولات (مترمکعب در هکتار) می‌باشند. در این محاسبات مقدار کل آب مصرفی محصولات W و مساحت زیر کشت محصولات A، متغیر تصمیم می‌باشند. همچنین penalty function جریمه تخصیص داده شده به دلیل عدم رعایت حداقل سطح زیر کشت  $A_{max}$  و حداقل سطح زیر کشت محصولات  $A_{min}$  می‌باشد که به تابع هدف افزوده شده است.  $A_{max}$  در رابطه ۴، حداقل مساحت کشت محصولات و  $A_{min}$  در رابطه ۵ حداقل مساحت کشت محصولات می‌باشند. حداکثر سطح زیر کشت برابر سطح زیر کشت فعلی بوده و حداقل سطح زیر کشت برابر  $0/6$  سطح زیر کشت فعلی محدوده مورد مطالعه، برآورد شده است؛ زیرا کاهش سطح زیر کشت محصولات از یک حد معین تجاوز نکرده و با توجه به منابع آب قابل دسترس و مساحت کشت محصولات، مصرف آب تا حد امکان کاهش می‌یابد. در معادلات  $A_{max}$  اگر سطح زیر کشت بهینه محصولات (متغیر تصمیم) از حداکثر سطح زیر کشت محصولات کمتر شده و یا با آن مساوی باشد و پاسخ معادله کمتر یا مساوی صفر شود، مقدار جریمه  $A_{max}$  صفر خواهد شد ولی اگر به این صورت نشود

بر اساس جدول (۳) محصولات جو، گندم و ذرت دانه‌ای نسبت به سایر محصولات زراعی به ترتیب در ناحیه رباط کریم، اسلامشهر و شهریار به میزان  $۳۹/۲۳$ ،  $۲۸/۵۱$  و  $۲۷/۴$  درصد دارای بیشترین سطح زیر کشت بوده‌اند و محصولات انگور، پسته و آلو نسبت به سایر محصولات باغی به ترتیب در نواحی مذکور به میزان  $۸۹/۷۷$ ،  $۳۲/۷۵$  و  $۲۵/۱۳$  درصد بیشترین سطح زیر کشت را دارند. همچنین ذرت دانه‌ای و انگور نسبت به سایر محصولات زراعی و باغی در تمام نواحی مطالعاتی بیشترین سود خالص را دارند.

با توجه به جدول (۴) سابقه قیمت فروش محصولات زراعی و باغی در سه سال آبی ۹۳ تا ۹۵ نشان داده شده است. در طول این بازه زمانی قیمت محصولات گندم، کلزا، بادام زمینی و انگور به صورت یکنواخت رشد داشته و قیمت مابقی محصولات به صورت متناوب کاهش و افزایش یافته‌اند. شکل (۲) الگوریتم فرآیند محاسبات مدل بهینه‌ساز را نمایش می‌دهد.

ساختار مدل بهینه‌سازی ارائه شده به صورت روابط (۲) تا (۹) می‌باشد.

$$Z_1 = \text{Maximize } \sum_p^{np} (((OP \times SE \times A) - ((CO \times A) + (COW \times W \times A))) - \text{penalty function}) \quad (2)$$

$$\text{penalty function} = ((A_{max})^2 \times \alpha) + ((A_{min})^2 \times \beta) \quad (3)$$

$$A_{max} = \begin{cases} \text{if } A - AI_{max} \leq 0 & , 0 \\ \text{else} & A - AI_{max} \end{cases} \quad (4)$$

$$A_{min} = \begin{cases} \text{if } A - AI_{min} \geq 0 & , 0 \\ \text{else} & A - AI_{min} \end{cases} \quad (5)$$

محاسبه می‌شود. داده‌های موردنظر بر مبنای اطلاعات سال آبی ۹۵-۹۶، آنالیز شده‌اند. ضرایب ثابت  $\alpha$  و  $\beta$  در تابع جریمه اول برابر  $10^6$  در نظر گرفته شده‌اند.

$$Z_2 = \text{Minimize } \sum_p^{np} ((W \times A) + \text{penalty function}) \quad (6)$$

$$\text{penalty function} = ((\text{cons})^2 \times \gamma) + ((\text{need})^2 \times \lambda) \quad (7)$$

$$\text{cons} = \begin{cases} \text{if } (W \times A) - (W \times AI_{\max}) \leq 0, & 0 \\ \text{else } (W \times A) - (W \times AI_{\max}) & \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{need} = \begin{cases} \text{if } (N \times A) - (W \times A) = 0, & 0 \\ \text{else } (N \times A) - (W \times A) & \end{cases} \quad (9)$$

یعنی اگر سطح زیر کشت بهینه محصولات از حداکثر سطح زیر کشت محصولات بیشتر محاسبه شود و پاسخ معادله بیشتر از صفر شود، به اندازه اختلاف آن‌ها جریمه اعمال می‌شود. در معادلات  $A_{\min}$  اگر سطح زیر کشت بهینه محصولات (متغیر تصمیم) از حداقل سطح زیر کشت محصولات بیشتر باشد و پاسخ معادله بیشتر یا مساوی صفر شود، مقدار جریمه  $A_{\min}$  صفر خواهد شد ولی اگر به این صورت نشود یعنی اگر سطح زیر کشت بهینه محصولات از حداقل سطح زیر کشت محصولات کمتر محاسبه شود و پاسخ معادله کمتر از صفر شود، به اندازه اختلاف آن‌ها جریمه اعمال می‌شود؛ بنابراین مساحت زیر کشت بهینه محصولات بین سطح زیر کشت فعلی و حداقل سطح زیر کشت

جدول ۳- سطح زیر کشت و سود خالص محصولات زراعی و باغی در نواحی مورد مطالعه

شهریار	سود خالص (میلیون ریال)			سطح زیر کشت (هکتار)			نام محصول	نوع محصول
	اسلامشهر	رباطکریم	شهریار	اسلامشهر	رباطکریم	شهریار		
۳۵۱۵۳	۴۰۲۱۹۶	۲۰۶۹۵	۱۳۲۰	۱۳۳۹۸	۸۴۸	گندم	زراعی	
۵۰۳۷	۲۲۸۲۲	۶۲۸۶	۷۲۰	۱۰۹۰۰	۲۲۸۱	جو		
۱۱	۱۶۲	۰	۲	۶	۰	پنبه		
۳۲	۴۱۸	۴۷	۱۵	۱۰۹	۳۰	کلزا		
۵۷	۳۳۶	۰	۱	۲۱	۰	خیار		
۱۷۳۲	۱۳۵۶۴	۰	۱۰	۲۷۷	۰	یونجه		
۵۰۵۷۱	۲۴۵۵۵۳	۳۲۷۰۳	۸۰۰	۴۵۲۵	۳۶۸	ذرت علوفه‌ای		
۳۸۹	۰	۰	۱	۰	۰	پیاز		
۳۱۱۴	۹۴۱۴	۰	۱۴	۸۹	۰	گوجه‌فرنگی		
۱۹۳۲۷۳	۹۵۹۵۷۲	۱۰۸۳۴۸	۱۰۹۰	۵۲۰۵	۵۷۷	سبزیجات		
۲۳۳۹۰۱	۱۰۶۵۴۸۰	۲۸۸۲۶۳	۱۵۰۰	۱۲۴۳۸	۱۷۱۰	ذرت دانه‌ای		
۳۸	۷۶۸	۰	۲	۹	۰	خریزه		
۶۱۷۷۹	۵۶۳	۲۹۰۵	۱۰۱۰	۷	۳۱	سیب		باغی
۴۲۳۷۷	۰	۱۲۸۹	۳۶۰	۰	۶	گیلاس		
۳۰۹۱۹۴	۲۱۸۵	۶۷۴۷	۸۳۲	۱۵	۳۳	گلابی		
۲۴۰۳۶۵	۲۷۲	۳۷۷۵	۱۶۴۰	۱۰	۶۹	زردآلو و قیسی		
۱۵۲۹۷۲	۵۳۲۸	۳۰۵۹	۲۱۰۰	۱۲۰	۱۴۸	هلو، شلیل، شفتالو		
۴۱۱۷۲۴	۴۱۷۸	۱۱۱۸۴	۲۵۲۱	۸۱	۱۴۱	آلو، گوجه		
۰	۵۹۶	۰	۰	۷۱	۰	زیتون		
۱۰۹۱۹	۱۱۶	۹۲	۵۲	۲	۱	بادام زمینی		
۰	۴۸۷۰۹	۱۰۴۱	۰	۱۵۳	۴	انار		
۳۸۷۴۲	۱۵۱۳	۱۸۷۸	۲۲۱	۵۶	۲۲	گردو		
۱۴	۴۴۲۴	۴۸	۳	۶۱۸	۵	پسته		
۹۸۱۴۹۷	۲۷۱۱۰۱	۲۱۰۰۳۱۸	۱۲۱۵	۵۶۶	۴۰۶۵	انگور		
۲۴۸۶	۶۸۹	۰	۱۲	۹	۰	به		
۴۶۸۰	۱۴۶	۵۲	۴۵	۶	۳	توت درختی		
۳۹۶	۴۳۹۵	۰	۱۹	۱۷۳	۰	انجیر		

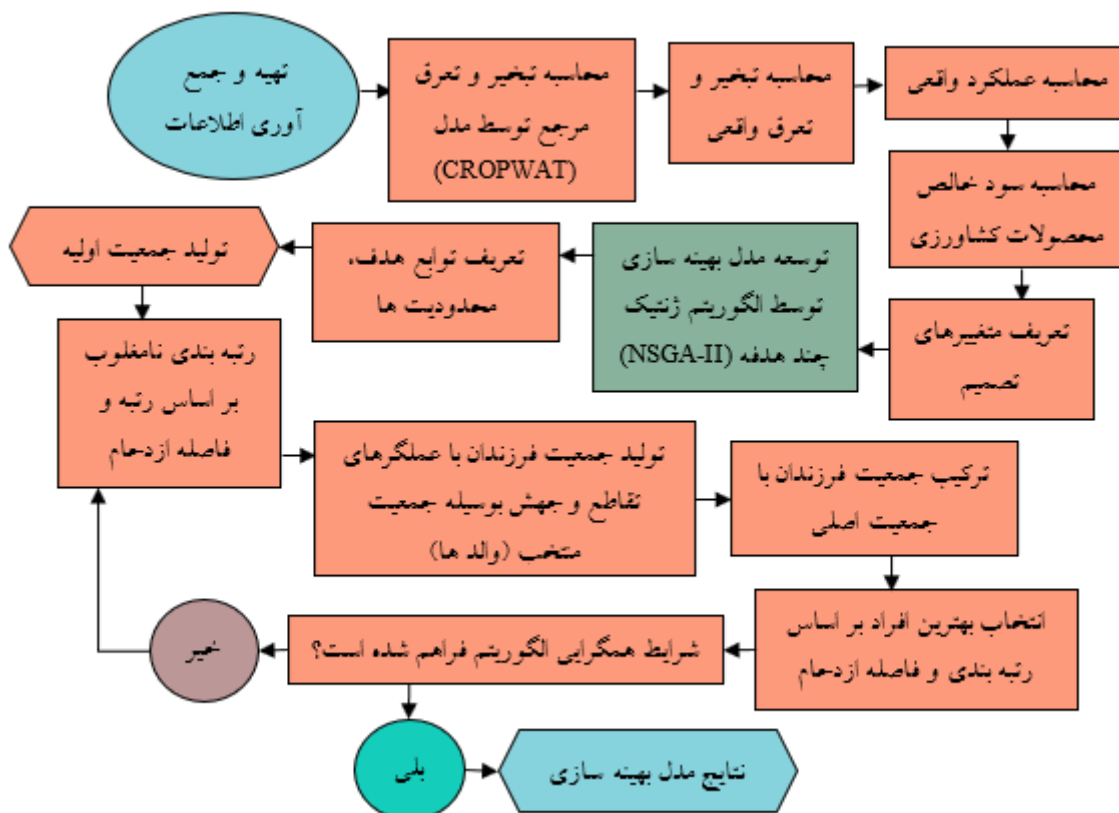
جدول ۴- روند تاریخی قیمت فروش محصولات زراعی و باغی در محدوده مورد مطالعه

نوع محصول	نام محصول	قیمت فروش (ریال بر کیلوگرم)		
		سال ۹۵	سال ۹۴	سال ۹۳
زراعی	گندم	۱۲۷۰۹	۱۱۵۶۲	۱۰۶۰۲
	جو	۱۰۴۹۹	۸۹۶۸	۹۰۹۰
	پنبه	۳۰۰۸۱	۲۴۴۲۴	۲۸۸۷۵
	کلزا	۲۴۴۸۵	۲۱۶۹۲	۱۸۶۳۴
	خیار	۱۰۱۳۷	۱۱۳۸۲	۱۰۳۵۹
	یونجه	۷۱۵۶	۸۴۱۰	۶۳۹۰
	ذرت علوفه‌ای	۱۸۴۳	۱۲۸۳	۱۸۷۹
	پیاز	۴۸۲۶	۷۱۵۷	۷۱۷۸
	گوجه‌فرنگی	۴۰۷۹	۵۲۳۰	۴۰۶۶
	سبزیجات	۶۴۹۴	۶۸۵۳	۶۴۰۰
	ذرت دانه‌ای	۱۱۶۷۵	۹۳۸۳	۱۱۵۰۳
	خریزه	۶۹۶۲	۵۳۸۲	۶۴۵۳
	باغی	سیب	۱۵۲۶۸	۲۵۲۱۴
گیلاس		۴۰۲۲۶	۲۸۰۵۲	۲۹۶۱۲
گلابی		۴۸۰۵۷	۵۰۱۰۷	۳۹۱۵۸
زردآلو و قیسی		۳۰۴۱۲	۶۷۷۷۶	۴۷۶۲۵
هلو، شلیل، شفتالو		۲۱۴۹۳	۲۷۸۰۴	۲۵۰۱۱
آلو، گوجه		۱۹۱۶۱	۴۲۳۴۷	۳۳۱۱۸
زیتون		۴۰۹۶۱	۴۲۵۱۲	۴۲۴۵۰
بادام زمینی		۱۴۷۰۸۰	۱۲۶۴۲۵	۹۳۳۹۴
انار		۱۶۳۸۲	۲۲۱۸۴	۱۳۵۰۰
گردو		۲۰۷۱۲۴	۲۵۰۰۰۰	۱۷۴۱۸۲
پسته		۲۴۵۵۵۹	۲۹۲۴۱۱	۲۹۷۷۳۶
انگور		۱۳۰۱۱۷	۲۱۴۱۶	۱۷۶۹۹
به		۲۴۵۰۵	۲۶۹۹۳	۲۹۷۶۱
توت درختی	۶۸۷۷۶	۷۱۸۵۶	۶۸۸۴۹	
انجیر	۲۲۰۶۷	۲۵۶۴۱	۱۹۰۲۴	

و پاسخ معادله کمتر یا مساوی صفر شود، مقدار جریمه  $CONS$  صفر خواهد شد و اگر به این صورت نشود یعنی مقدار آب مصرفی محصولات (تغییر تصمیم) از حداکثر مقدار آب مصرفی محصولات بیشتر محاسبه شود و پاسخ معادله بیشتر از صفر شود، به اندازه اختلاف آن‌ها جریمه اعمال می‌شود. همچنین مقدار  $need$  به این صورت محاسبه شده است که اگر نیاز ناخالص آبیاری محصولات با مقدار آب مصرفی محصولات برابر محاسبه شود و پاسخ معادله صفر شود مقدار جریمه  $need$  صفر خواهد شد و اگر به این صورت نشود یعنی مقدار نیاز ناخالص آبیاری محصولات با مقدار آب مصرفی محصولات برابر محاسبه نشود به اندازه اختلاف آن‌ها جریمه اعمال می‌شود.

در روابط فوق،  $Z_2$  تابع هدف دوم می‌باشد. در تابع هدف دوم،  $N$  حجم نیاز ناخالص آبیاری محصولات می‌باشند که با واحد (مترمکعب در هکتار) در طول دوره‌های کشت، مورد محاسبه قرار گرفتند؛ و همچنین  $penalty$  function جریمه تخصیص داده شده به دلیل عدم رعایت حداکثر مقدار آب مصرفی  $cons$  و نیز تخطی نیاز ناخالص آبیاری برابر مقدار آب مصرفی  $need$  می‌باشد که به تابع هدف افزوده شده است. با توجه به اینکه مقدار کل آب مصرفی محصولات و سطح زیر کشت محصولات تغییر تصمیم می‌باشند، در محاسبات حداکثر مقدار آب مصرفی  $cons$  دو تغییر نام‌برده به‌عنوان (تغییر تصمیم) محاسبه می‌شوند.

در معادلات  $cons$  اگر مقدار آب مصرفی محصولات (تغییر تصمیم) از حداکثر مقدار آب مصرفی محصولات کمتر یا مساوی باشد



شکل ۲- روند نمای فرآیند محاسبات مدل بهینه‌ساز

زیر کشت و نیاز آبی محصولات در نواحی محدوده مورد مطالعه محاسبه شده اند. در این تحقیق سعی بر این شده که تا حد امکان مصرف آب کشاورزی با توجه به سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و مقدار نیاز آبی و سود خالص بر اساس این دو مقدار و حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی، بهینه و برآورد شوند. جدول (۵) سطح زیر کشت، حجم آب مصرفی، حجم نیاز آبی و سود خالص فعلی و بهینه نواحی مورد مطالعه را نشان می دهد. بیشترین میزان آب مورد نیاز در ناحیه اسلامشهر و در حالت بهینه برابر ۶۷/۲۱ درصد می باشد. سپس شهریار با ۲۰/۹۷ درصد و در نهایت رباط کریم با ۱۱/۸۲ درصد کمترین مقدار نیاز آبی را دارند. در مورد مصارف آب در شرایط بهینه، ناحیه شهریار با ۴۰/۹۲ درصد بیشترین مصرف آب در بخش کشاورزی را دارد سپس اسلامشهر با ۳۹/۴۸ درصد و در آخر رباط کریم با ۱۹/۶ درصد، کمترین میزان حجم آب مصرفی را دارد. در حالت کلی سطح زیر کشت، حجم آب مصرفی و حجم نیاز آبی بهینه کل محدوده مورد مطالعه نسبت به شرایط فعلی به میزان ۲۰/۴۴، ۴۹/۷۱ و ۲۰/۳۵ درصد کاهش یافته است. همچنین سود خالص بهینه در نواحی و کل محدوده از سود خالص فعلی آن به میزان ۱۳/۳۷ درصد کمتر می باشد زیرا کاهش مصرف آب و سطح زیر

در این تحقیق سعی بر این شده است که تا حد امکان مقدار نیاز ناخالص آبیاری بیشتر یا کمتر از مقدار آب مصرفی نشود زیرا اگر نیاز ناخالص آبیاری بیشتر از مقدار آب مصرفی محاسبه شود نیاز ناخالص آبیاری، وجود دارد؛ و اگر نیاز ناخالص آبیاری کمتر از مقدار آب مصرفی محاسبه شود، آب مازاد وجود خواهد داشت. در محاسبه need نیز همانند محاسبه CONS دو تغییر تصمیم آب مصرفی و مساحت زیر کشت محصولات محاسبه می شوند. ضرایب ثابت  $\gamma$  و  $\lambda$  در تابع جریمه دوم برابر ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده اند. به طور کلی در این تحقیق، تغییر تصمیم سطح زیر کشت و مقدار آب مصرفی برای هر محصول در نظر گرفته شده است که تعداد کل متغیرهای تصمیم برابر با ۱۳۶ خواهد بود. در تحقیق حاضر، اندازه جمعیت کروموزمها ۴۰۰ و تعداد تکرارها ۱۰۰۰ دور در نظر گرفته شد. به منظور تعیین اندازه جمعیت کروموزمها، چهار جمعیت ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ و هر جمعیت با ۴۰۰ تکرار توسط الگوریتم اجرا شد در نهایت با بررسی نتایج هر اجرا بهترین جمعیت انتخاب شد.

## نتایج و بحث

در تحقیق حاضر مقادیر سود خالص، مصرف آب کشاورزی، سطح



این به دلیل مقدار منابع آبی در دسترس و نحوه توزیع منابع آبی و روش‌های آبیاری در نواحی مورد مطالعه می‌باشد که در هر ناحیه با یکدیگر متفاوت می‌باشند. در تحقیق مورد نظر، مصارف آبی شامل آب سطحی و زیرزمینی در بخش کشاورزی می‌باشد. در این مطالعه به دلیل اینکه سیاست بهره‌برداری از منابع آبی، آب سطحی را در اولویت مصارف قرار می‌دهد بنابراین با توجه به حجم نیاز آبی بخش کشاورزی و شرایط منابع آب سطحی و زیرزمینی محدوده مطالعاتی، می‌توان ابتدا نیاز آبی بخش کشاورزی را توسط آب سطحی تأمین نمود سپس در صورت کمبود منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین سود خالص، الگوی کشت بهینه، حجم مصارف و نیاز آبی بهینه با توجه به اهداف مسئله و محدودیت‌های اعمال شده در مدل بهینه‌سازی برآورد شده‌اند؛ بنابراین با در نظر گرفتن شرایط حاکم بر محدوده مطالعاتی، مقادیر بهینه مورد نظر محاسبه شده‌اند.

کشت محصولات کشاورزی در نواحی محدوده مورد مطالعه نیز کاهش یافته‌اند. ولی هزینه ثابت متناسب با سطح زیر کشت و هزینه تغییر (هزینه آب مصرفی) متناسب با سطح زیر کشت و میزان آب مصرفی کاهش یافته است. حجم نیاز آبی محصولات کشاورزی نیز متناسب با سطح زیر کشت و حجم آب مصرفی برآورد شده است که با توجه به تأمین نیاز بخش کشاورزی، میزان مصرف آب تأثیر قابل توجهی در عملکرد و تولید محصول کشاورزی ندارد. تأمین نیاز بخش کشاورزی در حالت فعلی و بهینه برابر ۵۸/۰۵ و ۵۱/۲۸ درصد می‌باشد؛ بنابراین تأمین نیاز آبی در حالت بهینه با توجه به کاهش مصرف آب و سطح زیر کشت، قابل قبول می‌باشد؛ و با توجه به این موضوع، هزینه تغییر و نیاز آبی به عنوان عوامل مهم، منجر به کاهش کمتر سود خالص نسبت به حالت فعلی شده‌اند. با توجه به اینکه مساحت تحت کشت ناحیه شهریار و حجم نیاز آبی آن کمتر از ناحیه اسلامشهر است ولی مصارف آب فعلی و بهینه ناحیه شهریار بیشتر از اسلامشهر می‌باشد و

جدول ۵- وضعیت فعلی و بهینه متغیره‌ای مورد بررسی در نواحی مطالعاتی

وضعیت	عنوان تغییر	رابط کریم	اسلامشهر	شهریار
فعلی	مساحت کشت (هکتار)	۱۰۳۴۲	۴۸۸۷۳	۱۵۵۰۵
	آب مصرفی (میلیون مترمکعب)	۱۱۸	۲۱۶	۲۵۶
	نیاز آبی (میلیون مترمکعب)	۱۰۰	۵۷۲	۱۷۸
	سود خالص (میلیون ریال)	۲۵۸۸۷۲۹	۳۰۶۴۵۰۱	۲۷۸۰۴۵۱
بهینه	مساحت کشت (هکتار)	۸۲۲۰	۳۸۸۸۵	۱۲۳۴۱
	آب مصرفی (میلیون مترمکعب)	۶۸	۱۳۷	۱۴۲
	نیاز آبی (میلیون مترمکعب)	۸۰	۴۵۵	۱۴۲
	سود خالص (میلیون ریال)	۲۱۵۴۶۲۱	۲۷۳۹۶۹۵	۲۴۱۱۶۸۷

نواحی مطالعاتی را نشان می‌دهد. محصولات زراعی جو، گندم و ذرت دانه‌ای به ترتیب در ناحیه رباط کریم، اسلامشهر و شهریار دارای بیشترین سطح زیر کشت بهینه به میزان ۳۹/۲، ۲۸/۵۳ و ۲۷/۴۳ درصد هستند. انگور به عنوان یک محصول باغی در ناحیه رباط کریم با ۸۹/۹۴ درصد بیشترین سطح زیر کشت را دارد. در ناحیه اسلامشهر پسته با ۳۲/۷۳ درصد و در ناحیه شهریار آلو با ۲۵/۱۵ درصد دارای بیشترین مساحت کشت می‌باشند. جدول (۸) نسبت سود خالص به مساحت کشت و حجم آب مصرفی بهینه محصولات زراعی و باغی نواحی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به جدول مذکور در نواحی رباط کریم و اسلامشهر بیشترین پارامتر (سود خالص نسبت به سطح زیر کشت) مربوط به محصول سبزیجات و در ناحیه شهریار، پیاز می‌باشد. در مورد محصولات باغی، بیشترین نسبت سود خالص به سطح زیر کشت در نواحی رباط کریم، اسلامشهر و شهریار مربوط به انگور بوده است. محصول جو در ناحیه رباط کریم بیشترین حجم آب مصرفی بهینه به میزان ۳۸/۱۱ درصد را به خود اختصاص داده است.

جدول (۶) نسبت سود خالص به مساحت کشت در حالت فعلی و بهینه در نواحی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار نسبت سود خالص به مساحت کشت در حالت فعلی و بهینه مربوط به ناحیه رباط کریم سپس ناحیه شهریار و در انتها ناحیه اسلامشهر می‌باشد. مقادیر نسبت سود خالص به مساحت کشت در حالت بهینه بیشتر از شرایط فعلی می‌باشد؛ زیرا در حالت بهینه، هزینه مقدار آب مصرفی مربوط به مساحت کشت بهینه محصولات کشاورزی کاهش یافته است. همچنین دلیل اینکه مقدار پارامتر مورد نظر در شرایط فعلی و بهینه در ناحیه رباط کریم نسبت به سایر نواحی دیگر بیشتر می‌باشد این است که در این ناحیه، بعضی از محصولات مانند انگور، ذرت دانه‌ای و سبزیجات که بیشترین سود خالص نسبت به کل سود خالص محصولات را داشته‌اند و نیز سطح زیر کشت قابل توجهی نسبت به کل مساحت کشت به خود اختصاص داده‌اند و به این ترتیب نسبت سود خالص به مساحت کشت ناحیه رباط کریم از نواحی دیگر بیشتر شده است. جدول (۷) سطح زیر کشت بهینه محصولات زراعی و باغی در

همچنین محصول گندم در ناحیه اسلامشهر و ذرت دانه‌ای در ناحیه شهریار دارای بیشترین حجم آب مصرفی بهینه به میزان ۲۶/۸۱ و ۲۶/۱۲ درصد می‌باشند؛ و محصولات باغی انگور، پسته و آلو در نواحی رباط کریم، اسلامشهر و شهریار با ۹۹/۰۴، ۳۵/۵۷ و ۲۴/۶۸ درصد بیشترین حجم آب مصرفی بهینه را دارند. محصول انگور نسبت به سایر محصولات زراعی و باغی، بیشترین میزان بهینه پارامتر (سود خالص نسبت به سطح زیر کشت) را در نواحی مورد مطالعه دارد؛ و حجم آب مصرفی بهینه آن نیز مناسب و قابل قبول می‌باشد. در این رابطه می‌توان به تحقیق هاشمی و همکاران اشاره نمود. آن‌ها مدل پویایی سیستم را به منظور محاسبه سطح آب‌های زیرزمینی و اقتصاد برای تعیین درآمد کشاورزان برای ۱۷ محصول پس از کالیبراسیون به روش الگوریتم ژنتیک ساده توسعه دادند. نتایج نشان داد که گندم نقش مهمی در ایجاد تعادل منفی آب دارد اما به اندازه انگور بر درآمد کشاورزان تأثیر نمی‌گذارد (Hashemi et al., 2019)؛ بنابراین محصول انگور با توجه به مصرف آب و درآمد آن، یک محصول مهم و مؤثر در الگوی کشت بهینه می‌باشد. محصول انار بعد از انگور قرار گرفته که بیشترین میزان بهینه سود خالص نسبت به سطح زیر کشت را دارد؛ و در ناحیه شهریار این محصول سطح زیر کشت باغی ندارد. همچنین محصولات پیاز، سبزیجات و گلابی دارای نسبت سود خالص به سطح زیر کشت و نیز حجم آب مصرفی بهینه مناسب می‌باشند. با توجه به مطالب بیان شده میزان آب مصرفی محصول گلابی در هر ناحیه کمتر از سبزیجات می‌باشد. در رابطه با سطح زیر کشت بهینه، توسط سو و همکاران یک مدل تخصیص بهینه چندمنظوره توسعه داده شد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد، نسبت کاشت محصولات غذایی مانند ذرت کاهش یافته، درحالی که نسبت کاشت محصولات پنبه، سبزیجات و میوه‌ها افزایش می‌یابد (Su et al., 2014)؛ بنابراین محصولات انگور، انار، پیاز و سبزیجات، گلابی به دلیل اینکه از نظر سود خالص نسبت به سطح زیر کشت و نیز میزان آب مصرفی مناسب هستند، می‌توان این محصولات را در الگوی کشت بهینه با توجه به شرایط منابع آبی و اقتصادی در هر ناحیه، بیشتر مورد توجه قرار داد. اسدی و همکاران با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)، تأثیر دو سیاست عرضه آب و قیمت‌گذاری آب را در بخش کشاورزی دشت قروه بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که

اعمال سیاست محدودیت در تأمین آب، الگوی کشت و کاربری زمین را به محصولات با بهره‌وری بیشتر آب تغییر می‌دهد. افزایش محدودیت‌های منابع آب می‌تواند منجر به افزایش بازده اقتصادی آب شود که نشان‌دهنده افزایش ارزش کمبود منابع آب است و به تولیدکنندگان بخش کشاورزی هشدار می‌دهد که آب را به محصولات با ارزش اقتصادی بالاتر در شرایط کمبود منابع آب اختصاص دهند (Asaadi et al., 2019)؛ بنابراین شرایط منابع و مصارف آبی و بازده اقتصادی محصولات کشاورزی به‌منظور تدوین الگوی کشت و سیاست بهره‌برداری بهینه از منابع آبی و نیز افزایش بازده اقتصادی، جزء عوامل مهم و مؤثر به شمار می‌آیند. در این مطالعه، مدل بهینه‌سازی مورد نظر با دقت مناسب متغیرهای تصمیم را تعیین نموده و سیاست بهره‌برداری بهینه از منابع آبی، حجم مصارف بهینه آبی را نسبت به حالت فعلی در حد مطلوب کاهش داده است.

### نتیجه‌گیری

حجم آب مصرفی در ناحیه شهریار بیشتر از نیاز آبی آن بوده که در حالت بهینه این دو مقدار با یکدیگر، برابر برآورد شده‌اند. حجم آب مصرفی بعضی از محصولات در ناحیه رباط کریم نیز بیشتر از نیاز آبی آن‌ها بوده که با توجه به این موضوع حجم آب مصرفی و نیاز آبی بعضی از محصولات ناحیه مذکور در حالت بهینه برابر محاسبه شده‌اند. در این تحقیق اولویت مصارف از منابع آب سطحی مورد توجه قرار دارد؛ و به این منظور تأمین نیاز آبی، ابتدا از منابع آب سطحی قابل‌دسترس مورد استفاده قرار می‌گیرد سپس جهت تأمین کمبود منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ بنابراین با توجه به این موضوع و مقدار بهینه حجم آب مصرفی، استفاده از منابع آب زیرزمینی تا حد امکان کاهش می‌یابد. سطح زیر کشت، حجم آب مصرفی و حجم نیاز آبی بهینه کل محدوده مورد مطالعه نسبت به شرایط فعلی به میزان ۲۰/۴۴، ۴۹/۷۱ و ۲۰/۳۵ درصد کاهش یافته است. مقادیر نسبت سود خالص به مساحت کشت نواحی مطالعاتی در حالت بهینه بیشتر از شرایط فعلی می‌باشد؛ و بیشترین مقدار پارامتر مورد نظر در حالت فعلی و بهینه مربوط به ناحیه رباط کریم سپس ناحیه شهریار و در انتها ناحیه اسلامشهر می‌باشد.

جدول ۶- نسبت سود خالص به سطح زیر کشت در

حالت فعلی و بهینه در نواحی مطالعاتی			وضعیت
نسبت سود به مساحت (میلیون ریال بر هکتار)			
شهریار	اسلامشهر	رباط کریم	
۱۷۹	۶۳	۲۵۰	فعلی
۱۹۵	۷۰	۲۶۲	بهینه

جدول ۷- مساحت کشت بهینه محصولات زراعی و باغی در نواحی مورد مطالعه

سطح زیر کشت بهینه (هکتار)			نام محصول	نوع محصول	
شهریار	اسلامشهر	رباط کریم			
۱۰۵۱	۱۰۶۷۰	۶۷۵	گندم	زراعی	
۵۷۰	۸۶۸۱	۱۸۱۲	جو		
۱	۴	۰	پنبه		
۱۱	۶۹	۲۰	کلزا		
۱	۱۷	۰	خیار		
۸	۲۲۱	۰	یونجه		
۶۳۷	۳۶۱۲	۲۹۳	ذرت علوفه‌ای		
۱	۰	۰	پیاز		
۱۱	۷۱	۰	گوجه‌فرنگی		
۸۶۸	۴۱۴۵	۴۶۰	سبزیجات		
۱۱۹۵	۹۹۰۶	۱۳۶۲	ذرت دانه‌ای		
۲	۷	۰	خریزه		
۸۰۴	۵	۲۴	سیب		باغی
۲۸۷	۱۲	۵	گیلاس		
۶۶۲	۷	۲۷	گلابی		
۱۳۰۶	۹۵	۵۵	زردآلو و قیسی		
۱۶۷۲	۶۵	۱۱۳	هلو، شلیل، شفتالو		
۲۰۰۸	۴۹	۱۱۲	آلو، گوجه		
۰	۰	۰	زیتون		
۴۱	۱	۱	بادام زمینی		
۰	۱۲۲	۳	انار		
۱۷۶	۴۳	۱۷	گردو		
۲	۴۸۶	۳	پسته		
۹۶۸	۴۵۱	۳۲۳۷	انگور		
۹	۴	۲	توت درختی		
۳۶	۷	۰	به		
۱۴	۱۳۸	۰	انجیر		

پارامتر (سود خالص نسبت به سطح زیر کشت) را در نواحی مورد مطالعه دارد؛ و حجم آب مصرفی بهینه آن نیز مناسب و قابل قبول می‌باشد؛ بنابراین محصول انگور با توجه به مصرف آب و درآمد آن، یک محصول مهم و مؤثر در الگوی کشت بهینه می‌باشد. محصول انار بعد از انگور قرار گرفته که بیشترین میزان بهینه سود خالص نسبت به سطح زیر کشت را دارد. همچنین محصولات پیاز، سبزیجات و گلابی دارای نسبت سود خالص به سطح زیر کشت و نیز حجم آب مصرفی بهینه مناسب می‌باشند. با توجه به مطالب بیان شده میزان آب مصرفی محصول گلابی در هر ناحیه کمتر از سبزیجات می‌باشد. سطح زیر کشت محصول انگور گسترده بوده و باعث ایجاد سود خالص قابل ملاحظه‌ای می‌شود؛ و با توجه به مساحت کشت و آب مصرفی این محصول در هر ناحیه، سود خالص آن مناسب و ایده‌آل

در نواحی رباط کریم و اسلامشهر بیشترین پارامتر (سود خالص نسبت به سطح زیر کشت) مربوط به محصول سبزیجات و در ناحیه شهریار، پیاز می‌باشد. همچنین انگور به عنوان یک محصول باغی، بیشترین نسبت سود خالص به سطح زیر کشت در نواحی رباط کریم، اسلامشهر و شهریار را دارد. محصول جو در ناحیه رباط کریم بیشترین حجم آب مصرفی بهینه به میزان ۳۸/۱۱ درصد را به خود اختصاص داده است. همچنین محصول گندم در ناحیه اسلامشهر و ذرت دانه‌ای در ناحیه شهریار دارای بیشترین حجم آب مصرفی بهینه به میزان ۲۶/۸۱ و ۲۶/۱۲ درصد می‌باشند؛ و محصولات باغی انگور، پسته و آلو در نواحی رباط کریم، اسلامشهر و شهریار با ۹۹/۰۴، ۵۷/۳۵ و ۲۴/۶۸ درصد بیشترین حجم آب مصرفی بهینه را دارند. محصول انگور نسبت به سایر محصولات زراعی و باغی، بیشترین میزان بهینه

بهینه، مصرف آب و مساحت کشت کمتری نسبت به الگوی کشت فعلی دارد ولی سود خالص آن نیز کمتر است که با توجه به شرایط منابع آبی و خاکی و غیره در نواحی مورد مطالعه، می‌توان با کاشت گیاهان مقاوم به کم‌آبی و یا جایگزین نمودن محصولات دیگر مانند انگور، انار، پیاز، سبزیجات و گلابی، سود خالص را افزایش داده و اقتصاد محدوده مورد مطالعه را در بخش کشاورزی مطلوب نمود.

می‌باشد؛ و همچنین شرایط محصولات انار، پیاز و سبزیجات، گلابی نیز از نظر مساحت کشت و آب مصرفی آن‌ها در نواحی مورد نظر مناسب می‌باشد ولی محصول انگور به دلیل سود خالص قابل توجه و میزان آب مصرفی مناسب، از سایر محصولات دیگر در کل محدوده مورد مطالعه مطلوب‌تر است؛ بنابراین می‌توان از این محصول و محصولات مناسب دیگر مانند انار، پیاز، سبزیجات و گلابی بیشتر از سایر محصولات دیگر در الگوی کشت استفاده نمود. الگوی کشت

جدول ۸- نسبت سود خالص به مساحت کشت و حجم آب مصرفی محصولات زراعی و باغی در حالت بهینه در نواحی مورد مطالعه

نوع محصول	نام محصول	نسبت سود به مساحت (میلیون ریال بر هکتار)		حجم آب مصرفی بهینه (مترمکعب)	
		رباط کریم	اسلامشهر	شهریار	رباط کریم
زراعی	گندم	۲۵	۳۰	۲۷	۵۸۸۱۷۷
	جو	۳	۲	۷	۱۵۷۶۲۵۸۰
	پنبه	۰	۲۷	۶	۰
	کلزا	۲	۴	۳	۱۴۸۹۵۳
	خیار	۰	۱۶	۵۸	۰
	یونجه	۰	۴۹	۱۷۴	۰
	ذرت علوفه‌ای	۸۹	۵۴	۶۴	۲۵۹۲۸۱۷
	پیاز	۰	۰	۳۹۱	۰
	گوجه‌فرنگی	۰	۱۰۶	۲۲۳	۰
	سبزیجات	۲۵۸	۲۵۳	۲۴۴	۴۹۱۷۵۷۳
	ذرت دانه‌ای	۱۶۹	۸۶	۱۵۷	۱۲۰۵۲۶۳۵
	خرنزه	۰	۸۶	۱۹	۰
باغی	سیب	۱۲۲	۸۷	۷۶	۹۳۴۶
	گیلاس	۲۴۱	۰	۱۳۴	۹۹۹
	گلابی	۲۵۴	۱۵۶	۳۹۹	۱۳۰۵۰
	زردآلو و قیسی	۸۵	۳۶	۱۶۲	۲۶۱۵۳
	هلو، شلیل، شفتالو	۴۸	۵۰	۸۸۸	۸۴۴۷۸
	آلو، گوجه	۱۰۷	۵۷	۱۷۸	۶۹۵۲۳
	زیتون	۰	۱۱	۰	۰
	بادام زمینی	۱۱۹	۷۲	۲۲۷	۵۲۱۷
	انار	۲۷۲	۳۲۶	۰	۳۳۴۸۹
	گردو	۱۱۵	۳۴	۱۹۱	۱۶۴۳۶
	پسته	۱۶	۹	۹	۳۸۶
	انگور	۵۳۲	۴۹۰	۸۳۴	۲۶۴۶۰۶۷۶
توت درختی	۴۸	۳۶	۱۲۰	۲۰۵۵	
به	۰	۸۴	۲۳۰	۰	
انجیر	۰	۲۹	۲۹	۰	

- model for optimal cropping pattern and irrigation scheduling under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. (140): 1–13.
- Georgiou, P. E. and Papamichail, D. M. 2008. Optimization model of an irrigation reservoir for water allocation and crop planning under various weather conditions. *Irrigation science*. 26(6): 487-504.
- Hashemi, M., Zadeh, H. M., Arasteh, P. D. and Zarghami, M. 2019. Economic and environmental impacts of cropping pattern elements using systems dynamics. *Civil Engineering Journal*. 5(5): 1020-1032.
- Honar, T., Ghazali, M. and Nikoo, M. R. 2021. Selecting the Right Crops for Cropping Pattern Optimization Based on Social Choice and Fallback Bargaining Methods Considering Stakeholders' Views. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 45(2): 1077-1088.
- Inas, E. G., Grigg, N. and Waskom, R. 2017. Water-food-energy: nexus and non-nexus approaches for optimal cropping pattern. *Water Resources Management*. 31(15): 4971-4980.
- Jain, S., Ramesh, D. and Bhattacharya, D. 2021. A multi-objective algorithm for crop pattern optimization in agriculture. *Applied Soft Computing*. 112: 107772.
- Jiang, Y., Xu, X., Huang, Q., Huo, Z. and Huang, G. 2016. Optimizing regional irrigation water use by integrating a two-level optimization model and an agro-hydrological model. *Agricultural water management*. 178: 76-88.
- Kaleeswaran, V., Dhamodharavadhani, S. and Rathipriya, R. 2021. Multi-crop Selection Model Using Binary Particle Swarm Optimization. In *Innovative Data Communication Technologies and Application* (pp. 57-68). Springer, Singapore.
- Karamouz, M., Zahraie, B., Kerachian, R. and Eslami, A. 2010. Crop pattern and conjunctive use management: a case study. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*. 59(2): 161-173.
- Ketsripongsa, U., Pitakaso, R., Sethanan, K. and Srivarapongse, T. 2018. An Improved differential evolution algorithm for crop planning in the Northeastern Region of Thailand. *Mathematical and Computational Applications*. 23(3): 40.
- Khashei-siuki, a., Ghahreman, b. and Kouchakzadeh, m. 2010. Application of Agricultur Water Allocation and Management by PSO Optimization Technic (Case study: Nayshabur Plaine) *Journal of Water and Soil*. 27(2): 292-303.
- Najafabadi, M. M., Ziaee, S., Nikouei, A. and Alizadeh, a., Majidi, n., Ghorbani, m. and Mohammadian, f. 2012. Cultivation pattern optimization to balance groundwater resource (case study: Mashhad-Chenaran plain). *Iran irrigation and drainage*. 6(1): 55- 68.
- Asaadi, M. A., Mortazavi, S. A., Zamani, O., Najafi, G. H., Yusaf, T. and Hoseini, S. S. 2019. The impacts of water pricing and non-pricing policies on sustainable water resources management: A case of Ghorveh plain at Kurdistan province, Iran. *Energies*. 12(14): 2667.
- Babel, M. S., Gupta, A. D. and Nayak, D. K. 2005. A model for optimal allocation of water to competing demands. *Water resources management*. 19(6): 693-712.
- Bergez, J. E. 2013. Using a genetic algorithm to define worst-best and best-worst options of a DEXi-type model: Application to the MASC model of cropping-system sustainability. *Computers and electronics in agriculture*. 90: 93-98.
- Birhanu, K., Alamirew, T., Olumana, M. D., Ayalew, S. and Aklog, D. 2015. Optimizing cropping pattern using chance constraint linear programming for koga irrigation dam, Ethiopia. *Irrigation & Drainage Systems Engineering*. 10(4172): 2168-9768.
- Chetty, S., Adewumi, A. O. 2013. Comparison study of swarm intelligence techniques for the annual crop planning problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 18(2): 258-268.
- Dai, C., Qin, X. S. and Lu, W. T. 2021. A fuzzy fractional programming model for optimizing water footprint of crop planting and trading in the Hai River Basin, China. *Journal of Cleaner Production*. 278: 123196.
- Dai, Z. Y. and Li, Y. P. 2013. A multistage irrigation water allocation model for agricultural land-use planning under uncertainty. *Agricultural Water Management*. 129: 69-79.
- Divakar, L., Babel, M. S., Perret, S. R. and Gupta, A. D. 2011. Optimal allocation of bulk water supplies to competing use sectors based on economic criterion– An application to the Chao Phraya River Basin, Thailand. *Journal of Hydrology*. 401(1-2): 22-35.
- Fasakhodi, A. A., Nouri, S. H. and Amini, M. 2010. Water resources sustainability and optimal cropping pattern in farming systems; a multi-objective fractional goal programming approach. *Water resources management*. 24(15): 4639-4657.
- 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.
- Garga, S. and Dadhich, M. 2014. Integrated non-linear

- Geosciences. 13(4): 1-12.
- Shreedhar, R., Hiremath, C.G. and Shetty, G.G. 2015. Optimization of Cropping pattern using Linear Programming Model for Markandeya Command Area. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 6(9): 1311-1326
- Singh, A. and Panda, S. N. 2013. Optimization and simulation modelling for managing the problems of water resources. *Water resources management*. 27(9): 3421-3431.
- Su, X., Li, J. and Singh, V. P. 2014. Optimal allocation of agricultural water resources based on virtual water subdivision in Shiyang River Basin. *Water Resources Management*. 28(8): 2243-2257.
- Tafteh, A., Babazadeh, H., Ebrahimipak, N. A. and Kaveh, F. 2014. Optimization of irrigation water distribution using the MGA method and comparison with a linear programming method. *Irrigation and drainage*. 63(5): 590-598.
- Varade, S. Patel, J. N. 2018. Determination of optimum cropping pattern using advanced optimization algorithms. *Journal of Hydrologic Engineering*. 23(6): 05018010.
- Wardlaw, R. and Bhaktikul, K. 2004. Application of genetic algorithms for irrigation water scheduling. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*. 53(4): 397-414.
- Zeng, X., Kang, S., Li, F., Zhang, L. and Guo, P. 2010. Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. *Agricultural Water Management*. 98(1): 134-142.
- Borazjani, M. A. 2019. Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems*. 173: 218-232.
- Rath, A., Swain, P. C. 2021. Optimal allocation of agricultural land for crop planning in Hirakud canal command area using swarm intelligence techniques. *ISH Journal of Hydraulic engineering*. 27(1): 38-50.
- Rawabdeh, H., Shatanawi, M., Scardigno, A. and Todorovic, M. 2010. Optimization of the cropping pattern in Northern and Southern part of the Jordan Valley under drought conditions and limited water availability. *Economics of Drought and Drought Preparedness in a Climate Change Context. Options Méditerranéenes Série A*. 95: 199-206.
- Regulwar, D. G. and Gurav, J. B. 2013. Two-Phase Multi Objective Fuzzy Linear Programming Approach for Sustainable Irrigation Planning. *Journal of Water Resource and Protection*. 5(6): 642-651.
- Sadati, S. K., Speelman, S., Sabouhi, M., Gitizadeh, M. and Ghahraman, B. 2014. Optimal irrigation water allocation using a genetic algorithm under various weather conditions. *Water*. 6(10): 3068-3084.
- Sarma, A. K., Misra, R., and Chandramouli, V. 2006. Application of genetic algorithm to determine optimal cropping pattern. *Opsearch*. 43(3): 320-329.
- Shirdeli, A. and Dastvar, S. 2014. An optimization technique for cropping patterns and land consolidation: A case study for irrigation network. *Management Science Letters*. 4(9): 2087-2092.
- Shirshahi, F., Babazadeh, H., EbrahimiPak, N. and Khaledian, M. 2020. Sustainable optimization of regional agricultural water use by developing a two-level optimization model. *Arabian Journal of*

## Determining the Optimal Cultivation Area and Pattern of Agricultural Water Consumption in Order to Manage Multi-Objective Planning

N. Salehi Shaf<sup>1</sup>, H. Babazade<sup>2\*</sup>, F. Aghayari<sup>3</sup>, A. Saremi<sup>4</sup>

Received: Sep.29, 2021

Accepted: Nov.01, 2021

### Abstract

Due to extensive agricultural activities and the need for significant irrigation, water consumption in the agricultural sector has increased. Therefore, providing solutions to reduce water consumption is an important issue. For this purpose, the optimization model was calculated and presented separately using the multi-objective genetic algorithm (NSGA-II) with two functions of net profit and agricultural water consumption in the Shahriar plan (Tehran, Iran). Also, the optimal values of net profit, cultivation pattern, irrigation uses and gross irrigation requirement were estimated in the optimization model. The results showed that the highest net profit, cultivation area and the volume of optimal water demand are related to Islamshahr area, then Shahriyar area and finally Robat Karim have the most desired values. Shahriar area has the highest optimal water consumption in the agricultural sector, then Islamshahr and finally Robat Karim has the lowest optimal amount of agricultural water consumption. The highest ratio of net profit to cultivated area in the optimal condition was related to Robat Karim area, then Shahriyar area and finally Islamshahr area. Also, according to the cultivation area and the optimal water consumption of grape, pomegranate, onion, vegetables in each area, their net profit is appropriate and ideal. And grape is the best possible crop among them. The policy of optimal utilization of water resources has led to a reduction in the area under cultivation, the volume of optimal water consumption and the volume of water needs in the whole area compared to the current situation by 20.44, 49.71 and 20.35 percent.

**Keywords:** Agricultural water consumption, Net profit, Net profit to cultivation area ratio, Optimal exploitation policy

1- Ph. D. Student in Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

4- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(\*.- Corresponding Author Email: h\_babazadeh@hotmail.com)