

طراحی یک مدل تصمیم‌گیری چندهدفه به منظور تعیین الگوی کشت بهینه تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت بیرجند)

احمد جعفرزاده^{۱*}، عباس خاشعی سیوکی^۲، علی شهیدی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۲. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۳. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۱۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۳/۲۴)

چکیده

با توجه به محدودیت منابع اساسی تولیدی نظیر آب، تخصیص این منابع از اهمیت بالایی برخوردار است. به منظور جلوگیری از هدر رفت منابع آب زیرزمینی و سطحی و همچنین افزایش رونق اقتصادی زارعین، اعمال سیاست‌هایی که بر اساس الگوی کشت و حفظ منابع آب پایه‌ریزی شده‌اند، ضرورت می‌یابد. در چنین شرایطی انتخاب روشی که بتواند اهداف متعدد را در یک محیط شبیه‌سازی نموده و مدیر را برای انتخاب بهترین روش راهنمایی نماید مهم و ضروری به حساب می‌آید. یکی از این روش‌ها استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری چندهدفه است. در این مطالعه به منظور تعیین الگوی کشت بهینه در افق سال ۱۴۱۸ شمسی، افزایش درآمد کشاورزان و همچنین کاهش افت سطح آب در آبخوان دشت بیرجند تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به عنوان هدف انتخاب شدند. همچنین برای رسیدن به هدف فوق از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ازدحام ذرات استفاده شد. به منظور شبیه‌سازی رفتار مؤلفه‌های اقلیمی از خروجی‌های مدل BCM2 تحت سناریوی انتشار B1 استفاده شد. نتایج و یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که ظرفیت‌های لازم برای رسیدن به حالت مطلوب تری نسبت به وضعیت فعلی وجود دارد، به طوری که مقادیر بهینه الگوی کشت برای محصولات زراعی و باغی دشت می‌توانند علاوه بر افزایش درآمد کل حاصل از فروش محصولات به کاهش افت سطح آبخوان نیز کمک شایانی را نمایند. افزایش سطح زیر کشت محصولات نظیر زعفران، زرشک و عناب به عنوان ظرفیت‌های بخش کشاورزی در الگوی کشت بهینه می‌تواند ضمن کاهش افت ارتفاع سطح آبخوان موجبات توسعه اقتصادی را نیز فراهم نماید. همچنین نتایج نشان داد در حالتی که کمترین افت سطح آبخوان به وجود آید، مقدار میانگین سود به هزینه کل محصولات معادل ۳/۸۶ خواهد بود. میزان افت سطح آب آبخوان در این وضعیت معادل ۲۶/۹ سانتی‌متر در سال به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، سود به هزینه، عملکرد، MOPSO

مقدمه

حاضر اکثر تولیدکنندگان به مسائل اقتصادی توجه کمتری داشته و جریان تولید بر اساس احساس تولیدکننده صورت می‌گیرد. نوع تولید اغلب بدون برنامه‌ریزی و بدون توجه به وضع بازار انتخاب می‌شود (Khadem, 1990). در راستای اهداف برنامه چهارم توسعه مبتنی بر افزایش در تولید محصولات کشاورزی طراحی صحیح الگوی کشت به منظور دستیابی به بیشترین تولید و افزایش درآمد ضروری است. طراحی الگوی کشت باید به نحوی صورت پذیرد تا علاوه بر استفاده بهینه از ظرفیت‌های موجود، بخشی از نیازهای منطقه‌ای و ملی را نیز تأمین نماید (Saliani, 1996). مطالعات گوناگونی به منظور تعیین الگوی کشت بهینه در داخل و خارج کشور انجام شده است (Aghajani et al, 2013؛ Alamirew et al, 2015؛

آمارهای موجود نشان می‌دهد که ذخایر منابع آب در بسیاری از مناطق کشور از جمله دشت بیرجند به دلیل بهره‌برداری غیر بهینه در معرض تهدید جدی قرار گرفته و ادامه این روند پیامدهای جبران‌ناپذیر اقتصادی و زیست‌محیطی را در منطقه بر جای خواهد گذاشت. با توجه به سهم عظیم بخش کشاورزی در تخلیه از آبخوان در این دشت (حدود ۶۰ درصد)، ضرورت توجه به افزایش بهره‌وری از آب مصرفی کاملاً محسوس است (Water Regional Organization of Southern Khorasan, 2008). از طرفی شواهد و بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که در حال

مطالعه آن‌ها نشان داد که بهره‌وری آب در قسمت جنوبی در مقایسه با قسمت شمالی پایین‌تر است. همچنین Shirdeli & Dastvar *et al.*, (2014) با استفاده از یک مدل ریاضی تک‌هدفه اقدام به بهینه‌سازی الگوی کشت اراضی کشاورزی پایین‌دست سد بوئین پرداختند. هدف مطالعه آن‌ها بهینه‌سازی درآمد کشاورزان در این منطقه بود و برای تحلیل آن در آینده ۴ برنامه ۵ ساله را تدوین نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها حاکی از این بود که امکان افزایش قابل‌توجه 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 ۵ ساله خواهد بود. بعد از اتمام آخرین برنامه ۵ ساله میزان بهره‌وری آب از ۵۰ درصد تا ۷۷ درصد افزایش داشته است. از جمله پژوهش‌گرانی که مبادرت به بررسی الگوی کشت متأثر از شرایط اقلیمی نمودند، می‌توان به Yang *et al.*, (2015)، Ashofteh *et al.*, (2013) و Matthews *et al.*, (2011) اشاره نمود. آن‌ها در مطالعات خود اقدام به تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط تغییر اقلیم نمودند. در پژوهشی دیگر Bagherian *et al.*, (2006) برای تعیین الگوی بهینه کشت، از روش برنامه‌ریزی خطی که در رابطه با تخصیص بهینه منابع کمیاب بین فعالیت‌های مختلف رقیب بکار گرفته می‌شود، استفاده کردند. همچنین برای استخراج و تجزیه و تحلیل نتایج از نرم‌افزار LINGO استفاده شد که از این طریق الگوی کشت در دو حالت کنونی (واسنجی) و بهینه، با توجه به محدودیت‌های منطقه تعیین گردید. برای نشان دادن رابطه قیمت-مقدار، نمودار تقاضای آب به صورت پلکانی استخراج گردید. نتایج نشان داد که کشاورزان از منابع موجود به نحو بهینه استفاده نمی‌کنند، به‌گونه‌ای که اختلاف سود در اجرای دو حالت کنونی و بهینه ۱۱/۵ درصد می‌باشد. تحلیل نظریه مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی و بررسی کاربرد آن در بهینه‌سازی الگوی کشت مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد موضوع مطالعه Kohansal *et al.*, (2008) می‌باشد. آن‌ها به‌منظور نیل به هدف فوق از نرم‌افزار Win Qsb استفاده کردند. اهداف مختلفی که مدیر واحد زراعی در این مطالعه در نظر گرفته است شامل بهینه‌سازی درآمد کشاورزان، کمینه کردن هزینه‌های جاری تولید و بهینه‌سازی اشتغال، کمینه کردن استفاده از کودهای شیمیایی از ته و فسفات و به کارگیری ماشین‌آلات و بهینه‌سازی اهداف تولیدی می‌شود. همچنین در یک پژوهش نو Khashei *et al.*, (2010) با استفاده از مدل بیلان آب زیرزمینی و با روش فراکوشی PSO الگو و تراکم کشت بهینه محصولات زراعی دشت نیشابور را تعیین نمود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که

Dury *et al.*, 2000؛ Baltar & Fontane, 2008؛ Asadpoor *et al.*, 2010؛ Fasakhodi *et al.*, 2010؛ Erfanifar *et al.*, 2013؛ Gill *et al.*, 2006؛ Haouari & Azaiez, 2001 که در ادامه به اختصار به بیان مختصری از آن‌ها پرداخته می‌شود. در یک پژوهش میدانی Alizadeh *et al.*, (2012) به بررسی بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی پرداختند. آن‌ها برای دستیابی به هدف فوق از روش‌های حل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی چندهدفه‌ی آرمانی در قالب ساختارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با به کارگیری الگوی مشخص‌شده در دوره برنامه‌ریزی ده‌ساله علاوه بر دستیابی به اهداف چندگانه، سبب کاهش کسری ذخایر مخزن آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه خواهد شد. در مطالعه‌ی دیگر Jolaei (2006) با استفاده از یک مدل چند منطقه‌ای نشان داد که استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی که هر سه هدف بهینه‌سازی سود بازاری، اجتماعی و دستیابی به خودکفایی در آن لحاظ شده باشد، برای هر محصول نتایج منطقی‌تری را نسبت به مدل‌های تک‌هدفه ارائه می‌نماید. Singh *et al.*, (2001) از مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده نمودند تا الگوی بهینه کشت را با هدف بهینه‌سازی درآمد خالص در منطقه‌ای از پاکستان برآورد نمایند. در این مدل، میزان زمین و کمترین سطح کشت گندم و برنج برای نیازهای غذایی کشاورزان به‌عنوان محدودیت‌های مدل در نظر گرفته شد که بر اساس نتایج حاصله سودآورترین کشت منطقه، کشت محصول گندم تعیین گردید. همچنین Alabdulkader *et al.*, (2012) در پژوهشی دیگر به بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی در عربستان سعودی پرداختند. در این مطالعه اهدافی از قبیل بهینه‌سازی بازده سالانه، کاهش مصرف آب و تخصیص کارآمد زمین‌های زراعی در میان محصولات رقیب در نظر گرفته شد. روشی که آن‌ها در مطالعه خود از آن بهره گرفتند استفاده از الگوی کشت بهینه بازده در حدود ۲/۴۲ میلیارد دلار آمریکا در سال دارای افزایش است. همچنین میزان مصرف آب نیز در حدود ۵۳ درصد کاهش داشته است. در یک مطالعه دیگر Rawabdeh *et al.*, (2010) اقدام به بهینه‌سازی الگوی کشت در اراضی شمالی و جنوبی رشته‌کوه اردن نمودند. آن‌ها در مطالعه خود شرایط خشکسالی و محدودیت منابع آب را در نظر گرفتند. آن‌ها از یک مدل اقتصادی برای ارزیابی درآمد کشاورزان استفاده کردند. همچنین برای بررسی بیلان عرضه و تقاضای آب از سناریوهای مختلف مدیریتی استفاده کردند. نتایج کلی

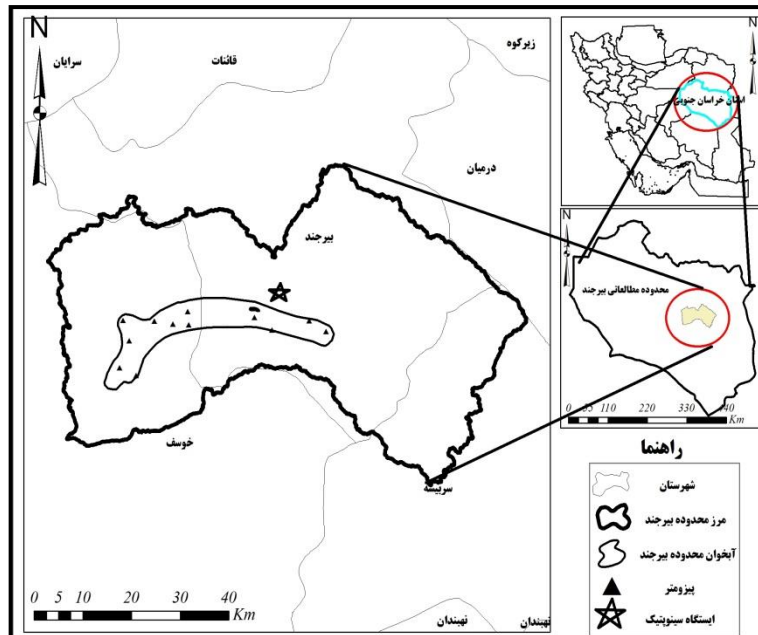
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان بیرجند مرکز استان خراسان جنوبی در شمال رشته‌کوه‌های باقران و در محدوده‌ی ۵۹ درجه و ۱۳ ثانیه طول جغرافیایی و با ۳۲ درجه و ۵۳ ثانیه عرض جغرافیایی قرار گرفته است. وسعت این شهر ۴۲/۷ کیلومترمربع، دارای ۲ بخش و ۱۰ دهستان می‌باشد. میانگین کمینه و بیشینه دمای سالانه بیرجند به ترتیب ۸ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد است. بارش سالانه ۱۵۲ میلی‌متر و ارتفاع از سطح دریا ۱۴۹۱ متر می‌باشد. اقلیم خشک در این محدوده مطالعاتی با میانگین تبخیر پتانسیل ۱۷۴۵/۳۸ میلی‌متر و عدم دسترسی به منابع سطحی قوی و پایدار، تکیه بر منابع آب زیرزمینی را تشدید کرده است. بر اساس آمار درازمدت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بیرجند (۱۹۹۲-۲۰۱۲) میانگین بارندگی ماهانه ۱۲/۴۸ میلی‌متر و میانگین بارندگی سالانه این دشت ۱۵۲ میلی‌متر است (Jafarzadeh *et al*, 2015 a , b). شکل (۱) جزئیات بهتری از موقعیت دشت بیرجند را ارائه می‌دهد.

می‌توان با کاهش ۳۰ درصدی سطح زیر کشت اغلب محصولات بهاره و افزایش ۳۰ درصدی سطح زیر کشت گندم و جو و کلزا بیشترین درآمد را از آب استحصالی از آبخوان دشت نیشابور کسب نمود. در بین محصولات بهاره ذرت و گوجه‌فرنگی نسبت به دیگر محصولات بهاره بیشترین سهم را در افزایش سطح داشت. نتایج نشان داد که با افزایش ۲۰۵۹۱ هکتار به محصولات پاییزه و کاهش ۱۰۹۷۰ هکتار از محصولات بهاره می‌توان ۷۵۰۰ هزار ریال به‌طور متوسط در هر هکتار درآمد بیشتری به دست آورد.

باین‌حال تاکنون مطالعه‌ای که به‌طور خاص با به کارگیری رهیافت بهینه‌سازی چندهدفه MOPSO و با مدنظر قرار دادن اثرات پدیده تغییر اقلیم اقدام به تدوین الگوی کشت بهینه در منطقه مورد مطالعه پرداخته باشد، صورت نپذیرفته است. بر این اساس مطالعه حاضر در نظر دارد در چارچوب یک روش بهینه‌سازی چندهدفه به تبیین الگوی بهینه پرداخته که دو هدف مورد نظر خود یعنی افزایش سود به هزینه حاصل از کشت محصولات زراعی و باغی و کاهش افت سطح آبخوان را تأمین نماید.



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی بیرجند

(Norway) توسعه پیدا کرده است، BCCR-BCM2.0 بوده که به اختصار BCM2 نامیده می‌شود. مؤلفه‌های بارش، دمای کمینه و بیشینه در سال ۱۴۱۸ شمسی به‌صورت روزانه ریزمقیاس شد. به‌منظور تعیین سازگارترین خروجی مدل‌های AOGCM، آمار مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک بیرجند شامل مؤلفه‌های بارندگی، دمای کمینه و بیشینه و تابش خورشیدی

مدل گردش عمومی جو - اقیانوس - (AOGCM)

در این مطالعه با توجه به مطالعات (Jafarzadeh, 2015) از مدل BCM2 تحت سناریوی B1 به‌عنوان سازگارترین خروجی موجود در آرشیو مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی متغیر بارندگی استفاده شد. نام کامل این مدل که در مرکز تحقیقات اقلیمی بجرکنس نروژ (Bjerknæs Centre for Climate Research,)

مقایسه با آمار مشاهداتی حدفاصل سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ میلادی استفاده شد. بدین ترتیب بهترین و سازگارترین خروجی تعیین می‌شود. جدول (۱) جزئیات کاملی از سناریوهای انتشار تغییر اقلیم را ارائه می‌دهد (Jafarzadeh, 2015).

به‌صورت روزانه حدفاصل سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ میلادی به‌عنوان دوره‌ی پایه (واسنجی مدل LARS-WG) به مدل معرفی شد. پس از واسنجی، از ۱۵ مدل AOGCM موجود در آرشیو LARS-WG تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌منظور

جدول ۱- جزئیات سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای

B1	A2	A1B	شاخص‌های توسعه جامعه
پایین	پایین	پایین	رشد جمعیت
بالا	خیلی بالا	خیلی بالا	تولید ناخالص داخلی
پایین	بالا	خیلی بالا	استفاده از انرژی
بالا	پایین	پایین	تغییر کاربری زمین
پایین	متوسط	متوسط	منابع سوخت در دسترس (گاز و نفت)
سریع	سریع	سریع	تغییر تکنولوژی
انرژی پاک و کارآمد	بدون سوخت فسیلی	متعادل	نحوه استفاده از انرژی (فسیلی و پاک)

در رابطه (۱) منظور از Headless افت سطح آب در آبخوان برحسب متر، B سود حاصل از فروش برحسب ریال و C هزینه مربوط به کشت برحسب ریال محصولات زراعی و باغی در محدوده دشت بیرجند است. به‌منظور تعیین تابع سود به هزینه (B/C) و افت سطح آب در آبخوان به ترتیب از تابع عملکرد محصولات کشاورزی و مدل مفهومی بیلان آبخوان استفاده شد.

مدل مفهومی بیلان آبخوان

به دلیل کمبود ریزش‌های جوی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر محدوده مطالعاتی بیرجند، مدیریت منابع آب وابستگی شدیدی به آب‌های زیرزمینی پیدا کرده است. مدیریت جامع منابع آب زیرزمینی نیازمند تحلیل دقیقی از تغییرات تمامی مؤلفه‌های آبخوان است. با توجه به اهمیت این مسئله، مدل‌های مفهومی مختلفی ارائه شده است که این مدل‌ها همواره دارای اجزایی هستند که می‌بایست با توجه به داده‌های مشاهداتی مورد تخمین قرار گیرند. تخمین دقیق این اجزاء از اهمیت بسزایی برخوردار است و مطالعات و تحقیقات آینده بستگی به چگونگی تخمین آن‌ها دارد. یکی از روش‌های واسنجی مدل‌ها استفاده از روش‌های واسنجی خودکار (الگوریتم‌های بهینه‌سازی) است که نسبت به سایر روش‌های سعی و خطا سریع‌تر و دقیق‌تر می‌باشند. در این مطالعه از مقادیر واسنجی شده مطالعه (Jafarzadeh, 2015) استفاده شد.

جریان‌های ورودی و خروجی در آبخوان، تخلیه مصارف شرب، صنعت و کشاورزی، حجم آب برگشتی و حجم نفوذی از بارش و رواناب از جمله پارامترهای تأثیرگذار در معادله بیلان آبخوان است. درواقع بیلان آبخوان وابسته به بارش باران (ورودی) و تخلیه مصارف متنوع (خروجی) است.

بهینه‌سازی

میانگین افت درازمدت آبخوان دشت بیرجند حدفاصل سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰ معادل ۴۰ سانتی‌متر برآورد شده است. این در حالی است که میزان افت در سال‌های اخیر روند افزایشی به خود گرفته است. افت سطح آب و کسری مخزن آبخوان دشت بیرجند در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به ترتیب معادل ۷۰ سانتی‌متر و ۱۱/۱۷ میلیون مترمکعب بوده است (Regional Organization of Southern Khorasan, 2008). همچنین موضوع قابل‌توجه دیگر تخصیص ۶۲ درصدی حجم تخلیه از آبخوان به مصارف کشاورزی است متأسفانه به دلیل عدم توجه به اصلاح الگوی کشت بیشتر مصارف آب کشاورزی صرف محصولات با نیاز آبی بالا می‌شود. درحالی‌که کشت این محصولات نیز ارزش اقتصادی بالایی را دارا نمی‌باشد. با توجه به محدودیت شدید منابع آب زیرزمینی در این منطقه انتظار می‌رود تا از آب مصرفی بیشترین استفاده و بهره‌وری انجام پذیرد. از این رو در این مطالعه سعی بر این شده است تا ضمن کاهش افت تراز هیدرولیکی آبخوان، به افزایش میزان سود به هزینه محصولات کشاورزی توجه شود. به‌منظور رسیدن به هدف فوق مقدار عمق آب آبیاری و سطح زیر کشت به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شد. بدین ترتیب حجم آب موردنیاز برای کشاورزی منطقه با در نظر گرفتن افت سطح آب در آبخوان و میزان سود به هزینه بهینه می‌شود. با توجه به مطالب بیان‌شده توابع هدف در این مطالعه به‌صورت زیر در نظر گرفته شد:

$$\begin{cases} Z_1 = \text{Headless} \\ Z_2 = B/C \end{cases} \quad (\text{رابطه ۱})$$

اعمال شد. تفاوت حجم ورودی و خروجی نسبت به سطح آبخوان و با در نظر گرفتن ضریب ذخیره، نشان‌دهنده‌ی تغییرات تراز هیدرولیکی آبخوان می‌باشد (Water Regional Organization of Southern Khorasan, 2008). معادله (۴) این موضوع را بیان می‌کند.

$$Z_1 = Headless = \frac{\Delta V}{A \times S} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$h_{i+1} = h_i + Headless$$

در رابطه فوق A و S به ترتیب مساحت و ضریب ذخیره آبخوان می‌باشد. طبق معادله (۴) تراز هیدرولیکی آبخوان در ابتدای هر ماه از حاصل جمع تغییرات و مقدار تراز هیدرولیکی در ماه قبل به دست می‌آید. در یک جمع‌بندی می‌توان گفت که معادلات (۲) تا (۴) به‌عنوان مدل مفهومی تغییرات تراز هیدرولیکی آبخوان عمل می‌کنند. همچنین جدول (۲) جزئیات مقادیر واسنجی شده مؤلفه‌های مدل مفهومی بیلان آبخوان را نشان می‌دهد. بارش به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در ارتفاع سطح آبخوان از خروجی مدل BCM2 تحت سناریوی B1 به‌صورت ماهانه گردآوری شد.

$$R = (I_p + I_i + I_d) - (O_d + O_o) \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن R بیلان آبخوان، I_p جریان نفوذی ناشی از بارندگی، I_i جبهه‌های ورودی به آبخوان، I_d جریان برگشتی ناشی از مصارف، O_d جریان خروجی ناشی از مصارف و O_o جبهه‌های خروجی از آبخوان را نشان می‌دهد. واحد کلیه مؤلفه‌های فوق برحسب میلیون مترمکعب می‌باشد. معادله (۳) جزئیات دقیق معادله (۲) را نمایش می‌دهد. (رابطه ۳)

$$\begin{cases} OUT = discharge + output \\ IN = Input + Agri_reach + Ind_reach + Dom_reach + P_reach \\ \Delta V = IN - OUT \end{cases}$$

که در آن discharge حجم تخلیه، output حجم جبهه خروجی، input حجم جبهه ورودی، Dom_reach ، $Agri_reach$ ، Ind_reach و P_reach به ترتیب حجم برگشتی از مصارف کشاورزی- دامپروری، شرب- خدمات، صنعت و حجم نفوذ حاصل از بارندگی می‌باشد. همچنین تخلیه سالانه از آبخوان معادل ۷۰ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است. درصد تخلیه کشاورزی، شرب و صنعت به ترتیب ۶۲، ۲۴ و ۱۴ درصد

جدول ۲- مقادیر بهینه اجزای معادله بیلان آبخوان

نام متغیر	مقدار	واحد
جبهه ورودی	۵۱/۵۲	میلیون مترمکعب
نفوذ حاصل از بارندگی	۵	درصد
میزان برگشت حاصل از کشاورزی- دامپروری	۲۰	درصد
میزان برگشت حاصل از شرب- خدمات	۵۹/۹۳	درصد
میزان برگشت حاصل از صنعت	۶۰	درصد
جبهه خروجی	۱۹/۵۲	میلیون مترمکعب
تخلیه از آبخوان	۵۵	میلیون مترمکعب
ضریب ذخیره	۰/۱	-

تابع عملکرد محصولات

به‌منظور تعیین عملکرد واقعی محصولات از رابطه (۵) استفاده شد.

$$Ya_c = Yp_c \times \left(\prod_t^N (1 - Ky_c^t) \left(1 - \frac{EAT_c^t}{EAP_c^t} \right) \right) \quad (\text{رابطه ۵})$$

در رابطه فوق ETA_c^t و ETP_c^t به ترتیب تبخیر و تعرق واقعی و مرجع گیاه c ام در دوره t می‌باشد. Yp و Ya به ترتیب مقدار عملکرد واقعی و پتانسیل محصول برحسب کیلوگرم بر هکتار است. همچنین Ky ضریب حساسیت گیاه به آب می‌باشد. از آنجاکه سال آبی در ایران از ابتدای پاییز آغاز می‌شود،

زمان شروع کشت محصولات زراعی ابتدای مهرماه در نظر گرفته شد. همچنین با توجه به اینکه دور آبیاری غالب منطقه بین ۷ تا ۱۲ روز متغیر است، دور آبیاری را نیز ۱۰ روز در نظر می‌گیریم. با این حساب تعداد ۳۶ دوره رشد برای کلیه محصولات منطقه فراهم است. تبخیر و تعرق مرجع تحت تأثیر تغییر اقلیم و با استفاده از خروجی مدل BCM2 تحت سناریوی B1 به‌صورت ۱۰ روزه و با استفاده از روش پنمن مانیتیت تعیین شد. ضرایب گیاهی و حساسیت به خشکی بر اساس اطلاعات نشریه فائو ۳۳، مطالعات انجام شده در منطقه و نظر کارشناسی اساتید مربوطه به دست آمد. با توجه به اراضی کلاس I و II در منطقه بافت

(رابطه ۱۰)

$SM_c^{t+1} \times D_c^t = SM_c^t \times D_c^t + RF_c^t + q_c^t + SM1_c^{MAX} (D_c^{t+1} - D_c^t) - EAT_c^t - DP_c^t$
 روابط (۶) الی (۱۰) برای تمام مراحل رشد کلیه محصولات انجام می‌شود و مقدار تبخیر و تعرق واقعی هر کدام از محصولات به دست می‌آید. در نهایت با به کار بردن مقدار تبخیر و تعرق واقعی در رابطه (۵) می‌توان مقدار عملکرد هر کدام از محصولات را به دست آورد.

تعداد ۱۴ محصول زراعی و باغی در سطح محدوده بیرجند که دارای سطح زیر کشت قابل توجهی هستند شناسایی شد. جدول (۳) سطح زیر کشت فعلی و قیمت هر کیلو از محصولات و هزینه لازم برای کشت یک هکتار را نشان می‌دهد (Jihad Keshavarzi Ministry, 2016). همچنین شکل (۲) طول دوره رشد محصولات را نشان می‌دهد (Cost of Crops Production, 2011).

جدول ۳- جزئیات محصولات تحت کشت دشت بیرجند

محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	هزینه (میلیون ریال بر هکتار)	قیمت (ریال بر کیلوگرم)
گندم	۱۶۴۰	۱۲/۷۳	۱۱۵۵۰
جو	۱۰۷۸	۱۱/۱۷	۹۲۰۰
چغندر	۱۶۱	۴۲/۵	۹۰۰۰
پنبه	۲۵۰	۲۱/۳۵	۲۵۵۰۰
ذرت	۲۰۰	۵۵	۷۰۰۰
سبزیجات	۱۰۷/۶	۴۲/۵	۱۰۰۰۰
یونجه	۳۶۹	۲۱/۸	۱۲۰۰۰
عنا	۳۲۲	۳۵	۱۲۰۰۰۰
زعفران	۸۸۰	۳۰	۶۰۰۰۰۰۰
زرشک	۱۸۴۰	۳۰	۱۰۰۰۰۰
جالیزی	۱۳۰	۳۰	۷۰۰
انگور	۱۰۵	۳۵	۹۰۰
بادام	۲۴۳	۶۰	۱۵۰۰۰
گردو	۱۲۰	۴۰	۱۸۰۰۰

بعد از مشخص شدن عملکرد واقعی محصولات با استفاده از رابطه (۱۲) مقدار سود به هزینه برای کل دشت محاسبه خواهد شد.

$$\begin{cases} C = \text{Sum}(a \times \text{Cost}) \\ B = \text{Sum}(Ya \times a \times \text{Benefit}) \\ Z_2 = -(B/C) \end{cases} \quad (\text{رابطه } 12)$$

در رابطه فوق a سطح زیر کشت (هکتار)، Cost هزینه هر هکتار هر کدام از محصولات دشت بیرجند (ریال)، $Ya(c)$ عملکرد واقعی محصول c آم (کیلوگرم بر هکتار) و Benefit قیمت فروش هر کیلوگرم از محصولات دشت بیرجند (ریال). از آنجا که برآورد قیمت در آینده می‌بایست تا تعیین شود، در نظر گرفتن تورم در

بیشتر اراضی کشاورزی متوسط تا سبک در نظر گرفته شد (لومی شنی). بر این اساس ظرفیت نگهداشت خاک مزرعه و نقطه پژمردگی به ترتیب ۱۵۰ و ۷۰ میلی‌متر در هر متر از خاک برآورد شد. میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه به صورت تابعی از وضعیت رطوبتی خاک در مراحل رشد و با استفاده از روابط (۶) الی (۱۰) تعیین می‌شود.

(رابطه ۶)

$SM_c^t D_c^t = SM_c^t D_c^t + RF_c^t + q_c^t + SM1_c^{MAX} (D_c^{t+1} - D_c^t)$
 در رابطه فوق q مقدار عمق آبیاری (mm)، D عمق توسعه ریشه در مرحله t آم، RF بارندگی در مرحله t آم، SM رطوبت اولیه خاک (mm/cm) و SMc^{MAX} حداکثر رطوبت موجود (mm/cm) در خاک که معادل رطوبت ظرفیت زراعی است. این میزان رطوبت ($SM1$) صرف رشد گیاه (تبخیر و تعرق واقعی)، رواناب سطحی و نفوذ عمقی خواهد شد. از طریق رابطه (۷) می‌توان مقدار تبخیر و تعرق واقعی را تعیین نمود.

(رابطه ۷)

$$\begin{cases} \text{if } SM1_c^t \leq pwp \rightarrow EAT_c^t = 0 \\ \text{elseif } SM1_c^t \geq (pwp + (1 - MAD_c^t) \times (fc - pwp)) \rightarrow EAT_c^t = EAP_c^t \\ \text{else } EAT_c^t = (EAP_c^t \times (SM1_c^t - pwp)) / ((1 - MAD_c^t) \times (fc - pwp)) \\ EAP_c^t = Kc_c^t \times EAO_c^t \end{cases}$$

در رابطه (۷) MAD_c^t بیشترین تخلیه مجاز برای گیاه c و دوره t آم است. بعد از محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه میزان نفوذ عمقی از طریق روابط (۸) و (۹) تعیین می‌شود. لازم به ذکر است از آنجا که در بیشتر مناطق کشاورزی دشت بیرجند انتهای کرت و یا شیار موردنظر بسته نگه داشته می‌شود، عملاً روانابی ایجاد نخواهد شد.

(رابطه ۸)

$$\begin{cases} SM2_c^t \times D_c^t = SM1_c^t \times D_c^t - EAT_c^t + SM_c^{MAX} \times (D_c^{t+1} - D_c^t) \\ SM3_c^t \times D_c^t = SM2_c^t \times D_c^t - SR_c^t \end{cases}$$

در رابطه فوق $SM2$ رطوبت خاک پس از کسر تبخیر و تعرق واقعی (mm/cm)، SR_c^t رواناب حاصل از آبیاری گیاه c و دوره t آم و $SM3$ رطوبت خاک پس از کسر رواناب می‌باشد (mm/cm).

(رابطه ۹)

$\begin{cases} \text{if } SM3_c^t \leq fc \rightarrow DP_c^t = 0 \\ \text{else } DP_c^t = (n \times SM^{sat} \times (\exp(SM3_c^t - fc) - 1)) / (\exp(SM^{sat} - fc) - 1) \end{cases}$
 در رابطه (۹) n و SM^{sat} به ترتیب تخلخل و رطوبت خاک در حالت اشباع می‌باشد (mm/cm). بعد از حصول تبخیر و تعرق واقعی، رواناب و نفوذ عمقی در مرحله t می‌توان میزان رطوبت در خاک در مرحله بعدی ($t+1$) را از رابطه (۱۰) به دست آورد.

می‌دهد، بنابراین با منفی کردن تابع هدف بیشینه‌سازی آن انجام خواهد شد.

قیمت و هزینه‌ها ضروری است. لکن با توجه به نوع تابع هدف دوم که به صورت کسری می‌باشد، از این حیث بی‌بعد شده است. همچنین چون کد بهینه‌سازی الگوریتم کمینه‌سازی انجام

محصول	مهر			آبان			آذر			دی			بهمن			اسفند			فروردین			اردیبهشت			خرداد			تیر			مرداد			شهریور			مهر			آبان			آذر			دی		
گندم	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳			
جو																																																
چغندر																																																
پنبه																																																
ذرت																																																
سبزیجات																																																
یونجه																																																
عناب																																																
زعفران																																																
زرشک																																																
جالیزی																																																
انگور																																																
بادام																																																
گردو																																																

شکل ۲- تقویم کشت محصولات زراعی و باغی دشت بیرجند

(رابطه ۱۳)

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

که در آن x موقعیت ذرات، v سرعت ذرات، i شماره ذرات، w ضریب اینرسی وزنی (inertia weight)، c1 و c2 پارامترهای شناختی (cognitive) و اجتماعی (social) (دو ضریب ثابت و مثبت) و r1 و r2 اعداد تصادفی در محدوده‌ی (۰ و ۱) با توزیع یکنواخت است.

اتمام PSO می‌تواند بر اساس تعداد مشخصی تکرار یا رسیدن به مقدار تعیین شده‌ی از pbest باشد و یا زمانی که هیچ بهبود و تغییری در آن حاصل نشود، به پایان برسد. مراحل الگوریتم PSO استاندارد به صورت زیر است: ۱- مقداردهی اولیه ذرات در موقعیت‌های تصادفی با سرعت اولیه در فضای تصمیم مسئله. ۲- بهروزرسانی سرعت و موقعیت هر ذره طبق روابط (۹) و (۱۰). ۳- محاسبه تابع هدف و بروز رسانی pbest و gbest در صورتی که جواب بهتری به دست آمده باشد. ۴- تکرار مراحل ۲ تا ۴ تا زمانی که شرایط خاتمه محقق شود.

الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه (MOPSO)

الگوریتم MOPSO توسط Coello, (2004) معرفی گردید. در الگوریتم MOPSO یک مفهومی به نام آرشیو یا مخزن نسبت به الگوریتم PSO اضافه شده است. که به تالار مشاهیر نیز معروف است. انتخاب بهترین جواب کلی و بهترین خاطره شخصی برای هر ذره گام مهمی و اساسی در الگوریتم MOPSO است. هنگامی که ذرات می‌خواهند حرکتی انجام دهند یک عضو از

الگوریتم ازدحام ذرات (PSO)

این الگوریتم بهینه‌سازی اولین بار توسط Eberhart & Kennedy (1995) میلادی ارائه شد. اساس این الگوریتم، شبیه‌سازی یک رفتار دسته‌جمعی است که از آن برای نشان دادن حرکت گروه پرنده‌ها و ماهیان استفاده می‌شود. الگوریتم PSO نیز مانند سایر تکنیک‌های محاسبات تکاملی، از یک جمعیت اولیه که شامل راه‌حل‌های بالقوه مسئله تحت بررسی است، جهت اکتشاف در فضای جستجو استفاده می‌کند. هر چند که در این الگوریتم هر عضو از جمعیت، دارای یک سرعت (تغییر مکان) است که مطابق با آن در فضای جستجو حرکت می‌کنند، علاوه بر آن هر کدام از آن‌ها دارای حافظه نیز می‌باشند، یعنی بهترین موقعیتی که در فضای جستجو به آن می‌رسند را به خاطر می‌سپارند. بنابراین حرکت هر عضو در دو جهت صورت می‌گیرد: ۱- به سوی بهترین موقعیتی که ملاقات کرده‌اند. ۲- به سوی بهترین موقعیتی که بهترین عضو در همسایگی آن‌ها ملاقات کرده است.

فرض کنید که فضای جستجوی مسئله، دارای D بعد باشد، پس i امین ذره از جمعیت را می‌توان با یک بردار D بُعدی $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$ نمایش داد، و سرعت آن (تغییر مکان آن) را هم می‌توان با بردار D بُعدی $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$ نمایش داد. بهترین موقعیت ملاقات شده توسط هر ذره را با pbest و بهترین موقعیت ملاقات شده در کل ذرات را با gbest نشان می‌دهند. در نهایت کل جمعیت مطابق با رابطه زیر با مهارت به حرکت در می‌آید.

از آنجا که دور آبیاری ۱۰ روز در نظر گرفته شده است و همچنین با احتساب ۱۴ محصول، تعداد متغیرهای تصمیم برای هر ذره معادل ۵۱۸ می‌باشد. (۳۶ عمق آب و یک سطح زیر کشت برای هر محصول). به منظور شروع بهینه‌سازی جمعیت اولیه الگوریتم با تعداد ۲۰۰ ذره تشکیل شد. حدود تغییرات سطح زیر کشت بین ± 0.5 وضعیت موجود فرض شد. همچنین حدود تغییرات عمق آب آبیاری نیز متناسب با رابطه (۱۴) قرار داده شد.

$$\begin{cases} LowerBound.q = 0 \\ UpperBound.q = MAD \times D \times (fc - pwp) \end{cases} \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

در رابطه فوق منظور از LowerBound و UpperBound به ترتیب حد پایین و بالای تغییرات میزان عمق آب آبیاری را نشان می‌دهد. هر کدام از ذرات الگوریتم با فراخوانی تابع عملکرد محصولات و مدل مفهومی بیلان روابط (۲) و (۱۰) را شبیه‌سازی می‌کنند تا مقدار عملکرد واقعی هر محصول و میزان افت سطح آبخوان توسط هر کدام از ذرات محاسبه شود. مقدار توابع هدف هر کدام از ذرات شرح روابط (۴) و (۱۲) ارزیابی می‌شود. جدول (۴) جزئیات مؤلفه‌های الگوریتم MOPSO را نشان می‌دهد.

مخزن را به‌عنوان رهبر انتخاب می‌کنند. این رهبر حتماً باید عضو مخزن و همچنین نامغلوب باشد. اعضای مخزن بیانگر جبهه پارتو و شامل ذرات نامغلوب هستند. پس بجای gbest یکی از اعضای مخزن انتخاب می‌شود. به این دلیل در PSO مخزن وجود ندارد زیرا در آن تنها یک هدف وجود دارد و یک ذره است که بهترین است. اما در MOPSO چند ذره وجود دارد که نامغلوب هستند و در مجموعه جواب جای دارند. ترتیب اجرای این الگوریتم به شرح زیر می‌باشد: ۱- تعیین مؤلفه‌های موردنیاز برای اجرای الگوریتم MOPSO ۲- جمعیت اولیه ایجاد می‌شود. ۳- بهترین تجربه شخصی هر ذره تعیین می‌شود. ۴- اعضای نامغلوب جمعیت جداسازی و در مخزن ذخیره می‌شوند. ۵- هر ذره از میان اعضای مخزن یک رهبر انتخاب می‌کند و حرکت خود را انجام می‌دهد. ۶- بهترین تجربه شخصی هر کدام از ذرات به‌روز می‌شوند. ۷- اعضای نامغلوب جدید به مخزن افزوده می‌شوند. ۸- اعضای مغلوب مخزن حذف می‌شوند. ۹- در صورتی که شرایط خاتمه محقق نشده است از شماره ۵ به بعد الگوریتم تکرار می‌شود.

در مطالعه حاضر مقدار عمق آبیاری (میلی‌متر) و سطح زیر کشت (هکتار) به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شدند.

جدول ۴- مقادیر مؤلفه‌های مورد استفاده در الگوریتم MOPSO

تعداد ذرات	تعداد تکرار	C1	C2	ضریب انقباض	تعداد اعضای غالب
۲۰۰	۲۰۰۰	۲	۱/۸	۰/۹۹	۲۰۰

نتایج و بحث

کاهش خواهد یافت. در این زمینه به‌منظور جبران کاهش سود باید توجه داشت تا ضمن کاهش هزینه‌های اضافی در مراحل مختلف دوره رشد محصولات، مقبولیت ظرفیت‌های بومی غیر کشاورزی منطقه نظیر قالیبافی، گیاهان دارویی، استفاده از تابش خورشیدی و .. در نگاه عموم کشاورزان افزایش پیدا نماید. این مهم جز با سیاست‌گذاری پیوسته و جامع نهادهایی نظیر شرکت آب منطقه‌ای، سازمان جهاد کشاورزی و مراکز آموزش عالی محقق نخواهد شد.

با توجه به نیاز آبی پایین و عملکرد بالا، محصولاتی نظیر زعفران، زرشک و عناب به‌عنوان ظرفیت‌های اختصاصی کشاورزی در منطقه شناخته می‌شوند. سطوح کشت بهینه محصولات مندرج در جدول (۵) نشان می‌دهد که هر کدام از جواب‌ها به‌صورت موردی حداکثر ۱ الی ۲ محصول استراتژیک را در سطح بالایی قرار داده است. از این رو می‌توان گفت که الگوریتم بهینه‌سازی MOPSO به دلیل تعداد زیاد متغیر تصمیم (۵۱۸ عدد) نتوانسته است سطح زیر کشت بالایی را برای هر سه

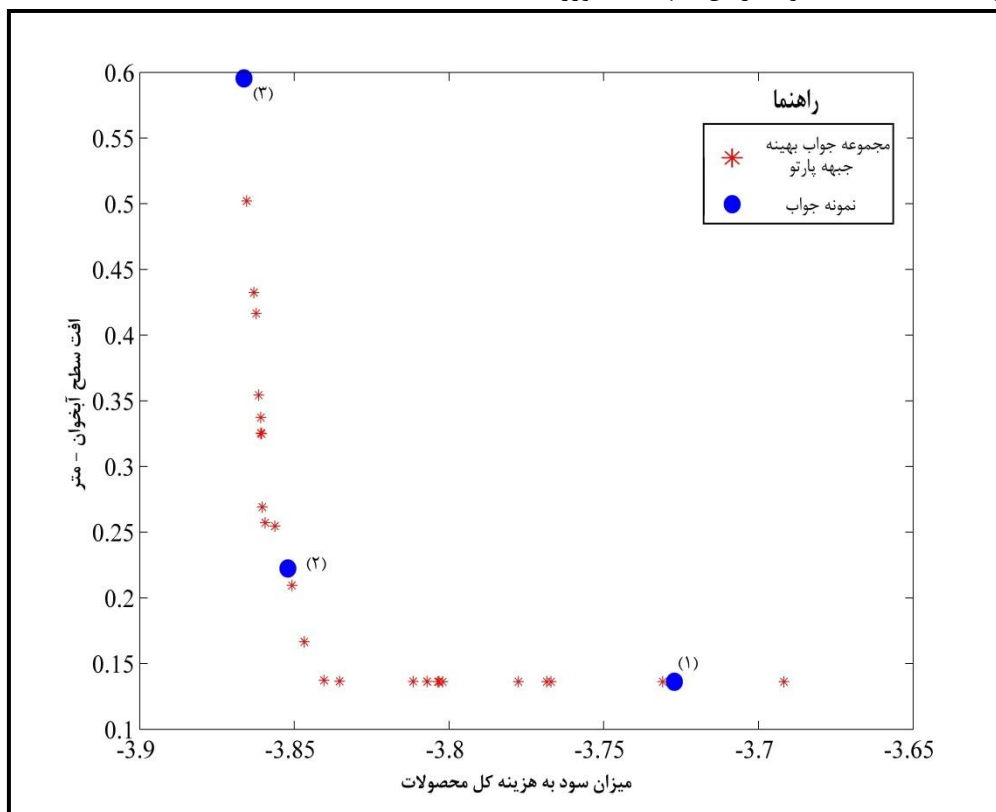
الگوریتم بهینه‌سازی MOPSO پس از ۲۰۰۰ تکرار و مدت زمان ثانیه از حلقه اصلی خود خارج شد. دامنه تغییرات تابع سود به هزینه و افت سطح آبخوان به ترتیب بین ۳/۶۵ تا ۳/۹ و ۰/۶ تا ۰/۱۳۱۶ متر قرار دارد. شکل (۳) نمودار وضعیت نهایی اعضای غالب (جبهه پارتو) را نشان می‌دهد. همچنین سطح زیر کشت بهینه برای سه نمونه از جواب‌های پارتو که با رنگ آبی در شکل (۳) مشخص شده‌اند، در جدول (۵) ارائه شده است. از آنجا که یکی از اهداف بهینه‌سازی، کاهش افت سطح آب در آبخوان در نظر گرفته شده است لازم است تا حجم استحصال از آبخوان نیز کاهش یابد. از این رو به‌طور کلی سطح زیر کشت محصولات نسبت به وضعیت فعلی کاهش داشته است. این موضوع در نتایج هر سه نمونه جواب (مخصوصاً در محصولات با نیاز آبی بالا نظیر چغندر، پنبه، ذرت، سبزیجات، بادام و انگور) مشهود است (جدول ۵). با توجه به کاهش سطح زیر کشت قابل توجه اکثر محصولات، متعاقباً سود کشاورزان نیز در الگوی کشت بهینه

استان برای حفظ منابع آب زیرزمینی مبادرت به اجرای الگوی کشت بهینه نمایند و کاهش سود در الگوی پیشنهادی را به صورت پرداخت نقدی، اعطای کمک و یارانه‌های خرید نهاده‌ها جبران نمایند.

در مطالعه (Sadeghi et al, 2015) که در خصوص محصولات زراعی اقدام به بهینه‌سازی الگوی کشت تک هدفه با ۳ مؤلفه سیاسی، اجتماعی و اقتصادی نمودند نیز نتایج مشابهی ارائه شده است. نتایج بهینه‌سازی آن‌ها نشان می‌دهد به دلیل اشتغال‌زایی و درآمد بالا در کنار آب مجازی پایین محصولات زعفران و جالیزی بیشترین سطوح کشت را دارا می‌باشند. مقدار تابع سود به هزینه محصولات نیز عامل دیگر تغییرات سطح کشت محصولات است. سری جواب‌هایی که افت کمتر در آبخوان را دارند، از حیث اقتصادی دارای وضعیت خوبی نمی‌باشند (جواب ۱). همچنین جواب‌هایی که از منظر اقتصادی وضعیت از وضعیت خوبی برخوردار هستند به دلیل تخلیه بیشتر از آبخوان، افت بیشتری را دارا می‌باشند. با توجه به مطالب بیان‌شده جواب (۲) در کنار داشتن میزان سود به هزینه قابل قبول دارای افت کمتری می‌باشند. بیشترین میزان سود به هزینه محصولات در این جواب به ترتیب در زعفران، عناب، بادام و زرشک می‌باشد.

محصولات استراتژیک (در کنار هم) شبیه‌سازی نماید. از این حیث که ذرات غالب الگوریتم به دنبال سطوح بالای کشت برای محصولات استراتژیک منطقه می‌باشند، نتایج مطالعه پیش رو با نتایج مطالعات (Sadeghi et al, 2015)، (Falahi et al, 2013) و (Alizadeh et al, 2012) هم‌خوانی دارد.

نتایج مطالعه (Alizadeh et al, 2012) که مبادرت به بهینه‌سازی الگوی کشت در منطقه دشت مشهد- چناران نموده‌اند نشان می‌دهد که با اجرای الگوی کشت پیشنهادی در طی یک دوره ۱۰ ساله افت سالیانه ذخایر آب زیرزمینی به شدت کاهش پیدا می‌کند. طبق یافته‌های پژوهش علاوه بر کاهش مقدار افت سطح آب در آبخوان نسبت به وضعیت موجود (نمونه جواب ۲) وضعیت اقتصادی کشاورزی منطقه نیز رونق پیدا خواهد کرد. نتایج این بخش پژوهش پیش‌رو با نتایج مطالعه (Bavali et al, 2015) مطابقت دارد. نتایج مطالعه (Bavali et al, 2015) که اقدام به بهینه‌سازی الگوی کشت تک و دوهدفه نمودند، نشان می‌دهد که الگوی کشت بهینه دوهدفه با افزایش بازده به میزان ۱/۷۲ درصد، کاهش هزینه‌های جاری محصولات را به همراه خواهد داشت. همچنین خروجی بهینه‌سازی تک‌هدفه به کاهش افت سطح آب در آبخوان از طریق کاهش سطح زیر کشت اشاره می‌کند. آن‌ها در مطالعه خود پیشنهاد می‌کنند که شرکت آب منطقه‌ای و سازمان جهاد کشاورزی



شکل ۳- جبهه پارتو بهینه مدل بهینه‌سازی چندهدفه

جدول ۵- سطح زیر کشت بهینه در هر کدام از سیاست‌ها

محصول	وضعیت موجود سطح زیر کشت (هکتار)	جواب ۳ سطح زیر کشت (هکتار)	جواب ۲ سطح زیر کشت (هکتار)	جواب ۱ سطح زیر کشت (هکتار)
گند	۱۶۴۰	۸۲۰/۰۰	۱۱۰۶/۵۷	۸۲۰/۰۰
جو	۱۰۷۸	۶۴۴/۰۰	۶۴۹/۷۹	۶۵۰/۳۸
چغندر	۱۶۱	۸۹/۹۳	۸۰/۵۰	۹۹/۱۸
پنبه	۲۵۰	۳۱۳/۳۵	۱۴۶/۳۲	۱۲۵/۰۰
ذرت	۲۰۰	۱۰۴/۸۴	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۲۰
سبزه	۱۰۷/۶	۹۵/۱۶	۷۶/۶۷	۱۰۴/۵۷
یونجه	۳۶۹	۲۶۵/۴۵	۱۸۴/۵۰	۲۲۷/۳۳
عناب	۳۳۲	۱۶۴/۷۷	۲۰۲/۸۲	۱۶۱/۰۰
زردچوبه	۸۸۰	۸۴۴/۴۱	۴۴۰/۰۰	۴۴۰/۰۰
زردک	۱۸۴۰	۹۲۰/۰۰	۹۲۰/۰۰	۹۲۰/۰۰
جال	۱۳۰	۱۹۵/۰۰	۷۳/۹۷	۱۹۲/۳۹
انار	۱۰۵	۶۱/۸۱	۵۲/۵۰	۶۳/۳۲
بادام	۲۴۳	۱۲۱/۵۰	۳۶۴/۵۰	۱۲۱/۸۵
گردو	۱۲۰	۱۴۴/۱۶	۱۸۰/۰۰	۱۵۲/۸۸

نتیجه‌گیری کلی

الگوی کشت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار در مدیریت منابع آب مطرح می‌باشد. این مطالعه مبادرت به تعیین الگوی کشت بهینه در منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم و با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری نمود. مشاهده شد که با وجود تعداد متغیرهای تصمیم بالا در مسئله مورد نظر به‌طور کلی جواب‌های بهینه برای محصولات استراتژیک منطقه سطح زیر کشت بالاتری را تعیین نموده‌اند. محصولاتی نظیر

زعفران، زرشک و عناب از جمله این محصولات می‌باشند. همچنین به دلیل اینکه یکی از اهداف بهینه‌سازی در مسئله مورد نظر کاهش افت سطح آبخوان در نظر گرفته شد، سطح زیر کشت غالب محصولات در اکثر جواب‌های بهینه کاهش داشته است. به دلیل نیاز آبی بالا محصولاتی نظیر چغندر، یونجه، ذرت و پنبه سطح زیر کشت این محصولات در اکثر جواب‌های جبهه‌ی پارتو کاهش داشته است.

REFERENCES

- Aghajani, A., Bidabadi, F. S., Joolaei, R. and Keramatzadeh, A. (2013). Managing cropping patterns agricultural crops of Three Counties of Mazandarn province of Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5, 596-611.
- Alabdulkader, A. M., Al-Amoud, A. I. and Awad, F. S. (2012). Optimization of the cropping pattern in Saudi Arabia using a mathematical programming sector model. *Agricultural Economics/Zemedelska Ekonomika*, 12, 58-69.
- Alamirew, T., Olumana, M. D., Ayalew, S. Aklog, D. and Birhanu, K. T. (2015). Optimizing Cropping Pattern Using Chance Constraint Linear Programming for Koga Irrigation Dam, Ethiopia. *Irrigation & Drainage Systems Engineering*, 12, 192-201.
- 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*, 1, 55- 68 (In Farsi).
- Asadpoor, h., Hasani moghadam, m. and Ahmadi, g. (2000). design a multiobjective determination model to appointment optimal pattern cultivation in Naz plain of Sari county. *6th conference of economic iran agriculture*. society of economic iran agriculture. (In Farsi).
- Ashofteh, P.-S., Bozorg-Haddad, O., and Mariño, M. A. (2015). Risk analysis of water demand for agricultural crops under climate change. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20 (4), Doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001053, 04014060
- Bagherian, a., saleh, a. and peykani, g. (2006). optimization of cultivation pattern in Kazeroon region using linear programming. *6th conference of iran Ariculture economic*. (In Farsi).
- Bavali, m., Adeli, k., Mohammadianm f. and Delangizan, s. (2015). Determine the optimum model for sustainable development of agriculture. *Economic of Agriculture and development*, 23, 191-216.
- Baltar, A. M. and Fontane, D. G. (2008). Use of multiobjective particle swarm optimization in water resources management. *Journal of water resources planning and management*, 134, 257-265.
- Coello, C. A. (2004) Handling Multiple Objectives With Particle Swarm Optimization. *IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION*, 8, 256-279.
- Dury, J., Garcia, F., Reynaud, A. and Bergez, J. E. (2013). Cropping-plan decision-making on

- irrigated crop farms: A spatio-temporal analysis. *European Journal of Agronomy*, 50, 1-10.
- Eberhart, R. C. and Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. *Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science*, 39-43. New York, NY.
- Erfanifar, s., zibaei, m. and kasraei, m. (2013). usage of multiobjective programming ideal-phazy in cultivation pattern optimization insist on use of soil protection methods. *Agriculture science and indosterial* 28, 118-124.
- Food And Agriculture Organization. NO 33. (2000). *yield response to water: the original FAO water production function*. Retrieved November 20, 2014. from <http://www.fao.org>.
- Fasakhodi, A. A., S. H. Nouri 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, 4639-4657.
- Gill, M. K., Kaheil, Y. H., Khalil, A., McKee, M. and Bastidas, L. (2006). Multiobjective particle swarm optimization for parameter estimation in hydrology. *Water Resources Research*, 42.
- Haouari, M. and Azaiez, M. N. (2001). Optimal cropping patterns under water deficits. *European Journal of Operational Research*, 130, 133-146.
- Water Regional Organization of Southern Khorasan. (2008). Office Water Resource Base Studies. *Interdict Rerival Report*. (In Farsi)
- Jafarzadeh, a. (2015). *Development of pumping model of groundwater resources to determine crop pattern in clime change (case study: Birjand plain)*. Department of Water Science & Engineering, Faculty of Agriculture. university of Birjand. (In Farsi).
- Jafarzadeh, a., Khashei, a. and Shahidi, a (2015a) Modeling of climate change effects on saffron water requirement in south. Khorasan province by GIS. *Journal of Saffron Research*, 3, 163-174.
- Jafarzadeh, a., Khashei, a. and Shahidi, a. (2015b). Study of Integrated Urban Wastewater Impacts on Groundwater Levels Influenced Climate Change Effects on 2020-2014 (Case Study: Birjand Plain). *iran irrigation and drinage*, 9, 490-499. (In Farsi).
- Jihad Keshavarzi ministry, assist of programming and economical, center of information technice. (2016). (In Farsi).
- Jihad Keshavarzi ministry assist of programming and economical, center of information technice. (2011). *Cost Of Crops Prduction*. (In Farsi).
- Jolaei, r. (2006). makagement of cultivation pattern crops in 3 county of Fars province based a multiregional model. *Agriculture economic*.12, 34-47. (In Farsi).
- Khashei-siuki, a., Ghahreman, b. and Kouchakzadeh, m. (2010) Application of Agricultur Water Allocationand Management by PSO Optimization Technic (Case study: Nayshabur Plaine) *Journal of Water and Soil* . 27(2), 292-303. (In Farsi).
- Khadem, n. (1990). Agriculture economic politic in deferent systems. Ney (In Farsi).
- Matthews, R. B., Rivington, M., Muhammed, S., Newton, A. C. and Hallett, P. D. (2013) Adapting crops and cropping systems to future climates to ensure food security: The role of crop modelling. *Global Food Security*, 2, 24-28.
- 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.
- Saliani, t. (1996). Cultivation pattern design in development water resource plans. *agriculture developpe and economic*, 4, 91. (In Farsi).
- 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.
- Singh, D., Jaiswal, C., Reddy, K., Singh, R. and Bhandarkar, D. (2001) Optimal cropping pattern in a canal command area. *Agricultural Water Management*, 50, 1-8.
- Yang, X. G., Liu, Z. J. and Fu, C. (2011) The possible effect of climate warming on northern limits of cropping system and crop yield in China. *Agricultural Sciences in China*, 10, 585-594