تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 4, Winter 2019 (IR-WRR)
۹۶-۱۰۷

الگوی بهینه تولید محصولات زراعی با تأکید بر افزایش بهره‌وری آب (مطالعه موردی: شرکت مزرعه نمونه گرگان)

علیرضا علی‌پور[۱] و سید حبیب‌الله موسوی[۲*]

چکیده

کاهش منابع آبی موجود در کشور از یک‌سو و افزایش تقاضای روزافزون تولید محصولات کشاورزی از سوی دیگر، لزوم توجه به مدیریت منابع آبی مورد استفاده در بخش کشاورزی را بیش از پیش افزایش داده است. مطالعه حاضر با هدف تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در شرکت مزرعه نمونه گرگان به‌عنوان یکی از واحدهای پیشرو در بخش کشاورزی استان گلستان با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب طرح‌ریزی و اجرا شد. به این منظـــور، از آمار و اطلاعات دفتری این واحد کشاورزی در ســـال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در قالب تدوین الگوی برنامه‌ریزی ریاضی چند معیاره استفاده گردید. نتایج نشان داد که با تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در این واحد کشاورزی، بهره‌وری آب به میزان ۱۵ درصد، بازده ناخالص به میزان ۹ درصد و خالص انرژی تولیدی به میزان ۲۰ درصد افزایش می‌یابد. لذا، می‌توان گفت که در شرایط بهینه تولید محصولات زراعی در این واحد، آرمان‌های حداکثر بازده ناخالص و حداکثر خالص انرژی تولیدی به‌عنوان آرمان‌های اقتصادی در کنار آرمان افزایش بهره‌وری آب به‌صورت هم‌زمان قابل دسترس خواهد بود. در پایان، با توجه به نتایج به‌دست آمده پیشنهاد شد که به‌منظور افزایش سودآوری در مزارع شرکت مزرعه نمونه گرگان هم‌زمان با تأکید بر افزایش بهره‌وری آب، محصولات گندم، کلزا، پنبه، ذرت و یونجه ترکیب اصلی الگوی کشت محصولات زراعی در این واحد کشاورزی را تشکیل دهند.

کلمات کلیدی: مدل برنامه‌ریزی آرمانی وزنی، شدت مصرف آب، اولویت‌های اقتصادی، خالص انرژی تولیدی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۸/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۳/۱۴

۱- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Optimal Crop Production Pattern with Emphasis on Improving Water Use Efficiency (A Case Study of Gorgan Mazrae Nemoone Company)

A. Alipour [1] and S. H. Mosavi [2]*

Abstract

The reduction of water resources used in the country, on the one hand, and the increasing demand for agricultural products on the other hand, has increased the need for attention to the management of water resources used in the agricultural sector.This study aimed at codification of optimal agricultural cropping pattern in Gorgan Mazrae Nemoone Company as one of leading farms in the agriculture sector of Gorgan province with emphasizing the increased water productivity. For this purpose, the statistical data and information of 2015-2016 crop year of the complex was used in the framework of multiple criteria decision making model. The results showed that in the optimum conditions for plant production in this agricultural farm, the increase in water productivity of 15%, gross margin of 9%, and net energy production by 20% could be obtained. Therefore, it can be said that ideals of maximum gross income and net maximum energy generated as the economic goals along with the ideal of increasing water productivity will be available simultaneously. Finally, according to the results, it was suggested that in order to increase profitability in this farm, while emphasizing increased water productivity, wheat, rapeseed, cotton, maize and alfalfa are the main components of the cropping pattern.

Keywords: Weighted Goal Programming Model, Water Use Intensity, Economic Priorities, Net Energy Generated.

Received: November 7, 2017
Accepted: June 4, 2018

1- Ph.D. Candidate, Department of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: shamosavi@modares.ac.ir
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

محدودیت رو به گسترش منابع آبی ارزش آب را به‌عنوان یک عنصر اساسی در زندگی جوامع بشری بیش از پیش روشن نموده است. در این راستا، ضرورت توجه به امنیت غذایی همزمان با کاهش منابع آبی باعث شده است که مهم‌ترین چالش بخش کشاورزی در بسیاری از کشورها تولید بیشتر غذا از آب کمتر باشد (Parhizkari et al., 2015). با وقوع انقلاب صنعتی و ظهور دستاوردهای آن، نسبت مبادله کالاهای صنعتی به تولیدات کشاورزی افزایش یافت. با این حال، پس از گذشت سالیان متمادی از وقوع انقلاب صنعتی، همچنان در بسیاری از کشورها و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، تمرکز بسیاری از فعالیت‌های اقتصادی در ارتباط با بخش کشاورزی بنیان گذاشته شده است. کمبود مواد غذایی و تولیدات کشاورزی از یک طرف و رشد جمعیت از طرف دیگر در این کشورها نیز لزوم توجه ویژه آنان به بخش کشاورزی را بسیار مورد تأکید قرار داده است (Ghanbari and Barghi, 2008). لذا، مواردی همچون افزایش جمعیت، توسعه شهرنشینی، رشد بازده و تغییر الگوی مصرف غذایی ازجمله عواملی هستند که لزوم توجه بیش از پیش به افزایش بهره‌وری تولیدات کشاورزی را دوچندان نموده است. ارتقای بهره‌وری نهاده آب در تولید این محصولات از مسائل اساسی در کشورهای مختلف جهان و به‌خصوص کشورهای کم‌آب نظیر ایران محسوب می‌شود که علاوه بر اهمیت ذاتی خود سهم بسیار زیادی در بهبود بهره‌وری تولیدات کشاورزی و استفاده بهینه از منابع تولید کشاورزی ایفا می‌نماید (Gholami et al., 2016). این موضوع از این جهت حائز اهمیت است که کمبود نزولات آسمانی و پراکنش جغرافیایی و زمانی نامناسب بارش‌ها در کشورهای خشک و نیمه‌خشک همچون ایران باعث می‌شود که استفاده اقتصادی‌تر از منابع آبی موجود و ارتقای بهره‌وری آب به عنوان یک ضرورت در زمینه تولیدات بخش کشاورزی محسوب شود (Kiani and Seyedi Wind, 2013). ازاین‌رو، به نظر می‌رسد که تقویت جایگاه بهره‌وری منابع محدود آب در زمینه تولیدات بخش کشاورزی به‌ویژه در زیربخش‌های زراعی وابستگی تنگاتنگی با تجدیدنظر در رویکردهای سنتی نظام تولیدی در بخش کشاورزی کشورهای درحال توسعه دارد. در ایـــن میان، مدیران واحدهای کشاورزی به‌عنوان بازوهـای اجـرایی سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی نیازمند دسترسی بیش از پیش به الگوهای برنامه‌ریزی نوین و بهینه تولید محصولات و توجه هم‌زمان به محدودیت‌های مرتبط با موجودی منابع آبی در کنار محدودیت‌های اقتـــصادی آنان در جریان تولیدات بخش کشاورزی می‌باشنـــد (Zahedi and Najafi, 2006). بنابراین، با نگاهی نظام‌مند به بخش کشاورزی لزوم استفاده از روش‌های نوین و کارای برنامه‌ریزی، به‌گونه‌ای که بتوان کلیه عوامل مشابه و متضاد اثرگذار بر سیاست‌های بخش و آثار مختلف اقتصادی و غیراقتصادی آن را در مدل‌های مجزا برای زیر بخش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار داد، مشخص می‌شود (Erfanifar et al., 2014).

یکی از مهم‌ترین منابع هدر رفت ذخایر آبی در زمینه تولیدات زیربخش‌های کشاورزی به‌ویژه در زیربخش زراعت مرتبط با انتخاب و تعیین الگوهای نامتناسب تولید و استفاده از روش‌های مدیریت سنتی در این حوزه است؛ عبارت بالا از منظر علم اقتصاد زمانی به وقوع می‌پیوندد که بهره‌وری ناشی از تولید و عملکرد مدیران واحدهای زراعی در سطح مزارع تحت اختیار آنان دارای تفاوت قابل ملاحظه‌ای از بیشینه تولید و عملکرد قابل استحصال آن‌ها باشد و محدودیت‌های مرتبط با میزان مصرف آب در الگوهای برنامه‌ریزی آنان اعمال نگردد. لذا، توجه بیش از پیش به روش‌های بهینه برنامه‌ریزی در مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی به‌ویژه در زیربخش زراعت نیازمند مراجعه به منابع و روش‌های نوین تحقیقاتی مرتبط و انجام مطالعات موردی است (Thankappan et al., 2006). بهره‌گیری از روش‌های بهینه‌سازی تولید یکی از مؤثرترین روش‌های علمی در زمینه انجام مدیریت و برنامه‌ریزی در حوزه تولیدات بخش کشاورزی به شمار می‌رود که علاوه بر تعیین و برآورد اهداف اقتصادی، زمینه پرداخت مناسب و هم‌زمان به اولویت‌های مربوط به بهره‌وری مصرف آب برای مدیران واحدهای کشاورزی را فراهم می‌نماید. در این رابطه، استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی به روش ریاضی[1] یکی از گسترده‌ترین روش‌های کارای موجود در زمینه بهینه‌سازی‌های مورد نیاز برنامه‌ریزان محسوب می‌شود (Balali, 2010). الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی از دیرباز مورد توجه مدیران و پژوهشگران و به‌ویژه اقتصاددانان در حوزه تصمیم‌سازی‌های مرتبط با زیربخش‌های مختلف بخش کشاورزی و به‌صورت خاص در مورد زیربخش زراعت قرار داشته است. با توجه به قرارگیری محدودیت‌های متعدد و بعضاً متقابل و متضاد در موعد انجام برنامه‌ریزی‌های زیربخش زراعت، استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی چند معیاره[2] که توسط Charnes and Cooper (1961) ابداع شد، به‌منظور تسهیل بهره‌وری و دست‌یابی هدفمند به اهداف متنوع اقتصادی و غیراقتصادی همچون اهداف سودافزایی و توجه به جنبه‌های بهره‌وری بیشتراز منابع آبی تولیدات این بخش از سوی پژوهشگران بسیار مورد توصیه و تأکید قرار داشته است (Baradaran-Sirjani et al., 2015). بنابراین، در زمینه تدوین الگوهای بهینه تولید در مزارع کشاورزی با در نظر قرار دادن اهداف مرتبط با بهره‌وری و راندمان مصرف آب، تاکنون مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور انجام شده است که در بسیاری از آن‌ها با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی چند معیاره نتایج قابل‌توجهی گزارش شده است.

Asaadi-Mehrabani et al. (2018) به بهینه‌سازی الگوی کشت در حوضه زرینه‌رود پرداختند. در مطالعه آنان از روش برنامه‌ریزی خطی فازی[۳] استفاده شد. نتایج حاصل از اجرای بهینه‌سازی فازی در این مطالعه نشان داد که سود خالص به میزان ۲/۵۳ درصد نسبت به بهینه‌سازی قطعی و ۳۶/۳۴ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی از طریق کاهش سطوح زیرکشت محصولات با سود خالص کم و افزایش سطح زیرکشت محصولات با درآمد بالا اتفاق خواهد افتاد. همچنین، نتایج نشان داد که استفاده از برنامه‌ریزی خطی تماماً فازی به صرفه‌جویی بیش‌تری در مصرف آب به میزان ۸۸/۲۲ درصد منجر می‌گردد.

Rafiee et al. (2017) با استفاده از رویکرد شبیه‌سازی- بهینه‌سازی، یک مدل مبتنی بر تلفیق شبیه‌سازی روابط آب- خاک- گیاه و بهینه‌سازی تخصیص آب آبیاری به تدوین الگوی کشت محصولات کشاورزی در دشت آزادگان پرداختند. مسأله تحقیق این مطالعه در قالب دو سناریو حل گردید که در سناریوی اول الگوی کشت بهینه با تابع هدف بیشینه سود خالص سالیانه و قیود محدودیت حجم آب مصرفی و حداکثر زمین قابل کشت تعیین شد و در سناریوی دوم مسأله تخصیص بهینه آب آبیاری برای الگوی کشت فعلی مورد استفاده در این دشت مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، تأثیر تغییر الگوی کشت بر مؤلفه‌های بیلان آبی دشت از جمله میزان رواناب خروجی، نفوذ عمقی، میزان ذخیره آب در خاک و تبخیر- تعرق نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که سود خالص سالیانه به ترتیب در سناریوهای اول و دوم ٪۳۱۴ و ٪۲۳ نسبت به سناریو پایه (شرایط فعلی) افزایش می‌یابد. همچنین حجم آب مصرفی در سناریو اول ٪۲۸ و در سناریو دوم ٪۴۹ نسبت به شرایط کنونی کاهش می‌یابد.

Mohammadi et al. (2016) به بهینه‌سازی الگوی کشت با تأکید بر منافع اجتماعی در بهره‌برداری منطقی از آب در تولید محصولات زراعی در شهرستان مرودشت پرداختند. در مطالعه آنان به منظور تعیین الگوهای بهینه کشت از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شد. نتایج حاصل از تعیین الگوی کشت بهینه با هدف حداکثر نمودن منافع اجتماعی در این مطالعه نشان می‌دهد که مجموع سطح زیرکشت در این حالت نسبت به کل سطح زیرکشت فعلی در سطح شهرستان مرودشت تغییر نکرده است. اما در این الگو، محصولاتی مانند گندم آبی، گندم دیم، ذرت دانه‌ای، هندوانه، خیار، پیاز، عدس آبی و لوبیا از برنامه حذف شده و محصولات جو دیم، خربزه و پیاز وارد الگوی کشت می‌شوند.

Birhanu et al. (2015) به بررسی الگوی بهینه تولیدات محصولات زراعی در حوزه زیر سد کوگا در کشور اتیوپی پرداختند. در مطالعه آنان از روش برنامه‌ریزی ریاضی با تأکید بر محدودیت مصرف آب استفاده شد. نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن محدودیت منابع آبی و استفاده کارا از آب، سطح زیر کشت محصولات در این منطقه بیش از ۳۶ درصد، متوسط تولید در واحد سطح در حدود ۴۵ درصد و بهره‌وری اقتصادی آب به میزان ۳۶ درصد افزایش می‌یابد.

Shirzadi and Sabouhi-Sabouni (2015) به بررسی وضعیت پایداری و تعادل سفره آب زیرزمینی در جهت دستیابی به مدیریت پایدار کشاورزی در حوضه آبریز نیشابور پرداختند. در مطالعه آنان وضعیت تعادلی حوضه آبریز نیشابور با استفاده از محاسبه آب تجدیدپذیر و شاخص (نسبت مصرف به آب تجدیدپذیر) در سه وضعیت سال آبی نرمال، خشک و تر مورد بررسی قرارگرفت. الگوی کشت بهینه براساس مقادیر آب تجدیدپذیر نشان داد که حدود ۴۳۰۰۰ هکتار از اراضی منطقه تحت آبیاری غیرمجاز می‌باشند.

Nasabian et al. (2014) به بررسی تاثیر اصلاح الگوی کشت بر کاهش مصرف آب و کود در فعالیت‌های کشاورزی در استان فارس پرداختند. در این مطالعه آن‌ها با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه غیرخطی فازی امکان تحقق آرمان‌های کاهش مصرف کودشیمیایی و آب در راستای کاهش اثرات مخرب زیست محیطی فعالیت‌های کشاورزی در مصالحه با اهداف حداکثر کردن بازدهٔ برنامه‌ای، حداقل کردن خطر تولید و افزایش منافع اجتماعی از طریق افزایش سطح اشتغال نیروی کار را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که الگوی بهینه کشت علاوه بر تاثیر قابل توجه بر کاهش مصرف آب و کود شیمیایی، افزایش بازدهٔ برنامه‌ای، کاهش خطر و افزایش اشتغال نیروی کار را دربر دارد.

Falahi et al. (2013) به تعیین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی در دشت سیدان- فاروق شهرستان مرودشت با تاکید بر محدودیت منابع آب پرداختند. در مطالعه آنان از رهیافت برنامه‌ریزی چندهدفی استفاده شد و الگوهای بهینه‌ی کشت با منظور نمودن ترکیب‌های مختلف وزن توابع هدف تحت تعقیب، در قالب سه سناریو ارائه شد. نتایج نشان داد که در تمامی الگوهای پیشنهادی، امکان افزایش بازده ناخالص و کاهش مصرف آب وجود دارد.

Safavi and Alijanian (2011) با استفاده از برنامه‌ریزی دینامیک فازی به برنامه‌ریزی مطلوب کشت محصولات با توجه به محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه نجف آباد ایران پرداختند. نتایج

نشان داد که در شرایط الگوی بهینه کشت محصولات زراعی در این منطقه از منابع آبی به میزان کمتری استفاده خواهد شد و بر میزان درآمد حاصله از تولید محصولات زراعی در این منطقه اضافه خواهدشد.

XieTing et al. (2010) به‌منظور مدیریت منابع آب کشاورزی استان گانسو (در شمال غرب چین) با استفاده از برنامه‌ریزی خطی چندمنظوره فازی[۴] به تدوین الگوی بهینه برنامه‌ریزی تولید این استان پرداختند. نتایج آنان نشان داد که در شرایط بهینه، میزان سودآوری تولید محصولات زراعی در شرایط پایداری بیشتر منابع آبی اتفاق خواهد افتاد.

Adeyemo and Otieno (2010) برای به حداکثر رساندن سود خالص کل و میزان تولید محصولات زراعی با به حداقل رساندن مجموع آب آبیاری مورد استفاده در آفریقای جنوبی از مدل برنامه‌ریزی کشت بهینه چندمنظوره و تک‌منظوره استفاده نمودند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد که استفاده از مدل کشت بهینه می‌تواند نتایج بهتری نسبت به الگوی موجود تولید محصولات زراعی در این کشور در ارتباط با سودآوری و کاهش استفاده از منابع آبی بدست دهد.

بررسی نتایج مطالعات انجام شده پیشین نشان می‌دهد که استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی به روش ریاضی و به‌ویژه کاربرد مدل‌های با اهداف چندگانه در زمینه تدوین الگوی برنامه‌ریزی تولید محصولات زراعی در مناطق مختلف داخل و خارج از کشور کارایی قابل‌توجهی داشته و با کاربرد این روش‌ها نتایج و توصیه‌های کاربردی حائز اهمیتی استخراج شده است. با این وجود، بررسی ادبیات تحقیق در این زمینه نشان می‌دهد که مطالعات پیشین عمدتاً در سطح استان‌ها و شهرستان‌ها و یا در سطح دشت‌های وسیع انجام شده است. درعین‌حال، به نظر می‌رسد که ترویج و به‌کارگیری الگوهای بهینه برنامه‌ریزی تولید که به‌صورت هم‌زمان به اولویت‌های اقتصادی و اولویت‌های مرتبط با بهره‌وری آب بپردازد، نیازمند انجام مطالعات موردی در ابعاد ظریف‌تر برنامه‌ریزی و در سطح بنگاه‌های اقتصادی خرد و امکان مقایسه تجارب آن‌ها با یکدیگر است. لذا، با توجه به آنچه اشاره شد، مسأله تحقیق مطالعه حاضر عبارت از تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی با تأکید بر اولویت افزایش بهره‌وری آب در شرکت مزرعه نمونه گرگان به‌عنوان یکی از قطب‌های اساسی تولیدات کشاورزی در استان گلستان است، در شرایطی که اولویت‌های اقتصادی نیز به‌صورت هم‌زمان مورد توجه قرار گیرد. شرکت مزرعه نمونه گرگان با در اختیار داشتن بیش از چهار هزار هکتار اراضی زراعی یکی از قدیمی‌ترین بنگاه‌های کشاورزی در سطح استان گلستان و از زیرمجموعه‌های سازمان اتکا است. این مجموعه بزرگ کشاورزی همه‌ساله با تمرکز فعالیت در سطح وسیعی از اراضی زراعی استان گلستان اقدام به انجام فعالیت‌های اقتصادی و اشتغال‌زا می‌نماید و به دلیل وجود نیروهای انسانی آموزش‌دیده دانشگاهی و مجرب، همواره به‌عنوان منبع مراجعات ترویجی سایر کشاورزان در سطح استان گلستان بشمار می‌رود. لذا، در این مطالعه به دلیل اهمیت ترویج نتایج علمی و برخاسته از انجام مطالعات موردی در زمینه تدوین الگوهای برنامه‌ریزی تولیدات بخش کشاورزی و با عنایت به اهمیت ابعاد پایداری منابع آب، از مدل‌های برنامه‌ریزی چند معیاره به‌منظور تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در شرکت مزرعه نمونه گرگان و پردازش هم‌زمان به بهره‌وری آب در کنار اولویت‌های اقتصادی استفاده شده است.

۲- روش تحقیق

مزارع شرکت مزرعه نمونه گرگان از توابع بخش وشمگیر شهرستان آق‌قلا محسوب می‌شود که با مختصات جغرافیایی ° ۳۷ و ′۰۸ شمالی و °۵۴ و ′۳۴ شرقی در استان گلستان قرار دارد. در مطالعهٔ حاضر از اطلاعات مربوط به ۷ محصول زراعی عمده شرکت مزرعه نمونه گرگان استفاده شد. لذا، داده‌های مورد نیاز با مراجعه به آمار و اطلاعات دفتری این واحد کشاورزی برای سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ جمع‌آوری شد. همچنین، به‌منظور برآورد نتایج مدل موردنظر از نرم‌افزار GAMS[۵] استفاده شد. نرم‌افزار GAMS نرم‌افزاری بسیار کاربردی است که برای حل مسائل بهینه‌سازی اعم از بهینه‌سازی‌های خطی و غیرخطی طراحی شده است. این نرم‌افزار به کاربر امکان تمرکز بر روی مسائل مدل‌سازی و تصمیم‌گیری عددی را می‌دهد. کاربر با این نرم‌افزار می‌تواند فرمول‌نویسی مسأله تحت بحث را با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی انجام دهد. در واقع می‌توان از GAMS به عنوان یکی از بهترین نرم‌افزارهای حل مسائل برنامه‌ریزی به روش ریاضی نام برد. در مدل‌سازی مسائل برنامه‌ریزی ریاضی در نرم‌افزار GAMS، ابتدا متغیرها و پارامترهای مورد نظر با استفاده از علائم و نشان‌های زبان برنامه‌نویسی به این نرم‌افزار معرفی می‌شود و پس از آن نسبت به کدنویسی معادلات مدل مورد نظر اقدام می‌شود. سپس، با استفاده از الگوریتم‌های حل[۶] متناسب با روش برنامه‌ریزی ریاضی مورد استفاده نسبت به اجرای مدل و استخراج نتایج اقدام می‌شود.

همان‌طور که اشاره شد، در این مطالعه به‌منظور تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در شرکت مزرعه نمونه گرگان و تأکید بر افزایش بهره‌وری آب از روش برنامه‌ریزی ریاضی چند معیاره استفاده شده است. در این روش فرض می‌شود که برنامه‌ریزان می‌توانند به‌طور صریح همه آرمان‌هایی که مربوط به یک برنامه‌ریزی آتی هستند را

تعریف نمایند. همچنین، در روش برنامه‌ریزی چند معیاره اهداف مورد نظر به‌صورت کمی از طرف تصمیم‌گیرنده مطرح می‌شود و تمام قیدها و تابع هدف در قالب محدودیت‌ها بیان می‌شود. در این رویکرد، تابع هدف عبارت از به حداقل رساندن انحرافات از این آرمان‌ها و مقادیر موجود برای آن محدودیت‌ها است (Mehregan, 2013).

یکی از کاربردی‌ترین رهیافت‌های موجود در اجرای روش برنامه‌ریزی چندمعیاره رهیافت برنامه‌ریزی آرمانی خطی با امکان تعیین اولویت برای اهداف، موسوم به روش برنامه‌ریزی آرمانی اولویتی (LGP) است که به برنامه‌ریز این امکان را می‌دهد که نه‌فقط برای اهداف، تقدم در نظر بگیرد، بلکه تحقق یک هدف و سپس تحقق هدف دیگر را نیز انجام دهد (Sabouhi-Sabouni, 2012). درساختار روش برنامه‌ریزی ریاضی آرمانی اولویتی، در ابتدا اهداف با تقدم بالاتر مورد توجه قرار گرفته و سپس اهداف دیگر با اهمیت پایین‌تر مورد توجه قرار می‌گیرند. با توجه به اهداف انجام مطالعات، چندین رویکرد مختلف برای حل مدل LGP وجود دارد. در این مطالعه از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی وزنی[۷] (WGP) برای برآورد مدل برنامه‌ریزی آرمانی اولویتی استفاده شده است که به سبب وجود آزادی عمل بیشتر برای تصمیم‌گیران در زمان تعیین تقدم نسبی برای اهداف، در میان محققان از مقبولیت بیشتری نسبت به سایر رویکردها برخوردار است. در رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی وزنی همه آرمان‌ها در یک تابع هدف توافقی قرار می‌گیرند و انحرافات ناخواسته بر اساس اهمیت نسبی هر اولویت نزد تصمیم‌گیرنده (در اینجا مدیران شرکت مزرعه نمونه گرگان) وزن داده شده و مدل مورد نظر به‌منظور دستیابی به اولویت‌های موجود حل می‌شود. در اکثر مسائل علاوه بر مشخص شدن اهداف توسط تصمیم‌گیرندگان، درجه اهمیت اهداف نیز توسط آنان مشخص می‌گردد. بر اساس آنچه گفته شد، شکل عمومی مدل برنامه‌ریزی چندمعیاره به ترتیب زیر است (Sabouhi-Sabouni, 2012):

$$\text{Min } Z = \{g_1(d^+d^-), g_1(d^+d^-), \dots, g_n(d^+d^-)\} \qquad (۱)$$

St.

$$h_j(x_i) \le b_j \qquad i = 1,2,3,\dots,m$$
$$f_i(x_i) + d_j^- - d_j^+ = w_j \qquad j = 1,2,3,\dots,k$$
$$x, d_j^-, d_j^+ \ge 0 \quad , \quad d_j^- . d_j^+ = 0$$

که در آن، g_n معرف آرمان nام، b_j میزان موجودی عامل تولید jام، $h_j(x_i)$ تابع منابع استفاده شده برای فعالیت‌های مختلف تولیدی، x_i متغیر تصمیم iام (در اینجا سطح زیر کشت محصول)، w_j میزان آرمان مرتبط با عامل تولید jام، $f_i(x_i)$ تابع هدف iام حاصل از فعالیت‌های تولیدی و d_j^+ و d_j^- نیز به ترتیب متغیرهای انحراف مثبت و منفی از آرمان‌های مورد نظر می‌باشند که مقصود تصمیم‌گیرنده بر حداقل کردن آن‌ها است ولی در عمل ممکن است که به‌صورت کامل به سطح تمایل تعیین‌شده برای اهداف دست نیابد (Zamani et al., 2014). در مدل برنامه‌ریزی آرمانی دو دسته محدودیت شامل محدودیت ساختاری و محدودیت آرمانی وجود دارد. محدودیت ساختاری که در مدل بالا با عبارت $h_j(x_i) \le b_j$ نشان داده شده است، بر محدودیت موجودی عوامل و نهاده‌های تولید در جریان تولیدات زراعی شرکت مزرعه نمونه گرگان اشاره می‌نماید. محدودیت آرمانی که در مدل بالا با عبارت $f_i(x_i) + d_j^- - d_j^+ = w_j$ نشان داده شده است نیز به آرمان‌های مدنظر مدیران شرکت مزرعه نمونه گرگان با توجه به اولویت‌های بیان‌شده در این مطالعه اشاره می‌نماید.

همان‌طور که اشاره شد، هدف اصلی انجام مطالعه حاضر تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب در شرکت مزرعه نمونه گرگان است، در شرایطی که اولویت‌های اقتصادی نیز مدنظر قرار گیرند. ازاین‌رو، با توجه به معادله‌های (۱) آرمان‌های اقتصادی و کارایی مصرف آب در مدل مورد نظر با توجه به اهداف سالیانه شرکت مزرعه نمونه گرگان در معادله‌های (۲) تا (۵) ذکر شده است:

الف- آرمان حداکثرسازی بازده برنامه‌ای[۸] (بازده ناخالص):

$$\sum c_i x_i + d_1^- - d_1^+ = g_1 \qquad (۲)$$

ب- آرمان حداکثرسازی به‌کارگیری زمین‌های زراعی در دسترس:

$$\sum x_i + d_2^- - d_2^+ = g_2 \qquad (۳)$$

پ- آرمان حداکثرسازی جریان خالص انرژی تولیدی[۹]:

$$\sum e_i x_i + d_3^- - d_3^+ = g_3 \qquad (۴)$$

ت - آرمان حداکثر کارایی مصرف آب:

$$\sum w_i x_i + d_4^- - d_4^+ = g_4 \qquad (۵)$$

در معادله‌های بالا، آرمان‌های بند "الف" تا "پ" معرف اولویت‌های اقتصادی مدنظر مدیران شرکت مزرعه نمونه گرگان است که به ترتیب بر حداکثر کردن بازده ناخالص تولید محصولات زراعی، حداکثر کردن استفاده از زمین‌های زراعی قابل‌استفاده در این شرکت و حداکثر کردن جریان خالص انرژی تولید شده از محصولات زراعی این واحد کشاورزی تأکید می‌نماید. در معادله‌های فوق، ضرایب c_i و e_i به ترتیب بر میزان بازده ناخالص و میزان خالص انرژی تولیدی محصول زراعی iام در هر هکتار تولید محصولات اشاره می‌نمایند. در رابطه با آرمان حداکثرسازی بازده ناخالص بایستی اشاره نمود که هر کدام از محصولات زراعی به‌منظور ایجاد ارزش افزوده و درآمد ناخالص، در فرایند تولید و از ابتدای کاشت تا انتهای برداشت مشمول پرداخت هزینه‌های مختلفی هستند که عموماً اختصاص به مصرف نهاده‌ها دارد. از طرف دیگر، پس از تولید محصول و عرضه آن به بازار، هر کدام از محصولات فروخته شده باعث ایجاد درآمد می‌شود. لذا، تفاضل هزینه‌های انجام شده از درآمدهای ایجاد شده در واحد سطح (هکتار)

معادل با بازده ناخالص مرتبط با هر محصول در هر واحد سطح تولید آن محصول (c_i) است. بنابراین، آرمان حداکثرسازی بازده ناخالص در الگوی بهینه کشت نیز به مفهوم تدوین ترکیبی از محصولات است که علاوه بر تأمین سایر آرمان‌های مورد نظر منجر به ایجاد بالاترین بازده ناخالص کل گردد. علاوه بر این، آرمان بند "ت" نیز بر حداکثر کردن بهره‌وری آب تأکید می‌نماید. با توجه به تأکید مطالعه حاضر بر افزایش بهره‌وری آب در تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در شرکت مزرعه نمونه گرگان، در معادله (۵) ضریب w_i معرف شاخص شدت مصرف آب[۱۰] محصول زراعی iام در هر هکتار تولید محصولات است که بر اساس معادله (۶) از تقسیم میزان مصرف آب بر ارزش افزوده تولید محصول در هر هکتار به دست می‌آید (Luyanga et al., 2006):

$$w_i = \frac{W_i}{V_i} \qquad (۶)$$

در معادله (۶)، W_i نشان‌دهنده میزان آب مصرفی در هر هکتار تولید محصول زراعی iام است و V_i نیز ارزش افزوده هر هکتار تولید هر محصول را نشان می‌دهد. این شاخص یکی از مهم‌ترین شاخص‌های محاسبه کارایی مصرف آب محسوب می‌شود. لذا، هرچه این ضریب کمتر باشد بهره‌وری آب در هر هکتار تولید محصولات بالاتر خواهد بود (Luyanga et al., 2006). به‌بیان‌دیگر، معادله (۶) بیان می‌کند که هر واحد از ارزش‌افزوده تولید محصولات زراعی در هر هکتار از مزارع شرکت مزرعه نمونه گرگان به چه میزان مصرف آب نیازمند است. با توجه به عبارت بالا، افزایش ارزش تولید محصولات به ازای هر واحد آب مصرفی به مفهوم افزایش بهره‌وری آب خواهد بود. همچنین، کاهش مصرف آب به ازای میزان مشخصی از ارزش افزوده تولید محصولات زراعی نیز به مفهوم افزایش بهره‌وری آب خواهد بود. لازم به ذکر است که به‌صورت کلی در رابطه با ارزیابی تغییرات بهره‌وری آب در تولید محصولات کشاورزی دو رویکرد محاسباتی وجود دارد. در رویکرد اول که به رویکرد نهاده‌گرا[۱۱] موسوم است، افزایش بهره‌وری آب به مفهوم کاهش مصرف آب به ازای تولید میزان مشخصی از محصولات است. در رویکرد دوم که به رویکرد محصول‌گرا[۱۲] موسوم است، افزایش بهره‌وری آب به مفهوم افزایش تولید محصولات به ازای میزان مشخصی از نهاده آب است (Mortazavi et al., 2016). لذا، در این مطالعه، به‌منظور تأکید بر حداقل‌سازی شدت مصرف آب در دسترس و بهینه‌سازی این فرایند با توجه به اولویت‌های سالیانه سازمان اتکا در طراحی الگوی بهینه تولید محصولات زراعی شرکت مزرعه نمونه گرگان و امکان مقایسه آن با شرایط معمول این واحد کشاورزی، رویکرد محصول‌گرا در دستور کار قرار گرفته است. درنهایت، با استفاده از معادله (۵) آرمان میزان بهره‌وری آب در الگوی بهینه تولید محصولات زراعی شرکت مزرعه نمونه گرگان با حداقل کردن شاخص کل شدت مصرف آب برای کلیه محصولات زراعی (g_4) مورد تأکید قرار گرفت. علاوه بر این، با توجه به اهمیت صرفه‌جویی در مصرف منابع آبی در دسترس در این مجموعه کشاورزی همزمان با تأکید بر اولویت‌های اقتصادی، کاهش در کل مصرف آب در الگوی بهینه کاشت محصولات زراعی به میزانی که به این اولویت‌ها خدشه قابل توجهی وارد نگردد، در دستور کار قرار گرفت. بر این اساس، کاهش کل مصرف آب در تولیدات زراعی با استفاده از محدودیت‌های ساختاری، مورد تأکید قرار گرفت. محدودیت‌های ساختاری مدل استفاده شده در این مطالعه در قالب معادله‌های (۷) تا (۱۱) معرفی شده است:

ج – محدودیت موجودی آب در دسترس:

$$\sum h_w x_i \le b_w \qquad (۷)$$

د– محدودیت موجودی ماشین‌آلات:

$$\sum h_m x_i \le b_m \qquad (۸)$$

و– محدودیت موجودی کودهای شیمیایی:

$$\sum h_f x_i \le b_f \qquad (۹)$$

ه– محدودیت موجودی سموم علف‌کش:

$$\sum h_h x_i \le b_h \qquad (۱۰)$$

ی– محدودیت موجودی سموم آفت‌کش:

$$\sum h_p x_i \le b_p \qquad (۱۱)$$

در معادله‌های بالا، h معرف میزان مصرف هر عامل تولید در هر هکتار و b معرف میزان موجودی هر عامل تولید است. موجودی کل عوامل تولید در اختیار شرکت مزرعه نمونه گرگان به دو بخش موجودی مورد استفاده در الگوی کشت معمول و موجودی انبار و ذخیره عوامل تولید تقسیم می‌شود. با توجه به آنکه در این مطالعه الگوی بهینه کاشت محصولات زراعی با الگوی مرسوم و متداول کاشت مقایسه شده است. میزان موجودی عوامل تولید مورد استفاده از طریق حاصلضرب میزان مصرف عوامل تولید در واحد سطح در کل سطح زیر کشت بدست می‌آید. لذا، در این مطالعه صرفه‌جویی در مصرف منابع آبی در الگوی بهینه کاشت محصولات زراعی شرکت مزرعه نمونه گرگان از طریق کاهش ۱۰ درصدی متغیر b_w در مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندمعیاره انجام شد. با توجه به مطالب ارائه شده، در این مطالعه مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندمعیاره با ترکیب اولویت‌های اقتصادی و بهره‌وری آب به روش WGP حل گردید و نتایج به‌دست آمده مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین، در ادامه به‌طور مختصر به نحوه تعیین اولویت اهداف موردنظر اشاره خواهد شد. با توجه به اولویت‌های مدنظر مدیران شرکت مزرعه نمونه گرگان، مهم‌ترین هدف اقتصادی آنان عبارت از حداکثرسازی بازده برنامه‌ای تولید محصولات زراعی در این واحد کشاورزی است. لذا، برای حداکثرسازی بازده ناخالص، بایستی انحراف منفی از این آرمان (d_1^-) در مدل مورد نظر حداقل گردد. همچنین، با توجه به

آن‌که آرمان به‌کارگیری زمین‌های زراعی در دسترس شرکت مزرعه نمونه گرگان که به‌منظور جبران بخشی از هزینه‌های ثابت تولید محصولات زراعی در این واحد کشاورزی مدنظر قرار دارد از دیگر اهداف مهم اقتصادی مدیران آن واحد است، بایستی انحراف منفی از آرمان حداکثر زیر کشت بردن زمین‌های زراعی (d_2^-) نیز حداقل گردد.

در ساختار اولویت‌بندی اهداف مورد نظر این واحد کشاورزی، آرمان مهم اقتصادی دیگر شامل حداکثرسازی جریان خالص انرژی تولیدی است. در این مورد بایستی اشاره نمود که هر واحد از نهاده‌های متغیر مورد استفاده در تولید محصولات زراعی حاوی میزان معینی انرژی هستند که در جریان تولید، مصرف آن‌ها منجر به محصول نهایی می‌شود. از طرف دیگر، هر واحد از محصولات زراعی تولیدی نیز حاوی میزان مشخصی از انرژی هستند که تجمیع آن‌ها سبد انرژی خروجی کل ناشی از تولید این محصولات را تشکیل می‌دهد. از این‌رو، جریان خالص انرژی تولیدی عبارت از تفاضل مجموع انرژی ورودی از مجموع انرژی خروجی در جریان تولید محصولات زراعی است. به عبارت دیگر، هر کدام از محصولات زراعی مورد نظر دارای میزان مشخصی مواد مغذی است که انرژی نیز یکی از آن‌ها محسوب می‌شود. از طرف دیگر، هر کدام از نهاده‌های مصرفی نیز از انواع موادی تشکیل شده است که حاوی میزان مشخصی از انرژی هستند. بنابراین، تفاضل معادل انرژی حاصل از تولید هر کدام از محصولات زراعی از معادل انرژی مصرفی نهاده‌ها در واحد سطح به مفهوم خالص انرژی تولیدی در واحد سطح هر کدام از آن محصولات در جریان تولید است. لذا، در این مطالعه به جهت تبدیل واحد میزان نهاده‌های بکار گرفته‌شده و محصولات زراعی تولیدی در شرکت مزرعه نمونه گرگان برحسب یک واحد انرژی یکسان، از ضرایب تبدیل انرژی استفاده شده است. برای این منظور، برای تبدیل واحد محصولات زراعی تولید شده به واحد انرژی از ضرایب تبدیل انـــرژی معرفی‌شده در مطالعه Hatirli et al. (2006) و برای تبدیل واحد نهاده‌های مورد استفاده به واحد انرژی نیز از ضرایب تبدیل انرژی معرفی شده در مطالعه Kazemi and Zare (2014) استفاده شد که در جدول‌های ۱ و ۲ قابل مشاهده است. ازاین‌رو، برای حداکثرسازی این آرمان اقتصادی بایستی انحراف منفی از آرمان حداکثرسازی خالص انرژی تولیدی (d_3^-) حداقل گردد. به بیان ساده‌تر، با مصرف هر واحد از نهاده‌ها در واحد سطح، میزان مشخصی از انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از طرف دیگر، با تولید هر واحد از محصولات مورد نظر در واحد سطح (میزان محصول) نیز میزان مشخصی انرژی تولید می‌گردد. لذا، تفاضل انرژی مصرف شده از انرژی تولید شده در هر هکتار از کاشت محصولات زراعی مورد بررسی معادل با خالص انرژی تولید شده در واحد سطح (e_i) است. بنابراین، آرمان حداکثرسازی خالص انرژی تولیدی در الگوی بهینه کاشت محصولات زراعی مورد نظر از طریق حداقل‌سازی انحراف منفی از این آرمان (d_3^-) محقق می‌شود.

پس از آنکه اولویت‌های اقتصادی مدنظر مدیران مشخص گردید، بایستی اولویت مهم مطالعه حاضر یعنی افزایش بهره‌وری آب نیز مورد تأکید قرار گیرد. لذا، به این منظور بایستی انحراف از آرمان حداکثرکردن بهره‌وری آب (d_4^+) نیز حداقل گردد. درنهایت، در این مطالعه الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در شرکت مزرعه نمونه گرگان در قالب مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند معیاره با تأکید بر افزایش بهره‌وری آب در تولید این محصولات در کنار اولویت‌های اقتصادی مدیران این واحد کشاورزی به روش وزن‌دهی کمی به آرمان‌های مورد نظر طراحی گردید و مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که میزان مشخص آرمان‌های مورد نظر نیز با توجه به الزامات مدیران شرکت مزرعه نمونه گرگان و با در نظر گرفتن موجودی کل عوامل در دسترس آنان و با توجه به اهداف و اولویت‌های برنامه‌ریزی سالیانه ســـازمان اتـــکا تعییـن شده است که عبارت از افزایش۱۵ درصدی

Table 1- Energy equivalent of agricultural products (MJ/kg)
جدول ۱ - معادل انرژی محصولات تولیدی بخش کشاورزی (مگاژول/ کیلوگرم)

	Products	Energy equivalent (MJ/kg)		Products	Energy equivalent (MJ/kg)
	Cereals	14.7		Beans	14.7
Vegetables	Fruit vegetables	0.8	Fruits	Dried fruits	11.8
	Melon & watermelon	1.9		Stone fruits	1.9
	glandular vegetables &Root	1.6		Grapes	11.8
	Leaf and edible vegetables	1.2		Granular Fruits	1.9
	Others	1.6		Citrus	1.9
Industrial plants	sugar cane&Sugarbeet	5.04	Root plants	Potato	3.6
	Tea	0.8			
	Tobacco	0.8		Others	1.6
	Oil seeds	11.8			
	Others	25			

Source: Hatirli et al. (2006)

Table 2- Energy equivalent of agricultural inputs (MJ/Kg)

جدول ۲ - معادل انرژی نهاده‌های مصرفی بخش کشاورزی (مگاژول/ کیلوگرم)

Inputs	Unit	Energy equivalent (MJ/kg)
Water	m^3	1.02
Nitrogen	kg	60.6
Phosphor	kg	11.1
Potassium	kg	6.7
Herbicide	kg	278
Pesticide	kg	99
Machinery	h	62.7

Source: Kazemi and Zare (2014)

بهره‌وری آب، افزایش ۱۰ درصدی سود سالیانه، افزایش ۲۰ درصدی خالص انرژی تولیدی و استفاده کامل از اراضی زراعی قابل‌کشت در شرکت مزرعه نمونه گرگان می‌باشند.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

به‌منظور تشریح مناسب‌تر نتایج به دست آمده در ارتباط با الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در شرکت مزرعه نمونه گرگان، آمار توصیفی مربوط به داده‌های جمع‌آوری شده از این واحد کشاورزی به‌صورت تفکیک شده در جدول ۳ آمده است. همان‌طور که از مشاهده این جدول استنباط می‌شود، در هر هکتار از اراضی مزرعه نمونه گرگان، محصولات پنبه، یونجه، کلزا و گندم به ترتیب بیشترین بازده ناخالص را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین، در میان محصولات عمده زراعی قابل‌کشت در اراضی شرکت مزرعه نمونه گرگان، محصولات ذرت، گندم و جو دارای بیشترین انرژی خالص تولیدی در هر هکتار می‌باشند و پس از آن‌ها، محصول کلزا قرار دارد. علاوه بر این، همان‌طور که از مشاهده این جدول استنباط می‌شود، در میان محصولات مورد نظر، محصولات پنبه، کلزا، گندم و جو کمترین ضریب شدت مصرف آب در هکتار را به خود اختصاص می‌دهند که به مفهوم بهره‌وری آب بالاتر برای آن‌ها است. علاوه بر این، جدول ۱ نشان می‌دهد که از میان محصولات تولیدی، محصولات یونجه، گندم، جو و کلزا بیشترین مصرف کودهای شیمیایی را در هر هکتار به خود اختصاص می‌دهند. همچنین، بررسی جدول مذکور نشان می‌دهد که محصولات پنبه و ذرت بیشترین مصرف سموم آفت‌کش را در واحد سطح به خود اختصاص می‌دهند. علاوه بر این، این محصولات بیشترین مصرف سموم علف‌کش را نیز در هر هکتار کشت محصول به خود اختصاص می‌دهند. جدول ۳ همچنین نشان می‌دهد که از میان محصولات عمده تولیدی در شرکت مزرعه نمونه گرگان، گیاهان پنبه، ذرت، گندم و جو بیشترین کاربرد ماشین‌آلات در واحد سطح را به خود اختصاص می‌دهند. همان‌طور که پیش از این به آن اشاره شد، هدف اصلی این پژوهش مبتنی بر تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در شرکت مزرعه نمونه گرگان با تأکید بر افزایش بهره‌وری آب است. لذا، در ادامه به تشریح نتایج به دست آمده با استفاده از آمار و اطلاعات جمع‌آوری‌شده از شرکت مزرعه نمونه گرگان پرداخته می‌شود.

همان‌گونه که پیش از این به آن اشاره شد، در رویکرد ارتقای بهره‌وری آب در تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در این مطالعه، بایستی مجموع شاخص شدت مصرف آب تمامی محصولات مورد نظر در کل اراضی زراعی در دسترس حداقل گردد. بر این اساس، در مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندمعیاره طراحی‌شده جهت تدوین الگوی بهینه کشت، ارتقای ۱۵ درصدی میزان بهره‌وری آب در مزارع شرکت مزرعه نمونه گرگان بر اساس آرمان‌های مدنظر مدیران در دستور کار قرار گرفت.

همان‌گونه که پیش از این به آن اشاره شد، در رویکرد ارتقای بهره‌وری آب در تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در این مطالعه، بایستی مجموع شاخص شدت مصرف آب تمامی محصولات مورد نظر در کل اراضی زراعی در دسترس حداقل گردد. بر این اساس، در مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندمعیاره طراحی‌شده جهت تدوین الگوی بهینه کشت، ارتقای ۱۵ درصدی میزان بهره‌وری آب در مزارع شرکت مزرعه نمونه گرگان بر اساس آرمان‌های مدنظر مدیران در دستور کار قرار گرفت. همچنین، همانطور که اشاره شد، صرفه‌جویی در مصرف منابع آبی در الگوی بهینه کاشت محصولات زراعی در این مجموعه کشاورزی از طریق کاهش ۱۰ درصدی در میزان کل آب در دسترس مورد تأکید قرار گرفت. با این توضیحات، جزییات تدوین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی با رویکرد افزایش بهره‌وری آب در مزارع این واحد کشاورزی در جدول ۴ ذکر شده است. با توجه به نتایج این جدول مشاهده می‌شود که با وارد کردن آرمان ارتقای بهره‌وری آب در اولویت‌های مورد نظر در شرکت مزرعه نمونه گرگان، امکان دستیابی به آرمان ۱۵ درصدی افزایش بهره‌وری آب وجود خواهد داشت. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در شرایط بهینه، شاخص کل شدت مصرف آب به میزان ۱۵ درصد نسبت به وضعیت معمول کاهش می‌یابد. لذا، افزایش بهره‌وری آب در الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در این

مطالعه به این مفهوم است که با میزان مشخص آب در دسترس در شرکت مزرعه نمونه گرگان، مجموعه محصولات زراعی با ارزش بیشتر نسبت به شرایط معمول تولید خواهد شد. با توجه به نتایج این جدول، در الگوی بهینه کشت با تأکید بر افزایش بهره‌وری آب بر میزان سطح زیر کشت محصولات گندم و ذرت افزوده شده است. با توجه به مندرجات جدول ۳ به نظر می‌رسد که در رابطه با محصول گندم علت اصلی این امر را بایستی در شدت مصرف آب کمتر این محصول و هم‌زمان پوشش دادن اولویت‌های اقتصادی اشاره‌شده به‌ویژه خالص انرژی تولیدی بیشتر نسبت به سایر محصولات جستجو نمود. در ارتباط با محصول ذرت، به نظر می‌رسد که افزایش سطح زیر کشت در شرایط بهینه را بایستی بیش از هر چیز به علت خالص انرژی تولیدی بسیار زیاد این محصول در مقایسه با سایر محصولات دانست؛ هر چند که شدت مصرف آب این محصول نیز از بعضی محصولات دیگر کمتر است. نتایج جدول ۴ همچنین نشان می‌دهد که محصولات جو و آفتابگردان از الگوی بهینه کشت حذف شده‌اند.

با توجه به نتایج جدول ۳ به نظر می‌رسد که علت اصلی این امر در ارتباط با محصول آفتابگردان بیش از هر چیز به سبب بهره‌وری آب کمتر و ارزش اقتصادی نسبی کمتر این محصول در مقایسه با سایر محصولات است. همچنین، محصول جو نیز علیرغم بهره‌وری نسبی آب بیشتر، بیش از هر چیز به سبب ارزش اقتصادی نسبتاً کم از الگوی کشت حذف شده است. نتایج این جدول همچنین نشان می‌دهد که محصولات یونجه، پنبه و کـــلزا علیرغم قرار داشتن در الگوی بهینه کشت، نسبت به شرایط فعلی الگوی کشت در مزرعه نمونه گرگان از سطح زیر کشت بسیار کمتری برخوردار خواهند بود. لذا، با توجه به نتایج جدول ۳ به نظر می‌رسد که علت این موضوع را در مورد محصول یونجه بیش از هر چیز بایستی در بهره‌وری آب نسبتاً کمتر این محصول و خالص انرژی منفی جستجو نمود. همچنین محصول پنبه نیز به علت پوشش کمتر آرمان اقتصادی خالص انرژی و مصرف ماشین‌آلات کشاورزی قابل‌توجه، علیرغم آنکه جزو محصولات کلیدی الگوی کشت محسوب می‌شود از ســـطح زیر کشت آن در شرایط بهینه کم

Table 3- Statistical information on the crops of Gorgan Mazrae Nemoone Company (Per Hectare)

جدول ۳- اطلاعات آماری مربوط به محصولات زراعی شرکت مزرعه نمونه گرگان در هر هکتار

Variable / Crop	Wheat	Barley	Rapeseed	Alfalfa	Cotton	Maize	Sunflower
Gross profit (1000 Tomans)	3328	2210	3660	4086	4700	1900	194
Net energy (MJ)	12004	8104	6891	-47308	3020	407590	2136
Yield (kg)	3800	3500	2000	8000	3000	30000	1200
Water (m^3)	3500	3000	3000	11000	5500	7500	3000
Water consumption intensity (m^3/Rial)	7.2E-5	8.5E-5	5.9E-5	0.002	4.5E-5	0.00019	0.001
Chemical fertilizers (kg)[۱۲]	650	650	650	800	400	400	400
Pesticide (L)	1	1	0	0	7	4	0
Herbicide (L)	1	1	2	1	3	3	0
Machinery (h)	11	11	10.5	6.5	13.5	11	9

Source: Gorgan Mazrae Nemoone Company; Research findings

Table 4- Optimal crop production pattern with emphasis on improving water productivityin Gorgan Mazrae Nemoone Company

جدول ۴- الگوی بهینه تولید محصولات زراعی با تأکید بر افزایش بهره‌وری آب در شرکت مزرعه نمونه گرگان

	Crop	Current production pattern (ha)	Optimal production pattern(ha)	Change (%)
Cultivating area	Wheat	1625	2679	+65
	Barley	887	0	-100
	Rapeseed	526	496	-6
	Alfalfa	320	18	-94
	Cotton	430	310	-28
	Maize	195	196	+1
	Sunflower	100	0	-100
	Total cultivating area	4083	3699	-9
Profitability	Total profit (Billion Tomans)	13.01	14.04	+8
Net energy	Total net energy (1000 MJ)	96174	115409	+20
Water productivity	Total Water Intensity (m^3/Rial)	0.44	0.37	+15
Inputs	Water (m^3)	15.8	14.2	-10
	Chemical fertilizers (kg)	2403	2280	-5
	Pesticide (Liters)	5565	5565	0
	Herbicide (L)	4853	4853	0
	Machinery (h)	39790	39790	0

Source: Research findings

شده است. در مورد محصول کلزا نیز به نظر می‌رسد که علت کاهش سطح زیر کشت آن در شرایط بهینه را باید به علت ارزش اقتصادی کمتر نسبت به محصولات یونجه و پنبه و انرژی خالص تولیدی کمتر نسبت به محصولات گندم و ذرت و نیز سطح مصرف بالای ماشین‌آلات کشاورزی دانست. در ارتباط با تغییرات مصرف نهاده‌های مورد استفاده در واحد مزرعه نمونه گرگان که در جدول ۴ گزارش شده است بایستی اشاره نمود که به دلیل تأکید بر کاهش مصرف آب در الگوی بهینه کشت، از میان نهاده‌های مصرفی صرفاً میزان مصرف نهاده‌های آب و کود شیمیایی دچار تغییر شده است. در این رابطه، کاهش مصرف نهاده آب به میزان ۱۰ درصد نشان می‌دهد که در تولید محصولات زراعی می‌توان الگوی کاشت را به‌گونه‌ای طراحی نمود که علاوه بر دستیابی به اهداف و آرمان‌های اقتصادی، اهداف و آرمان‌های مرتبط با پایداری منابع آب نیز تا حد امکان محقق گردد. کاهش مصرف کود شیمیایی به سبب کاهش مصرف آب نیز امری طبیعی به نظر می‌رسد.

در پایان این قسمت، با توجه به نتایج جدول ۴ مشاهده می‌شود که غالب آرمان‌های اقتصادی تعریف شده از سوی مدیران شرکت مزرعه نمونه گرگان شامل افزایش ۱۰ درصدی سود سالیانه و افزایش ۲۰ درصدی انرژی خالص تولیدی به‌صورت تقریبی قابل‌جمع با آرمان افزایش ۱۵ درصدی بهره‌وری آب در الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در این واحد کشاورزی است. درعین‌حال، آرمان اقتصادی افزایش سطح زیر کشت محصولات چندان قابل‌دسترس نخواهد بود. لذا، به نظر می‌رسد که علت این امر را بایستی بیش از هر چیز در محدودیت دسترسی به عوامل تولید و تأکید بر کاهش مصرف نهاده آب دانست. به عبارت دیگر، محدودیت موجودی عوامل تولید از جمله آب مورد استفاده اجازه زیر کشت بردن بیش از پیش اراضی از یک طرف و دستیابی به آرمان سود حداکثری از طرف دیگر را به صورت همزمان نخواهد داد.

علت این موضوع نیز به سبب اهمیت وزنی آرمان افزایش سود نسبت به آرمان افزایش سطح زیر کشت در مدل چندمعیاره طراحی شده است. در این رابطه، نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در الگوی بهینه تولید محصولات زراعی، به غیر از نهاده‌های آب و کود شیمیایی سایر نهاده‌های مصرفی به‌منظور تحقق اهداف تعریف شده مدیران این واحد کشاورزی به‌صورت کامل بکار برده می‌شوند.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

این مطالعه با هدف تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعـــی در شرکت مزرعه نمونه گرگان با تأکید بر افزایش بهره‌وری آب طرح‌ریزی و اجرا شد. لذا، به‌منظور تدوین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی در این واحد کشاورزی، آرمان‌های اقتصادی با تأکید بر افزایش بهره‌وری آب به‌عنوان محدودیت‌های معین و از پیش تعیین‌شده توسط مدیران این واحد زراعی در قالب یک مدل برنامه‌ریزی چند معیاره طراحی شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در مجموع با تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی چند معیاره، دستیابی به آرمان افزایش ۱۵ درصدی بهره‌وری آب در کنار اهداف اقتصادی افزایش ۱۰ درصدی بازده ناخالص و افزایش ۲۰ درصدی خالص انرژی تولیدی به‌صورت قابل‌توجهی امکان‌پذیر خواهد بود. در این زمینه، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اهداف و آرمان‌های اقتصادی مدنظر مدیران شرکت مزرعه نمونه گرگان به‌عنوان یک نمونه از واحدهای فعال در بخش تولید محصولات کشاورزی در استان گلستان و در سطح کشور می‌تواند همراهی قابل‌توجهی با آرمان بهبود بهره‌وری آب و صرفه‌جویی در مصرف منابع آبی در دسترس داشته باشد. لذا، به نظر می‌رسد که با تدوین و تهیه الگوهای بهینه برنامه‌ریزی تولید محصولات زراعی و به‌منظور ایجاد ارزش‌افزوده بیش از پیش از منابع با ارزش آب در جریان تولید محصولات کشاورزی در کشور، پرداختن هم‌زمان به ابعاد پایداری و بهره‌وری آب در فعالیت‌های اقتصادی مدیران زراعی و زارعین بخش کشاورزی، تنزیل‌های قابل‌اعتنایی در جهت تأمین اهداف اقتصادی آنان به همراه نخواهد داشت. به عبارت دیگر، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که می‌توان الگوی کاشت محصولات زراعی را به‌گونه‌ای طراحی نمود که علاوه بر دستیابی به اهداف و آرمان‌های اقتصادی، اهداف و آرمان‌های مرتبط با پایداری منابع آب نیز به میزان قابل ملاحظه‌ای محقق گردد. بر این اساس، در شرایط بهینه برنامه‌ریزی تولید محصولات زراعی با ترکیب اولویت‌های اقتصادی و ارتقای بهره‌وری آب در شرکت مزرعه نمونه گرگان، محصولات کلیدی قابل‌کشت عبارت از گندم، کلزا، پنبه، ذرت و یونجه می‌باشند. لذا، با ترکیب آرمان‌های تعریف‌شده شامل افزایش بهره‌وری آب در کنار آرمان‌های اقتصادی در جریان تولید محصولات زراعی در این واحد کشاورزی، در الگوی کشت قرار دادن محصولات اشاره شده، به‌صورت هم‌زمان تأمین‌کننده میزان بازده ناخالص حداکثر و میزان خالص انرژی تولیدی حداکثر به‌عنوان آرمان‌های اقتصادی است و آرمان افزایش بهره‌وری آب را نیز به همراه خواهد داشت.

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، به‌عنوان یک پیشنهاد کلی توصیه می‌شود که به‌منظور تدوین الگوی بهینه برنامه‌ریزی تولید محصولات زراعی در مناطق مختلف کشور، اهداف و آرمان‌های مختلف مدیران واحدهای کشاورزی به‌صورت کمی و از طریق کاربرد مدل‌های

برنامه‌ریزی چند معیاره مورد بررسی قرار گیرد. این موضوع از آن جهت دارای بیشترین اهمیت است که به دلیل تضاد و تناقض‌های موجود در هنگام پرداختن به اصول و آرمان‌های اقتصادی واحدهای کشاورزی با دیگر آرمان‌های موجود در سطح خرد یا کلان ملی همچون آرمان‌های مرتبط با بهره‌وری آب در کشور، امکان برنامه‌ریزی به روش‌های معمول و متعارف آن و تعریف اولویت و اهمیت اهداف چندگانه و توجه هم‌زمان به آرمان‌های گوناگون برای بهره‌برداران بخش کشاورزی و مدیران واحدهای کشاورزی و حتی برای مدیران ستادی کشور نیز امری به‌مراتب دشوار و دور دسترس به نظر می‌رسد. به عبارت دیگر، با توجه به وجود انواع محصولات تولیدی در الگوی کاشت محصولات زراعی، ممکن است که آرمان‌های اقتصادی و پایداری منابع آب مدنظر مدیران واحدهای کشاورزی در تضاد با یکدیگر قرار گیرند. به عنوان نمونه، ممکن است که یک محصول در مقایسه با سایر محصولات از بیشترین خالص انرژی تولیدی برخوردار باشد. در عین حال، به دلیل مصرف آب قابل توجه و بازده ناخالص کم دارای بهره‌وری آب پایین باشد. بنابراین، استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندمعیاره در تعیین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی به مدیران این امکان را می‌دهد که محصولاتی را در الگوی کشت زراعی قرار دهند که حتی‌الامکان در راستای پوشش دادن آرمان‌های اقتصادی و پایداری منابع آب قرار داشته باشند. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، همچنین پیشنهاد می‌شود که با اجرای موردی پروژه‌های الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در سطح بنگاه‌های اقتصادی در مناطق مختلف کشور، دستیابی هم‌زمان به اهداف مختلف و بعضاً متضاد با آرمان‌های اقتصادی همچون آرمان‌های مرتبط با زیست‌بوم و کشاورزی پایدار نیز از طریق ترویج و آموزش یافته‌های علمی برای بهره‌برداران کشاورزی مورد هدف قرار گیرد. در نهایت، بر اساس نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌شود که به‌منظور افزایش سودآوری در مزارع شرکت مزرعه نمونه گرگان و ارتقای بهره‌وری آب به صورت همزمان، محصولات گندم، کلزا، پنبه، ذرت و یونجه به‌عنوان محصولات اصلی الگوی کشت در برنامه‌ریزی تولید سال‌های آتی مورد توجه قرار گیرند.

۵- تشکر

این مقاله از طرح مطالعاتی مصوب در مرکز تحقیقات و نوآوری سازمان اتکا استخراج شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از کارکنان این مرکز جناب آقایان مهندس انصاری، مهندس رستمی و مهندس رضایی و مدیریت تحقیقات معاونت طرح و برنامه شرکت مزرعه نمونه گرگان جناب آقایان مهندس اسدی و دکتر سلیمیان که این‌جانبان را در انجام و ارتقاء کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام نمایند.

پی‌نوشت‌ها

1- Mathematical Programming Methods
2- Multiple-Criteria Decision Analysis
3- Fuzzy
4- Fuzzy Multiple-Criteria Linear Programming
5- General Algebraic Modeling System (GAMS)
6- Solvers
7- Weighted Goal Programming (WGP)
8- Gross Margin

۹- خالص انرژی تولیدی عبارت از تفاضل انرژی خروجی (انرژی تولیدی) و مجموع انرژی ورودی برای تولید محصولات موردنظر در هر هکتار تولید محصول است که توضیحات مربوط به آن در متن آمده است.

10- Water Use Intensity
11- Input Oriented
12- Output Oriented

۱۳- به‌منظور محاسبه میزان مصرف کودهای شیمیایی مورد استفاده در واحد سطح، از مجموع آن‌ها برحسب واحد کیلوگرم استفاده شده است و هزینه‌های مربوط به هر واحد از کودهای مورد استفاده نیز به‌صورت وزنی محاسبه شده است.

۶- مراجع

Adeyemo J, Otieno F (2010) Differential evolution algorithm for solving multi-objective crop planning model. Agricultural Water Management 97:848-856

Asaadi Mehrabani M, Banihabib M, Roozbahany A (2018) Fuzzy linear programming model for the optimization of cropping pattern in Zarrinehroud basin. Journal of Iran-Water Resources Research 14(1):13-24 (In Persian)

Balali h (2010) Effect of precious and agricultural policies on sustainability of groundwater resources: a case study of Bahar Hamedan plain. Ph.D. thesis in Agricultural Economics, College of Agriculture, Tarbiat Modares University (In Persian)

Baradaran Sirjani F, Kohansal M, Sabouhi M (2015) Application of two-stagesmulti-objective fuzzy linear programming model to develop optimal cropping pattern (Case study: central district of Mashhad). Journal of Agricultural Economics & Development 28(4):368-376 (In Persian)

Birhanu K, Alamirew T, Olumana M, Ayalew S, Aklog D (2015) Optimizing cropping pattern using chance constraint linear programming for Koga irrigation dam, Ethiopia. Irrigation Drainage System Engineering 4(134):2168-9768

Charnes A, Cooper W (1961) Management models and industrial applications of linear programming. New York, NY: Wiley 4(1)

Nasabian S, Mohammadi H, Keikha A (2014) Influence of crop pattern correction on reducing fertilizer's effects of agricultural activities: a case study in Fars Province. Journal of Environmental Science and Technology 16(3):75-91 (In Persian)

Parhizkari A, Mozafari M, Hoseini Khodadadi M (2015) Optimization the cropping pattern in order to protection and sustainability of environmental in Alamut western region (An approach of lexicographic goal programming). Journal of Natural Environment 68(3):373-385 (In Persian)

Rafiee V, Shourian M, Attari J (2017) Optimum multi crop pattern planning by integration of SWAT simulation model and the harmony search optimization algorithm. Journal of Iran-Water Resources Research 13(3):73-88 (In Persian)

Sabouhi Sabouni M (2012) The application of mathematical programming in agricultural economics with the emphasis on the use of Excel software. Nure-Elm Press (In Persian)

Safavi H, Alijanian A (2011) Optimal crop planning and conjunctive use of surface water and groundwater resources using Fuzzy dynamic programming. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 137(6):383-397

Shirzadi S, Sabouhi Sabouni M (2015) Evaluation of stability and balance of aquifer: Case study of Neishabur. Journal of Agricultural Economic Research 6(24):107-128 (In Persian)

Thankappan S, Midmore P, Jenkins T (2006) Conserving energy in smallholder agriculture: A multi-objective programming case-study of northwest India. Journal of Ecological Economics 56:190-208

XieTing Z, ShaoZhong K, FuSheng L, Lu Zh, Ping G (2010) Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. Agricultural Water Management 98(1):134-142

Zahedi Sh, Najafi GH (2006) Conceptual expansion of sustainable development. Journal of Moderator of Human Sciences 10(4):43-76 (In Persian)

Zamani O, Ghaderzadeh H, Mortazavi S (2014) Cropping pattern system respect to sustainable agriculture and optimum use of energy "A case of Saqez county of Kurdistan Province". Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 74(1):31-43 (In Persian)

Erfanifar S, Zibaei M, Kasraei M (2014) Application of multio-bjective fuzzy goal programming to optimize cropping pattern with emphasis on using conservation tillage methods. Journal of Agricultural Economics & Development 28(2):118-124 (In Persian)

Falahi E, Khalilian S, Ahmadian M (2013) Optimizing cropping pattern with emphasis on water resource restrictions: a case study of Seidan-Farough plain, Marvdasht township. Journal of Agricultural Economic Research 5(18):91-115 (In Persian)

Ghanbari Y, Barghi h (2008) Main challenges in Iranian sustainable agriculture development. Journal of development Strategy 16:234-218 (In Persian)

Gholami Z, Ebrahimian H, Noori H (2016) Investigation of irrigation water productivity in sprinkler and surface irrigation systems (Case study: Qazvin Plain). Journal of Irrigation Science and Engineering 39(3):135-146 (In Persian)

Hatirli S, Ozkan B, Fert C (2006) Energy inputs and crop yield relationships in greenhouse winter crop tomato production. Journal of Renewable Energy 31:427-438

Kazemi H, Zare S (2014) Investigation and comparison of energy flow in wheat fields of Gorgan and Marvdasht townships. Journal of Cereal Research 4(3):211-227 (In Persian)

Kiani GH, Seyedi Wind N (2013) Analysis of water consumption pattern in Iran using numeric index. Journal of Natural Resources Economics 2(2):30-22 (In Persian)

Luyanga S, Miller R, Stage J (2006) Index number analysis of Namibian water intensity. Journal of Ecological Economics 57:374– 381

Mehregan M (2013) Decision making models with multiple goals. Tehran University Press (In Persian)

Mohammadi H, Sargazi A, Dehbashi V, Poudineh M (2016) Optimization of cropping pattern with an emphasis on social benefits in the rational exploitation of water (A case study of Fars province). Journal of Environmental Science and Technology 17(4):107-115 (In Persian)

Mortazavi S, Alipour A, Ghorbani M (2016) Examining factors affecting the sub-vector water efficiency in wheat production: a radial basis function artificial neural network and the Tobit model. Journal of Economic Research 16(2):117-135 (In Persian)