

Management of Irrigation Water Allocation and Cropping Pattern with Emphasis on Deficit Irrigation Strategy Case Study: Qazvin Irrigation Network

M.A. Asaadi¹, S. Khalilian^{2*} and S.H. Mosavi³

Abstract

Considering the limitation of water resources and their value in agriculture, the use of any alternative for efficient consumption and optimal use of existing water is essential. One of these solutions is Deficit irrigation. The purpose of this study was to evaluate how different percentages of reduction in water consumption in different growing stages as deficit irrigation scenarios affect the Optimization of Water Use and dominant cropping pattern (Wheat, Barley, Sugar beet, Forage Corn, Maize corn and Alfalfa) in Qazvin plain irrigation network. In order to maximize farm income, the Positive Mathematical Programming (PMP) method was used along with the method of Maximum Entropy (ME) based on the reaction functions of the products yield to water in the space of other constraints. The required information for this research was obtained by using two-stage cluster sampling method through completing 144 questionnaires in farming years of 2015-2016. Results showed that by applying deficit irrigation at best condition (Reduction of 5% deficit irrigation at the Ripening stage for Wheat, Barley, Corn forage, Maize and sugar beet and 5% deficit irrigation at vegetative growth stage for Alfalfa), despite the 5.2% saving in water consumption, it is possible to increase farm income by 0.4%. On the other hand, depending on the severity of the crisis and the amount of the water scarcity, different decisions to determine the deficit irrigation strategy and the region's cultivation pattern would be made. This mean that if more water conservation is desired, the results of the second and third scenarios are best options for the optimal use of land resources and the minimum water consumption. The result also showed that the total area under cultivation of the selected products has decreased in comparison to the base year and lands have changed to uncultivated and fallow lands which in turn reduces the pressure on land resources and increases the possibility of tillage and soil conservation.

Keywords: Deficit Irrigation, Management Solution, Positive Mathematical Programming, Cropping Pattern.

Received: January 2, 2018

Accepted: June 18, 2018

مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت با تأکید بر راهبرد کم آبیاری مطالعه موردی: شبکه آبیاری قزوین

محمدعلی اسعدی^۱، صادق خلیلیان^{۲*} و سیدحسین اله موسوی^۳

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب و ارزش آن در کشاورزی، به کارگیری هر راهکاری برای صرفه جویی در مصرف و استفاده بهینه از آب موجود امری مهم و ضروری است. یکی از این راهکارها کم آبیاری می باشد. هدف این مطالعه، ارزیابی اثر درصدهای مختلف کاهش آب مصرفی در دوره های مختلف رشد به عنوان سناریوهای کم آبیاری بر بهینه سازی مصرف آب و الگوی کشت غالب (گندم، جو، چغندر قند، ذرت دانه ای، ذرت علوفه ای و یونجه) در شبکه آبیاری دشت قزوین می باشد. به منظور بهینه کردن درآمد مزرعه، از روش برنامه ریزی ریاضی اثباتی (PMP) به همراه روش حداکثر آنترپی (ME) مشروط بر توابع واکنش عملکرد محصولات نسبت به آب در فضای سایر محدودیت ها، استفاده شد. اطلاعات مورد نیاز این پژوهش با استفاده از روش نمونه گیری خوشه ای دو مرحله ای از طریق تکمیل ۱۴۴ پرسشنامه در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ بدست آمد. نتایج نشان داد که با اعمال کم آبیاری در بهترین حالت یعنی سناریوی اول (کاهش ۵ درصد کم آبیاری در مرحله رسیدن برای محصولات گندم، جو، ذرت علوفه ای، ذرت دانه ای و چغندر قند و ۵ درصد کم آبیاری در مرحله رشد رویشی محصول یونجه)، علی رغم صرفه جویی در مصرف آب به میزان ۵/۲ درصد، امکان افزایش درآمد مزرعه به میزان ۰/۴ درصد وجود دارد. از طرفی دیگر، بسته به شدت بحران و مقدار کمبود آب، تصمیم گیری برای تعیین راهبرد کم آبیاری و الگوی کشت منطقه متفاوت است، به نحوی که اگر بیشتر حفاظت منابع آب منطقه مورد نظر باشد، نتایج سناریوهای دوم و سوم، بهترین گزینه برای استفاده بهینه از زمین و کمینه آب موجود خواهد بود. از دیگر نتایج این تحقیق، در مجموع سطح زیر کشت محصولات منتخب نسبت به سال پایه کاهش و به صورت کشت نشده و آیش درآمده است که به نوبه ی خود فشار بر زمین را کاهش و امکان عملیات خاک ورزی و حفاظت خاک را افزایش می دهد.

کلمات کلیدی: کم آبیاری، راهکار مدیریتی، برنامه ریزی ریاضی اثباتی، الگوی کشت.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۳/۲۸

1- Ph.D. Student, Department of Agricultural Economics Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Department of Agricultural Economics Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: khalil_s@modares.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۸ امکان پذیر است.

۱- مقدمه

در نگرش جهانی، آب کالایی اقتصادی-اجتماعی است و به‌عنوان نیاز اولیه انسان محسوب می‌شود. آب گنجینه مشترک میان انسان‌هاست که باید به نحوی آن را مدیریت کرد تا به نسل‌های بعدی سپرده شود و اهمیت آن تا جایی است که آب یکی از بزرگترین چالش‌های بشریت به حساب آمده و نبود آن سرمنشأ بسیاری از تحولات سیاسی، اجتماعی و فرهنگی و حتی مناقشات مهم جهان است. افزایش مصرف و تخریب منابع آب در مرحله نخست بر زندگی افراد فقیر و مستمند اثر می‌گذارد. به‌نوبه خود فقر، کم‌آبی و بیماری‌ها و واژه‌های برگرفته از عدم توسعه می‌باشند و تخریب منابع آب به‌منزله تخریب پایه‌های توسعه است (Iran Water Resources Management Company, 2009). با توجه به سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی و محدودیت این منبع مهم و حیاتی و وجود خشکسالی‌های متناوب در کشور، صرفه‌جویی در مصرف و استفاده بهینه از آب موجود امری ضروری است و در این زمینه، انتخاب روش‌های مناسب برای بیشینه کردن محصول تولیدی به ازای مصرف هرچه کمتر آب ضروری است (Sepaskhah et al., 2008). امروزه تکنیک کم‌آبیاری یکی از راه‌های مؤثر و عملی است که می‌تواند حداقل آب مصرفی را با عملکرد قابل قبول و اقتصادی تعیین و توجیه کند (English et al., 1990) و به‌عنوان یک استراتژی درآمدمند اقتصادی در وضعیت بحران آب، همچنین به‌عنوان راهکار مصرف آب کمتر باهدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی و ذخیره آب صرفه‌جویی برای توسعه کشاورزی یا توسعه دیگر بخش‌های مصرف مطرح است (Salemi et al., 2011). در راهبرد کم‌آبیاری، گیاه بر اساس یک سطح مشخص از مقدار آب، تحت تنش آبیاری قرار می‌گیرد. این تنش آبی می‌تواند در کل دوره رشد گیاه و یا در بازه‌های زمانی کوتاه‌تر در میانه‌ی دوره رشد صورت پذیرد. در صورت استفاده منطقی و مدیریت‌شده از روش کم‌آبیاری، میزان کاهش عملکرد محصول برابر منفعت حاصل از مقدار آب ذخیره‌شده ناچیز خواهد بود و به کمک مقدار آب صرفه‌جویی شده می‌توان سطح زیرکشت محصول را افزایش داد و کاهش ناچیز عملکرد را جبران کرد (Dookohki et al., 2012).

پیرو این ضرورت در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی به ارزیابی سیاست‌های مختلف کم‌آبیاری در خارج و داخل کشور پرداخته‌اند که عمدتاً از روش‌های برنامه‌ریزی که قابلیت بالایی در شبیه‌سازی محدودیت‌های دنیای واقعی و عکس‌العمل زارعین در تجزیه و تحلیل سیاست‌های بخش کشاورزی برخوردارند، استفاده شده است. امروزه مدل‌های برنامه‌ریزی به‌صورت گسترده برای کمک به بهره‌برداران جهت مدیریت بهینه مزرعه بکار می‌رود و یک ابزار مهم در تحلیل‌های

اقتصاد کشاورزی می‌باشد (Paris and Bakhshi et al., 2010). بهره‌گیری از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در اقتصاد کشاورزی، برای تعیین الگوی بهینه کشت، تخصیص نهاده‌های تولید و تحلیل سیاست‌های قیمتی و غیر قیمتی پیشینه درازمدتی دارد (Sabohi et al., 2006). بر اساس نوعی طبقه‌بندی متداول، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی به دو گروه دستوری و اثباتی تقسیم می‌شوند. در مدل‌های دستوری (NMP^1)، قضاوت ارزشی در مورد آن‌گونه که اقتصاد باید باشد صورت می‌گیرد یا اینکه چه سیاستی برای رسیدن به هدف موردنظر توصیه می‌شود حال آنکه در مدل‌های اثباتی (PMP^2)، بر حقایق و روابط علت و معلولی تأکید شده و بسط و آزمون تئوری‌های اقتصادی مدنظر قرار می‌گیرد. با مقایسه مدل‌های دستوری و اثباتی می‌توان گفت که مدل‌های دستوری بر آنچه باید باشد و مدل‌های اثباتی بر آنچه هست تمرکز دارد (Bakhshi, 2009). همچنین در مدل‌های NMP یک جواب بهینه از بین جواب‌های ممکن اتخاذ می‌شود. در این مدل‌ها اغلب جواب حاصله، تخصیص فعلی نهاده‌ها بین فعالیت‌های تولیدی را بازتولید نمی‌کند و به دلیل وجود تفاوت چشمگیر بین جواب بهینه مدل و الگوی کشت فعلی، عکس‌العمل بهره‌برداران را به‌درستی نشان نمی‌دهد، لذا در حالت کلی تحلیل بر اساس این مدل‌ها معتبر نمی‌باشد، درحالی‌که در مدل‌سازی PMP به دلیل وجود مکانیزم کالیبراسیون مناسب، وضعیت پایه بازتولید شده و به نتایج به‌دست‌آمده اعتبار می‌بخشد (Bakhshi et al., 2010). بنابراین نکته قابل توجه در مدل‌های PMP ، افزایش اطمینان با اجتناب از تفاوت بین موقعیت پایه و فعلی و موقعیت پایه شبیه‌سازی و نیز بازسازی رفتار کشاورزان در محیط ویژه آنها بر اساس داده‌های کمی می‌باشد که در فرآیند تصمیم مزرعه (استفاده از زمین و مقدار تولید)، موجود هستند (Gharaghani et al., 2009).

(Mushtaq and Moghaddasi, 2011) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی در حوضه‌ی آبریز ماری دارلینگ استرالیا به بررسی اثرات کم‌آبیاری در پاسخ به تغییرات اقلیم و تقاضای آب محیط‌زیست پرداختند. در این تحقیق سه سناریو مورد مقایسه قرار گرفت: بهینه‌سازی با آبیاری کامل، بهینه‌سازی با کم‌آبیاری و کم‌آبیاری بدون بهینه‌سازی. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری در به حداکثر رساندن بازده ناخالص و افزایش کارایی مصرف آب، مؤثر می‌باشد. (Cortignani and Severini, 2009) به بررسی تأثیر افزایش هزینه تأمین آب، کاهش آب قابل دسترس و تغییر در قیمت محصولات کشاورزی را با در نظر گرفتن فناوری کم‌آبیاری بر الگوی کشت در کشور ایتالیا با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی پرداختند. این محققین معتقدند، که افزایش هزینه‌های آب باعث ایجاد انگیزه در استفاده از فناوری کم‌آبیاری نمی‌شود، ولی کشاورزان در زمانی که آب

آبیاری در الگوی جاری و کاهش سطح زیر کشت تا سطح استفاده از موجودی آب، امکان افزایش درآمد برای مزرعه نماینده وجود دارد.

(Soltani and Mosavi, 2015) به بررسی راهبرد کم‌آبیاری تحت سه پیش‌فرض ۳، ۵ و ۱۰ درصد و همچنین بهبود فناوری‌های آبیاری در بخش کشاورزی دشت همدان-بهار پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که میزان کاهش درآمد در پیش‌فرض‌های ۳ و ۵ درصد کم‌آبیاری، به ترتیب برابر ۳/۶ و ۴ درصد خواهد بود که در هر دو حالت، میزان کاهش درآمد کمتر از حالت بدون اعمال سیاست کم‌آبیاری است. اما در پیش‌فرض ۱۰ درصد کم‌آبیاری، ارزش اقتصادی آب به میزان کمتری افزایش می‌یابد. همچنین در پیش‌فرض ۱۰ درصد کم‌آبیاری، به دلیل اینکه میزان کاهش درآمد ناخالص بیش از میزان کاهش درآمد ناخالص بدون اعمال پیش‌فرض کم‌آبیاری بوده است، لذا این پیش‌فرض بهینه نمی‌باشد و توصیه نمی‌شود. همچنین در خصوص کاربرد راهبرد کم‌آبیاری می‌توان به مطالعات (Jalilian et al., 2001) در کرمانشاه در مورد بررسی چغندرقتند، (Tavakoli, 2003) در مراغه بر روی محصول گندم آبی رقم الموت، (Esmaeili and Golchin, 2005) در استان زنجان بر روی محصول آفتابگردان، (Shirvanian et al., 2014) بر روی پنبه، (Kiani and Saberi, 2014) بر روی ذرت شیرین، (Kashiani et al., 2011) بر روی ذرت شیرین، (Fathi and Zibaei, 2012) و (Mirzai and Ahmadpour Borazjani, 2016) نیز اشاره کرد.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی ابزار مهم و مناسبی برای تحلیل و توسعه سیاست‌های کاربردی در بخش کشاورزی می‌باشد. از طرفی دیگر با توجه به پژوهش‌های بررسی شده، چنین برمی‌آید، کمبود و استفاده نامناسب از منابع آب به‌ویژه در بخش کشاورزی باعث گرایش مطالعات اعم از داخلی و خارجی به سمت استفاده از سیاست‌های مختلف کاهش مصرف آب شده است. در بیشتر مطالعات، محققان تأثیر کم‌آبیاری بر الگوی کشت عموماً به‌صورت کاهش میزان کل منابع آب در دسترس کشاورزان و یا بصورت یکنواخت بر مراحل رشد محصول اعمال کرده‌اند و تأکید این تحقیقات بیشتر بر تغییر الگوی کشت از گیاهان پرمصرف به گیاهان کم‌مصرف از لحاظ نیاز آبی بوده است. در صورتی که کشاورزان کمتر تمایل دارند چنین تغییراتی در الگوی کشت بدهند.

در حال حاضر دشت قزوین از جمله مناطقی از کشور است که با بحران آب و کمبود شدید آب مواجه است. استان قزوین با داشتن سومین دشت کشاورزی در کشور جایگاه خاصی در تأمین مواد غذایی کشور دارد. برداشت بیش‌ازحد و وجود بیش از ۲۵۰۰ حلقه چاه غیرمجاز در

در دسترس کاهش می‌یابد و یا اینکه هزینه تأمین آب افزایش می‌یابد، در راستای صرفه‌جویی و ذخیره آب تمایل به استفاده از روش کم‌آبیاری دارند. در مطالعه‌ای دیگر، از یک مدل بهینه‌سازی اقتصادی برای بررسی اثرات کم‌آبیاری بر تولید محصولات زراعی در تایلند استفاده شد. نتایج نشان داد که با بکارگیری تکنیک کم‌آبیاری ۲۵ درصد، حجم آب مصرفی از ۴۲ به ۲۰ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد (Mainuddian et al., 2006).

(Parhizkari et al., 2016) به بررسی اثرات کم‌آبیاری تحت سه روش آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۵ درصد و کم‌آبیاری ۱۰ درصد بر الگوی کشت و درآمد ناخالص کشاورزان استان قزوین با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی پرداختند. نتایج حاصل از تخمین توابع تولید نشان داد که روش کم‌آبیاری ۵ درصد سبب کاهش ناچیز عملکرد محصولات می‌شود، اما روش کم‌آبیاری ۱۰ درصد بر عملکرد اغلب محصولات الگو اثر منفی می‌گذارد، به‌گونه‌ای که همزمان با اعمال سیاست کاهش آب قابل دسترس تا سطح ۴۰ درصد، مقدار درآمد به‌ترتیب ۷ و ۳۲ درصد کاهش خواهد یافت. (Zamanian et al., 2015) در پژوهش خود، آثار مختلف کاهش میزان آب مصرفی و افزایش قیمت دو نهاده کود و آب، بر الگوی کشت با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی مبتنی بر رهیافت بیشترین بی‌نظمی در دشت خمین واقع در استان مرکزی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد، اعمال سیاست افزایش هزینه‌های دو نهاده آب و کود، کاهش تنوع الگوی کشت را به همراه داشته است. بدین ترتیب که مقدار شاخص تنوع الگوی کشت برای مزارع کمتر از ۵ هکتار به ترتیب برابر با ۰/۴۹ و ۰/۶ و برای مزارع بیشتر از ۵ هکتار ۰/۷ و ۰/۷۷۵۱ به دست آمد.

(Shamseadini et al., 2013) در مطالعه خود به بررسی تعیین الگوی بهینه کشت در شرایط کم‌آبیاری با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی در منطقه سپیدان پرداختند. یافته‌های تحقیق نشان داد که با اتخاذ سیاست کاهش در موجودی آب مصرفی، الگوی کشت بهینه در شرایط کم‌آبیاری در سطح ۵ درصد، نسبت به حالت مینا تغییر چندانی نمی‌یابد. همچنین کاهش آب مصرفی به میزان ۱۰ درصد باعث تغییر الگوی کشت کشاورزان و کاهش درآمد آنان خواهد شد (Boostani et al., 2011). در مطالعه‌ای به بررسی رابطه استفاده از روش کم‌آبیاری با انتخاب الگوی کشت بهینه فرآورده‌های کشاورزی در شرایط بحران آب در شهرستان فسا استان فارس پرداختند. به‌منظور پیشینه کردن درآمد خالص مزرعه از یک الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی مشروط بر تابع واکنش عملکرد محصولات نسبت به آب در شرایط امکان تأمین ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد موجودی آب نسبت به وضعیت جاری استفاده گردید. نتایج نشان دادند که با اعمال آبیاری کامل به‌جای کم

تغییر شود که این مهم نیز منجر به کاهش امنیت غذایی و تحت تأثیر قرار گرفتن شاخص‌های اقتصادی می‌شود. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

با توجه به اهمیت این موضوع، در این مطالعه سعی بر این شده است تا با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) طی چند سناریو در راستای حفاظت از منابع آب، به‌عنوان یک راهکار در کاهش مصرف این نهاده و برون‌رفت از بحران کم‌آبی در شبکه آبیاری دشت قزوین، تأثیر سناریوهای مختلف کم‌آبیاری در مراحل کم حساس رشد محصول (بصورت غیریکنواخت در دوره‌های تفکیک‌شده رشد) بر الگوی کشت، بازده برنامه‌ای و مصرف آب مورد بررسی قرار گیرد تا سیاست‌گذاران بخش کشاورزی استان را در انتخاب رهیافت‌های مناسب به‌منظور افزایش کارایی مصرف نهاده آب و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف نامتعادل این نهاده یاری رساند.

۲- روش تحقیق

یکی از اهداف مهم سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان به‌ویژه سیاست‌گذاران بخش کشاورزی، آگاهی از نتایج اجرای سیاست‌های مختلف و واکنش کشاورزان به آنهاست لذا به دنبال مدل‌هایی هستند که بتواند با اطمینان بالایی آنها را به این هدف برساند (Razzaghiy et al., 2015). روش مرسوم برای شبیه‌سازی تصمیمات تولیدکنندگان این است که الگویی را که محدودیت‌ها، فرصت‌ها و اهداف شرایط موجود را منعکس می‌کند، ایجاد نموده و سپس تحت فروض ناشی از اجرای سیاست مورد نظر حل گردد (Bauer, 1988).

استان با حجم برداشت ۳۵۰ میلیون مترمکعب افت مستمر سطح آب زیرزمینی را در پی داشته است که این افت آثار نامطلوبی در منطقه به دنبال دارد که از جمله می‌توان به کاهش شدید آبدهی چاه‌ها، خشک شدن قنات، شور شدن آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آب، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی، از بین رفتن کیفیت خاک، تحمیل هزینه‌های زیاد بر دوش مالکان، ایجاد مشکل اساسی در تأمین آب شرب شهرها و روستاها و درنهایت فرونشست زمین در مناطقی از دشت قزوین اشاره کرد (Ghazvin Regional Water Authority, 2014). بر اساس اطلاعات سال ۱۳۹۳، بیلان دشت قزوین ۳۲۰ میلیون مترمکعب (-۳۲۰) است. با توجه به محدود بودن منابع آب و همچنین برداشت بی‌رویه از آن، ارتفاع سطح آب زیرزمینی در این دشت به‌طور مداوم در حال کاهش است به‌صورتی که در بعضی مناطق استان (بوئین زهرا)، افت سالیانه سطح آب زیرزمینی در این دشت به ۱/۵ متر می‌رسد (Ghazvin Regional Water Authority, 2015). بررسی الگوی زراعی شبکه آبیاری دشت قزوین نشان از این واقعیت دارد که ترکیب زراعی آبی رایج منطقه عمدتاً شامل گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای، چغندرقد و یونجه می‌باشد، به‌طوری که محصولات منتخب ۸۹ درصد کل سطح زیرکشت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند (Ghazvin Organization of Agriculture, 2015). به دلیل نیاز آبی بالای این محصولات و با توجه به وضعیت کمبود منابع آب در منطقه، به نظر می‌رسد که در بلندمدت، انتخاب محصولات مذکور برای کشت در این منطقه، مطلوب نخواهد بود. لذا هرگونه مطالعه و تحقیقی که بتواند موجب کاهش مصرف آب و رهایی از این بحران شود ضروری است. در صورت تداوم شرایط بحرانی پدید آمده، این انتظار وجود دارد که میزان دسترسی به نهاده آب و نیز تولید اغلب محصولات کشاورزی در این دشت دستخوش

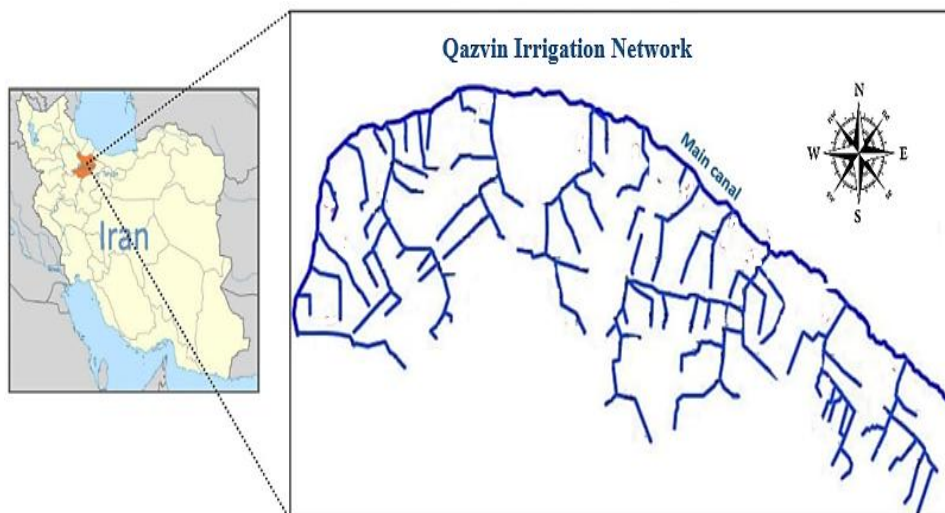


Fig. 1- The geographical location of the study area

شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در مطالعه حاضر از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) به منظور ارزیابی دقیق آثار سیاست‌های کم‌آبیاری بر قسمت‌های مختلف نظام کشاورزی و به‌ویژه تغییرات احتمالی در مصرف نهاده‌ها و تغییرات الگوی کشت استفاده شده است. این روش در سال‌های اخیر مورد توجه محققان اقتصاد کشاورزی قرار گرفته و کاربردهای گسترده‌ای در بررسی اثرگذاری‌های زیست‌محیطی و تحلیل سیاست‌های کشاورزی داشته است (Paris, 2001). PMP برای اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط Howitt معرفی شد (Howitt, 1995; Sabohti et al., 2007).

اولین گام در ساختن مدل برنامه‌ریزی ریاضی تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری یا فعالیت‌هاست. به دلیل مشکلات کمبود آب، در انتخاب استراتژی‌های مناسب توجه به بیشینه کردن محصول تولیدی به ازای مصرف هر چه کمتر آب ضروری است. با توجه به منابع محدود می‌توان راهبردهای کم‌آبیاری را نیز مانند راهبردهای آبیاری کامل برای گیاهان مختلف، در مدل‌های تخصیص بهینه آب و زمین به کار برد. به دلیل آنکه درآمد کشاورزان تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله عملکرد محصول است و با توجه به اینکه عملکردهای مشاهده‌شده در سطح مزرعه علاوه بر عوامل جوی، از سیاست‌های حاکم بر بخش کشاورزی نیز متأثر می‌باشد (به‌طور مثال سیاست‌های قیمت‌گذاری نهاده‌های اعتبارات و کود بر سطح مصرف این عوامل و در نتیجه بر عملکرد محصول نیز مؤثر است). لذا، می‌توان گفت عملکرد مشاهده شده در واقع عملکردی غیرواقعی است و در نتیجه برای تعیین دقیقتر درآمد مزرعه، تعیین عملکردی لازم به نظری رسد که متأثر از این سیاست‌ها نیست و صرفاً تابعی از رابطه آب و خاک و گیاه است (Sabohti et al., 2007). در این بخش روابط مورد استفاده در محاسبات مربوط به کاهش عملکرد و به عبارتی رابطه بین مصرف آب و عملکرد با سطوح مختلف کم‌آبیاری ارائه شد. این تکنیک با استفاده از مدل‌های کشاورزی ارائه شده فائو محاسبه و اعمال شده است. در این راستا برای تخمین عملکرد محصول رابطه (۱) توسط Stewart (1978) پیشنهاد و توسط دورنوس و کاسام تصحیح گردیده و به‌قرار زیر نوشته می‌شود (Doorenbos and Kassam, 1979; Allen et al., 1998; Meyer et al., 1993):

$$Y_a = Y_p \left[1 - KY_i \left(1 - \frac{W_a}{W_p} \right)_i \right] \quad (1)$$

که در آن Y_p و Y_a به ترتیب حداکثر محصول تولیدی در شرایط بدون تنش آبی و مقدار محصول واقعی در شرایط تنش آبی (شرایط واقعی)، i : مرحله مشخصی از رشد، n : تعداد مراحل رشد و KY_i : ضریب واکنش عملکرد نسبت به تنش آبی در مرحله رشد i یا عامل کاهش محصول نامیده می‌شود. (Najarchi et al. (2011) با استفاده از اطلاعات ۱۰ ساله از منطقه سد طالقان میزان ضریب واکنش گیاه در مراحل

مختلف رشد (KY_i) برای محصولات گندم، ذرت علوفه‌ای و جو را تعیین کردند و میزان محصول را در حد قابل قبولی تخمین زدند. همچنین مقدار این ضرایب برای سایر محصولات الگوی مورد نظر (گندم، ذرت دانه‌ای، چغندر و یونجه) در نشریه شماره ۳۳ سازمان خواروبار جهانی (FAO) گزارش شده است (Doorenbos and Kassam, 1979). W_p ، حداکثر آب آبیاری مورد نیاز گیاه و W_a ، مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه که در دوره‌های مختلف رشد مقدار آن در شرایط آبیاری کامل برابر $W_p = W_a$ و در شرایط اعمال کم‌آبیاری از طریق رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$W_{ai} = (1 - h)W_{pi} \quad (2)$$

که در آن h : مقدار کاهش نسبی مصرف آب در کل دوره رشد (کوچکتر یا مساوی یک) است. رابطه فوق در هر یک از مراحل مختلف رشد اعمال می‌شود. لازم به ذکر است که باتوجه به اطلاعات بدست آمده از پرسشنامه، مقدار متوسط آب مصرفی و عملکرد محصولات به ترتیب به‌عنوان W_p و Y_p در تابع فوق لحاظ گردید.

با توجه شرایط بارندگی سال‌های آینده و احتمال گسترش خشکسالی و لزوم حفاظت بیشتر این منبع حیاتی در بلندمدت، در مطالعه حاضر برای تحلیل اثرات سیاست‌های کم‌آبیاری تحت سناریوهای مختلف سعی بر این شد که حداکثر مقدار کاهش آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل برای محصولات منتخب تا ۲۵ درصد اعمال و مورد بررسی قرار گیرد. اعمال کم‌آبیاری در پنج سطح ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد در مراحل مختلف رشد از جمله مرحله رشد رویشی^۳، مرحله گل‌دهی^۴، مرحله شکل‌گیری عملکرد^۵ و مرحله رسیدن دانه‌ها^۶ برای شش محصول گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، چغندر، ذرت دانه‌ای و یونجه در نظر گرفته شد. محصولات منتخب مطالعه حاضر، ۸۹ درصد کل سطح زیر کشت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. اطلاعات تفصیلی راجع به طول دوره مراحل چهارگانه رشد محصولات زراعی منتخب منطقه مورد مطالعه، تاریخ کاشت و مقدار آب مصرفی در جدول ۱ گزارش شده است. لازم به ذکر است که تنش در مرحله گلدهی برای محصول چغندر معنا ندارد و در این مرحله بصورت آبیاری کامل در مدل اعمال شد. از طرف دیگر از چهار مراحل رشد برای محصول یونجه فقط مراحل رشد رویشی (مرحله آغازین) و گلدهی (مرحله پایانی) برای این محصول معنا دارد و در مرحله گلدهی برداشت محصول صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که در این مطالعه، از میان نتایج سناریوهای مختلف و بر مبنای تابع هدف (درآمد ناخالص) فقط نتایج سه سناریوی برتر گزارش شده است.

Table 1- Specifications of crops, gross irrigation water and planting date of selected products

جدول ۱- مشخصات محصولات زراعی، مقدار آب مصرفی و تاریخ کشت محصولات منتخب

Crops	growing stages (day)				growing period (day)	Planting date	Water consumption (m ³)
	Vegetative growth	Flowering	Yield formation	Ripening			
Wheat	110	59	62	30	261	10th of Mehr to 20th of Azar	7000
Barley	110	59	41	30	240	10th of Mehr to 20th of Aban	5500
Maize	20	42	51	30	143	15th of Ordibehesht to 10th of Khordad	12000
Forage Corn	20	32	20	18	90 ¹ -130 ²	15th of Ordibehesht to 15th of Tir	11000
Beet	31	42	51	42	166	20th of Esfand to 10th of Khordad	15000
Alfalfa	6	18	-	-	5-6 years	10th of Mehr to 10th of Aban	16000

Source: EbrahimiPak (2016), Central Union of Rural Agricultural Cooperatives of Iran's (1- First cultivation, 2- Second cultivation)

مأخذ: ابراهیمی پاک (۱۳۹۵)، اتحادیه مرکزی تعاونی‌های روستایی و کشاورزی ایران (۱- کشت اول، ۲- کشت دوم)

محدودیت‌های منابع و واسنجی است. در این مرحله پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی مقادیر دوگان (قیمت‌های سایه‌ای) برای محدودیت‌های منابع و واسنجی به دست می‌آیند (Howitt et al., 2012).

$$\text{Max GM} = \sum_{i=1}^n (P_i Y_i - CW_i - \sum_{j=1}^m C_j) X_i \quad (3)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} X_i \leq b_j \quad \forall_j \quad (4)$$

$$X_i \leq X_i^* + \varepsilon \quad \forall_i \quad [\lambda] \quad (5)$$

$$X_i \geq 0 \quad \forall_i \quad [\rho] \quad (6)$$

که در رابطه (۳)، GM ارزش تابع هدف می‌باشد که بایستی حداکثر شود. تعریف پارامترها و متغیرهای مدل در جدول ۲ قابل مشاهده است. اضافه کردن محدودیت واسنجی به مدل باعث می‌شود که جواب بهینه‌ی برنامه‌ریزی خطی دقیقاً سطح فعالیت‌های مشاهده شده در سال پایه را به دست دهد (Heckelei, 2002).

مرحله دوم: برآورد تابع تولید غیرخطی درجه دوم به کمک رهیافت حداکثر آنتروپی (ME)

در این مرحله، مقادیر دوگان به دست آمده از مرحله اول برای واسنجی پارامترهای تابع تولید غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به گونه‌ای که سطوح فعالیت مشاهده شده در دوره پایه به وسیله الگوی غیرخطی یاد شده و بدون استفاده از محدودیت‌های کالیبراسیون بازتولید شود. تابع هدف غیرخطی در مرحله دوم از راه قرار دادن یک تابع غیرخطی و یا یک تابع هزینه غیرخطی در تابع هدف مدل مرحله نخست بدست می‌آید. در این مطالعه مطابق با الگوی ارائه شده توسط Howitt and

برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی یک روش تحلیل تجربی است که از تمام اطلاعات موجود فارغ از این که به چه میزان کمیاب هستند، استفاده می‌کند و در تحلیل‌های سیاستی منطقه‌ای و بخشی اهمیت ویژه‌ای دارد (Sabohi and Parhizkari, 2013; Arfini et al., 2003). به طور کلی، مدل‌های PMP، در ساختار خود دارای مراحل سه‌گانه مشابهی می‌باشند. این مراحل شامل حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی و محاسبه مقادیر دوگان محدودیت‌ها، تخمین تابع هزینه غیرخطی یا تابع تولید و در نهایت تبیین مدل واسنجی شده می‌باشد. تنها تفاوت موجود در مدل‌های PMP، نوع تابع تولید یا هزینه کاربردی برای نهاده ثابت و نحوه تخمین پارامترهای آن می‌باشد. با توجه به کاربرد اشکال مختلف توابع تولید و هزینه در مرحله دوم مدل PMP، روش‌های متعددی جهت تخمین پارامترهای این توابع ارائه شده است (Howitt, 2005). بر اساس مطالعات اخیر، در حال حاضر کامل‌ترین روش برای تخمین توابع تولید و هزینه غیرخطی در مدل PMP بر اساس روش حداکثر آنتروپی (ME) استوار است (Howitt, 2005; Caplo and Paris, 2008). استفاده از روش ME برای کالیبراسیون مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی به گونه‌ای معنی‌دار سبب افزایش علاقه‌مندی عمومی اقتصاددانان کشاورزی به تکنیک‌های آنتروپی شده است. این روش به وسیله Golan et al. (1996) معرفی و به OLS و سایر برآورد کننده‌های اقتصادسنجی نسبت داده شده است. به همین منظور، در این مطالعه جهت برآورد تابع تولید غیرخطی، از روش حداکثر آنتروپی استفاده گردید. مدل ارائه شده در این تحقیق در سه مرحله به صورت زیر الگوسازی می‌شود:

مرحله اول: حل مدل برنامه‌ریزی خطی کمکی (LP) و برآورد مقادیر دوگان یا قیمت‌های سایه‌ای

این مرحله شامل حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی کمکی (معادلات ۳ تا ۶) در جهت حداکثر نمودن درآمد ناخالص کشاورزان با توجه به

همچنین کود شیمیایی و سموم مصرفی نوع r برای تولید محصول i در یک هکتار زمین زراعی هستند. علاوه بر این، SW ، $Tland$ ، $TFertilizer$ ، $TMachin$ ، $TLabor$ و $TPoison_r$ به ترتیب مقدار کل زمین‌های اختصاص یافته به، منابع آب، نیروی کار، ماشین‌آلات، کودهای شیمیایی و سموم مصرفی در دسترس برای فعالیت‌های زراعی محصولات مدنظر در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند. روابط (۹) تا (۱۴) محدودیت نهاده‌های مصرفی لحاظ شده در مدل برای تولید محصولات منتخب زراعی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد و بیانگر آن هستند که میزان استفاده از هر یک از منابع ذکر شده برای تولید هر هکتار محصول i نمی‌تواند از کل منابع در دسترس منطقه مورد مطالعه بیشتر باشد. همچنین رابطه (۱۵) نیز بیانگر محدودیت غیر منفی بودن سطح فعالیت‌های زراعی یا محدودیت غیر منفی بودن اراضی زیر کشت می‌باشد.

Table 2- Definition of variables and parameters used in modelling

جدول ۲- معرفی متغیرها و پارامترهای به کار برده شده در مدل

Variables	
x_i	an $(n \times 1)$ vector of primal variables that are defined as land area allocated to each crop production i
λ	an $(m \times 1)$ vector of dual variables associated with fixed but allocatable resource constraints
ρ	an $(n \times 1)$ vector of dual variables associated with calibration constraints
Parameters	
P_i	an $(n \times 1)$ vector of Product market price i
Y_i	an $(n \times 1)$ vector of Product performance i
C_j	an $(n \times 1)$ vector of Includes total production costs, excluding water costs
CW_i	Cost of using water per hectare of crop
X_{kj}	Input consumption (k replace j) in crop production i
b	an $(m \times 1)$ vector of resource constraints, which is set as $b = Ax_0$
Observations and etc	
X_i^*	an $(n \times 1)$ vector of observed primal variables (i.e., the reference point). They are positive by nature
ε	an $(n \times 1)$ vector of small positive numbers

جامعه آماری تحقیق شامل زارعان تحت پوشش شبکه آبیاری دشت قزوین می‌باشد. محدوده مذکور دربرگیرنده ۵ شهرستان (قزوین، آبیک، بوئین زهرا، تاکستان، البرز) و ۷۸ روستا با اراضی بیش از ۳۰۶۹۴ هکتار است. داده‌های مورد نیاز این مطالعه به صورت اسنادی و میدانی با مراجعه به ادارات ذیربط استان قزوین و تکمیل پرسشنامه به وسیله

Msangi (2002) برای برآورد تابع هدف مدل تجربی مورد استفاده از تابع تولید غیرخطی درجه دوم به صورت زیر استفاده شد:

$$Y_i = \sum_{i=1}^m a_{ij} X_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m q_{ijk} X_{ik} X_{jk} \quad \forall i \quad (7)$$

$$= 1, 2, \dots, 6$$

همان طور که در پیش گفته شد، در این مطالعه به منظور برآورد ضرایب تابع تولید غیرخطی (تخمین پارامترهای a_{ij} و q_{ijk} تابع تولید)، از روش حداکثر آنتروپی استفاده شد. لازم به ذکر است که آندیس k یک جانشین برای زیرنویس i می‌باشد.

مرحله سوم: تبیین مدل PMP واسنجی شده‌ی نهایی

در این مرحله، با استفاده از تابع تولید غیرخطی واسنجی شده در مرحله دوم و مجموعه محدودیت‌های منابع (به استثنای محدودیت کالیبراسیون)، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت روابط زیر ساخته می‌شود:

$$\text{Max GM} = \sum_{i=1}^n X_i \left(P_i \left(\sum_{j=1}^m a_{ij} X_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m q_{ijk} X_{ik} X_{kj} \right) - CW_i - \sum_{j=1}^m C_j \right) \quad (8)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^n X_i \leq Tland \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i X_i \leq SW \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n L_i X_i \leq TLabor \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n M_i X_i \leq TMachin \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n Fertilizer_{ir} X_i \leq TFertilizer_r \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n Poison_{ir} X_i \leq TPoison_r \quad (14)$$

$$X_i \geq 0 \quad (15)$$

در مدل فوق، رابطه (۸) تابع هدف غیرخطی مدل PMP را نشان می‌دهد که شامل تابع تولید غیرخطی واسنجی شده برای نهاده‌های مصرفی آب، زمین، نیروی کار، ماشین‌آلات، کودهای شیمیایی و سموم مصرفی می‌باشد. X_i میزان سطح زیر کشت محصول i بر حسب هکتار و W_i ، L_i ، M_i ، $Fertilizer_{ir}$ و $Poison_{ir}$ به ترتیب بیانگر میزان استفاده از آب، نیروی کار و ماشین‌آلات برای تولید محصول i و

در مرحله رسیدن برای محصولات گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای و چغندر قند و ۵ درصد کم‌آبیاری در مرحله رشد رویشی برای محصول یونجه در جدول ۳ ارائه شده است، به نحوی که در بقیه مراحل رشد آبیاری کامل صورت گرفته است. بنابراین می‌توان گفت اثر تنش کم آبیاری بهترین پاسخ را بر روی عملکرد محصول داشته و کمترین کاهش عملکرد را به دنبال دارد. طبق نتایجی که در جدول قابل مشاهده است در اثر اعمال کم‌آبیاری، سطح زیرکشت محصولات گندم و جو نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد و الگوی کشت به نفع محصولات چغندر قند، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و یونجه که صرفه اقتصادی بالاتری به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری دارند، پیش می‌رود. در مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب به میزان ۶/۲ درصد نسبت به سال پایه کاهش و بصورت آیش و کشت نشده درآمده است. از طرفی دیگر، اعمال کم‌آبیاری، منجر به کاهش میزان آب مصرفی توسط کشاورزان به میزان ۵/۲ درصد (۱۷۳۷۶۰۰ مترمکعب) در اراضی زراعی منطقه شده است. همچنین بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳، نکته مهمی که ملاحظه می‌گردد، اعمال این سیاست، علی‌رغم صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش سطح زیرکشت محصولات زراعی منطقه، باعث افزایش درآمد ناخالص حاصل از کشت محصولات مزرعه به میزان ۰/۴ درصد (۵۸۷۱ میلیون ریال) شده است. این مهم بیانگر این است که سیاست کم‌آبیاری، علی‌رغم کاهش سطح زیرکشت کل محصولات منطقه، منجر به تخصیص بهینه آب در بین محصولات گردیده و باعث شده است که محصولات پربازده وارد الگوی کشت گردند و درآمد کل حاصل از تولید فعالیت‌های کشاورزی افزایش یابد. به عبارت دیگر، کشاورزان را به مصرف صحیح و بهینه منابع آب موجود تشویق می‌کند و منجر به صرفه‌جویی حجم زیادی از آب آبیاری نیز می‌شود.

بهره‌برداران در سطح روستاهای منطقه برای سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ (سال پایه) بدست آمد. به منظور انتخاب بهره‌برداران از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دومرحله‌ای استفاده شد. از آنجایی که اراضی دشت قزوین توسط ۱۲ کانال پوشش داده شده است، زمین‌های زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری دشت قزوین برحسب کانال به ۹ ناحیه همگن تقسیم‌بندی شدند و این نواحی به‌عنوان خوشه اصلی مطالعه در نظر گرفته شدند. در مرحله بعدی با توجه به لیست روستاهای نواحی شش‌گانه از هر خوشه که از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شدند، روستاهایی به‌عنوان روستای مورد بررسی تعیین و از روستاهای موجود در آن نواحی در مجموع ۲۵ روستا به‌طور تصادفی انتخاب گردید. بر اساس موارد ذکر شده، از کل منطقه مورد مطالعه تعداد ۱۴۴ پرسشنامه از کشاورزان هدف جمع‌آوری و داده‌های آن استخراج گردید. در داخل هر خوشه از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده برای تعیین اندازه نمونه از رابطه (۱۶) استفاده شد (Cochran William, 1977):

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)\frac{B^2}{4} + \sigma^2} \quad (16)$$

در معادله فوق n حجم نمونه، N حجم جامعه، B کران خطای برآورد (اشتباه قابل قبول در برآورد مقدار کل یا میانگین صفت مورد بررسی) و σ^2 واریانس جامعه است اما چون قابل برآورد نمی‌باشد از واریانس نمونه (S^2) استفاده شده است. حل مدل پیشنهادی و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از اعمال هر پیش‌فرض در محیط نرم‌افزاری GAMS صورت گرفت.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

نتایج مربوط به تغییرات الگوی کشت و مصرف نهاده آب حاصل نتایج حل مدل PMP در شرایط سناریو اول، یعنی کاهش ۵ درصد کم‌آبیاری

Table 3- Comparing the current cropping pattern and water consumption with the modeling results in first scenario

Crops (Deficit Irrigation)	Cropping area (ha)			Gross irrigation water (1000 m ³)		
	Current	PMP pattern	%Δ	Current	Optimal	%Δ
Wheat *	25000	21590	-13.6	175000	143778.63	-17.8
Barley*	2000	1230	-38.5	11000	6164.5	-44
Maize *	4800	5030	4.8	57600	57667.35	0.1
Forage Corn *	3200	3300	3	35200	34440.42	-2.1
Beet *	1000	1120	12	15000	16120.56	7.5
Alfalfa**	3000	4310	43	48000	65890.95	37.2
total area under cultivation	39000	36580	-6.2	-	-	-
Water consumption	-	-	-	341800	324062.4	-5.2
Gross farm income (Million Rials)	1441504	1447375	0.4	-	-	-

Source: Research findings (*5% Stress on Ripening, **5% Stress on Vegetative)

مأخذ: یافته‌های تحقیق (* ۵٪ تنش آبی در مرحله رسیدن محصول، ** ۵٪ تنش در مرحله رشد رویشی)

را در مقابل این سیاست داشته است. لازم به ذکر است، محصول چغندر قند علی‌رغم افزایش سطح زیرکشت، به میزان ۷/۵ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کرده است. از طرفی دیگر اجرای این سناریو باعث کاهش سطح زیرکشت کل محصولات منتخب و مقدار آب مصرفی به ترتیب به میزان ۸/۱ و ۱۷/۳ درصد شده است. همچنین باتوجه به نتایج جدول ۴، ملاحظه می‌شود که اعمال سیاست کم‌آبیاری در سناریوی سوم، ضمن کاهش سطح زیر کشت محصولات زراعی منطقه و کاهش فشار بر زمین کشاورزی و همچنین مقدار مصرف آب، موجب کاهش درآمد ناخالص حاصل از کشت محصولات تولیدی منطقه به میزان حدود ۰/۵ درصد شده است.

همچنین نتایج مربوط به درصد تغییرات الگوی کشت و مصرف نهاده آب حاصل از مدل PMP در سناریوی دوم، یعنی اعمال سیاست‌های کاهش آب مصرفی در محصولات گندم، جو، چغندر قند، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و یونجه در جدول ۴ نشان داده شده است. طبق نتایجی که در جدول قابل مشاهده است، در سناریوی حاضر سطح زیرکشت محصولات گندم، جو و ذرت علوفه‌ای نسبت به شرایط فعلی کاهش می‌یابد و الگوی کشت به نفع محصولات چغندر قند، ذرت دانه‌ای و یونجه که صرفه اقتصادی بالاتری به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری دارند، پیش می‌رود. به عبارت دیگر، این سیاست منجر به کاهش سطح زیرکشت محصولاتی شده است که درآمد آنها بیشترین کاهش

Table 4- Comparing the current cropping pattern and water consumption with the modeling results in second scenario

جدول ۴- نتایج حاصل از مقایسه الگوی کشت و مقدار آب مصرفی موجود و حاصل از حل مدل در سناریوی دوم

Crops (Deficit Irrigation)	Cropping area (ha)			Gross irrigation water (1000 m ³)		
	Current	PMP pattern	%Δ	Current	Optimal	%Δ
Wheat *	25000	21000	-15.6	175000	118376.59	-32.3
Barley *	2000	1200	-40	11000	5293.37	-51.8
Maize ***	4800	4850	1	57600	49771.44	-13.6
Forage Corn ***	3200	3060	-4.4	35200	28632.01	-18.6
Beet *	1000	1050	5	15000	12782.87	-14.8
Alfalfa ***	3000	4680	56	48000	67828.51	41.3
total area under cultivation	39000	35840	-8.1	-	-	-
Water consumption	-	-	-	341800	282684.8	-17.3
Gross farm income (Million Rials)	1441504	1434040	-0.5	-	-	-

Source: Research findings (*20% Stress on Ripening, **15% Stress on Ripening, ***10% Stress on Flowering)

مأخذ: یافته‌های تحقیق (* ۲۰٪ تنش آبی در مرحله رسیدن محصول، ** ۱۵٪ تنش در مرحله رشد رویشی، *** ۱۰٪ تنش در مرحله گلدهی)

Table 5- Comparing the current cropping pattern and water consumption with the modeling results in third scenario

جدول ۵- نتایج حاصل از مقایسه الگوی کشت و مقدار آب مصرفی موجود و حاصل از حل مدل در سناریوی سوم

Crops (Deficit Irrigation)	Cropping area (ha)			Gross irrigation water (1000 m ³)		
	Current	PMP pattern	%Δ	Current	Optimal	%Δ
Wheat *	25000	21350	-14.6	175000	134757.96	-23.3
Barley *	2000	1190	-40	11000	598140	-45.6
Maize **	4800	4830	0.6	57600	49583.38	-13.8
Forage Corn**	3200	3030	-5.3	35200	28403.95	-18
Beet *	1000	1100	10	15000	15058.28	0.3
Alfalfa ***	3000	4670	56.7	48000	71497.44	49.4
total area under cultivation	39000	36190	-7.2	-	-	-
Water consumption	-	-	-	341800	305282.4	-10.7
Gross farm income (Million Rials)	1441504	1432841	-0.6	-	-	-

Source: Research findings (*10% Stress on Ripening, **5% Stress on Vegetative and 10% on Ripening, ***5% Stress on Flowering)

مأخذ: یافته‌های تحقیق (* ۱۰٪ تنش آبی در مرحله رسیدن محصول، ** ۵٪ تنش در مرحله رشد رویشی توأم با ۱۰٪ تنش در رسیدن، ۵٪ تنش در مرحله گلدهی)

محصولات منتخب نسبت به سال پایه کاهش و به صورت کشت نشده و آیش درآمده است که به نوبه‌ی خود فشار بر زمین را کاهش می‌دهد و امکان عملیات خاک‌ورزی و حفاظت خاک را افزایش می‌دهد.

در شکل ۲ مجموع درآمد ناخالص مزرعه پس از اعمال سناریوهای مختلف کم‌آبیاری نسبت به شرایط سال پایه مقایسه و نشان داده شده است.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

بخش کشاورزی در ایران یکی از مهمترین بخش‌های اقتصادی است و این در حالی است که کمبود آب اصلی‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی و غذایی می‌باشد. این پژوهش با هدف تجزیه و تحلیل راهبرد کم‌آبیاری در جهت کاهش مصرف آب بخش کشاورزی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) و رهیافت حداکثر آنتروپی (ME)، به تعیین الگوی کشت مناسب شبکه آبیاری دشت قزوین پرداخته شد. برای حل مدل از داده‌های سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و نرم‌افزار GAMS استفاده گردید. نتایج حاصل از اعمال سناریوی اول یعنی کاهش ۵ درصد کم‌آبیاری در مرحله رسیدن برای محصولات گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای و چغندر قند و ۵ درصد کم‌آبیاری در مرحله رشد رویشی برای محصول یونجه شان داد که علی‌رغم صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش سطح زیرکشت محصولات زراعی منطقه به ترتیب به میزان ۵/۲ و ۶/۲ درصد، درآمد ناخالص حاصل از کشت محصولات مزرعه نیز به میزان ۰/۴ درصد افزایش یافته است. این موضوع نشان‌دهنده آن است که تصور کشاورزان بر استفاده از بیشینه زمین قابل کشت برای افزایش درآمد، به دلیل محدودیت موجودی آب نادرست بوده است.

با توجه به نتایج سناریوی سوم در جدول ۵ ملاحظه می‌گردد، با اعمال کم‌آبیاری بر محصولات زراعی گندم، جو و چغندر قند به صورت ۱۰ درصد کاهش آب مصرفی در مرحله رسیدن محصولات، ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای همزمان با دو سطح کم‌آبیاری ۵ درصد در مرحله رشد ۱۰ درصد در مرحله رسیدن و یونجه به صورت ۵ درصد کاهش آب مصرفی در مرحله گلدهی، کمترین کاهش عملکرد در محصولات بر اثر تنش کم‌آبیاری صورت خواهد گرفت.

همانطور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود در سناریوی حاضر نیز سطح زیرکشت محصولات گندم، جو و ذرت علوفه‌ای کاهش و سطح زیرکشت سایر محصولات افزایش یافته است که همانند سناریوی اول و سناریوی دوم، محصول جو با بیشترین کاهش سطح زیرکشت و یونجه با بیشترین افزایش سطح زیرکشت همراه بوده است که این دو محصول حساس‌ترین محصولات تحت شرایط اعمال سیاست کم‌آبیاری می‌باشند. از دلایل کاهش سطح زیرکشت جو می‌توان گفت که این محصول نسبت به محصولات زراعی منطقه کمترین منافع اقتصادی را داراست و سیاست کم‌آبیاری باعث می‌گردد که کشاورزان الگوی کشت آبی را انتخاب نمایند که منافع اقتصادی بالایی در مقابل سایر محصولات داشته باشند. اگرچه اعمال سیاست‌های مختلف کم‌آبیاری در سناریوی سوم نیز همانند سناریوی دوم، تمایل کشاورزان را در جهت کاهش سطح زیرکشت اغلب محصولات منتخب زراعی (گندم آبی، جو آبی و ذرت علوفه‌ای) به همراه داشته است و باعث کاهش درآمد ناخالص منطقه در الگوی کشت محصولات منتخب نسبت به شرایط سال پایه شده است، اما این کاهش درآمد با صرفه‌جویی حجم زیادی از نهاده کمیاب آب به میزان حدود ۳۶۵۱۷/۶ هزار مترمکعب همراه بوده است و از این طریق به پایداری منابع آبی شبکه آبیاری دشت قزوین و کاهش آثار مخرب زیست‌محیطی منطقه کمک شایانی می‌نماید. از طرفی دیگر، در مجموع سطح زیرکشت

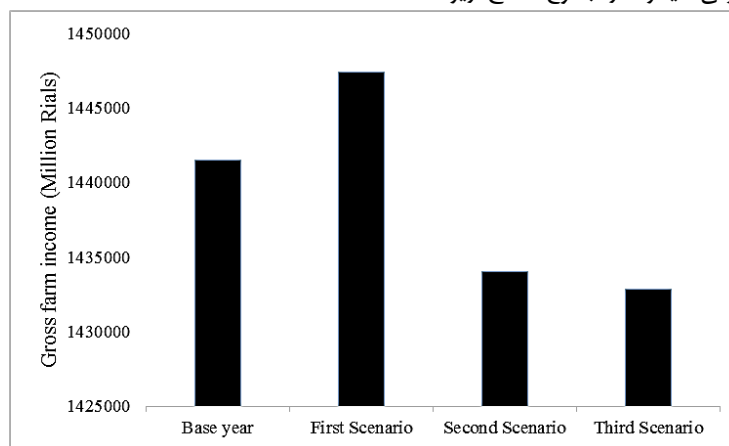


Fig. 2- Comparison of gross farm income under deficit irrigation strategies
شکل ۲- مقایسه درآمد ناخالص مزرعه پس از اعمال سیاست‌های راهبرد کم‌آبیاری

- Arfini F, Donati M, Paris Q (2003) A national PMP model for policy evaluation in agriculture using micro data and administrative information. Paper Pressed at the International Conference Agricultural Policies, 17-35
- Bakhshi M (2009) The effect of policies on subsidizing fertilizer and poison and direct payment on cropping pattern and input consumption using emphasis on environmental consequences (Case study: Agriculture, Razavi and Northern Razavi Provinces). Ph.D. thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran (In Persian)
- Bakhshi MR, Peykani G, Hosseini SS, Saleh I (2010) Evaluating effects of removing fertilizer subsidy and direct payment polices on cropping pattern and inputs Use (Case study: Agronomy Subsector of Sabzevar Township). *Agricultural Economics* 4(2):185-207 (In Persian)
- Bauer S (1988) Historical review, experience and perspectives in sector modelling. *Proceedings of 16th Symposium of the European Association of Agriculture Economists*, April 14th -15th, 3-22
- Boostani F, Mohammadi H, Mir B (2011) Effect of deficit irrigation on selection optimal crop pattern under water crisis condition: A case study in Fars Province. *Water Engineering* 4(10):63-74 (In Persian)
- Caplo S, Paris Q (2008) Assessing the effectiveness of voluntary solid waste reduction policies: Methodology and a Flemish case study. *Waste Management* 28(8):1449-1460
- Cochran William G (1977) *Sampling Techniques*. Third Edition, John Wiley & Sons
- Cortignani R, Severini S (2009) Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using positive mathematical programming. *Agricultural Water Management* 96(12):1785-1791
- Dookohki H, GHeisary M, Karimi Jafari M (2012) Determination of the response coefficient of corn crop to dehydrated sprinkler irrigation by DSSAT model during different growth stages. *Third National Conference on Water Resources*, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Isfahan University of Technology (In Persian)
- Doorenbos J, Kassam AH (1979) Yield response to water, *Irrigation and Drainage*. Paper 33, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy, 39
- Ebrahimipak N (2016) Crop patren optimization and optimal allocation model under deficit irrigation in the area Qazvin Plain Taleghan. Department of Water and Soil, Final Report of Project, 188p

با اعمال سیاست کم‌آبیاری علی‌رغم کاهش سطح زیرکشت کل محصولات منطقه، منجر به تخصیص بهینه آب در بین محصولات گردیده و باعث خواهد شد که محصولات پربازده وارد الگوی کشت گردند و در نهایت درآمد کل حاصل از تولید فعالیت‌های کشاورزی افزایش یابد. علاوه بر این، با توجه به سناریوهای مختلف کم‌آبیاری می‌توان گفت در زمان‌هایی که منطقه مورد مطالعه با بحران آب مواجه می‌شود، بسته به شدت بحران و میزان محدودیت نهاده آب، نحوه تصمیم‌گیری برای تعیین راهبرد کم‌آبیاری و الگوی کشت متفاوت است، به‌گونه‌ای که در سناریوی دوم و سوم، آب مصرفی به ترتیب به میزان ۱۰/۷ و ۱۷/۳ درصد کاهش یافته است. تنها اشکال این سیاست‌ها کاهش شدید سطح زیرکشت گندم می‌باشد که با توجه به اهمیت راهبردی محصول گندم در امنیت غذایی، باید این سیاست‌ها همراه با سیاست‌های تشویقی کشت گندم اعمال شوند. بر اساس یافته‌های پژوهش، می‌توان پیشنهادهای زیر را در جهت تحقق توأم اهداف بهره‌برداران و اهداف زیست‌محیطی مؤثر عنوان کرد: از آنجایی که مطابق نتایج تحقیق همزمان با در نظر گرفتن اهداف حداکثر بازدهی و درآمدآوری، می‌توان تا حدودی اهداف زیست‌محیطی مثل کاهش مصرف آب و سایر نهاده‌ها را نیز قوت بخشید؛ لذا، پیشنهاد می‌شود برنامه‌ریزی الگوی کشت منطقه بر اساس اهداف بازدهی کشاورزان و ملاحظات زیست‌محیطی مانند کاهش مصرف آب در مراحل کم‌حساس عملکرد محصول به تنش آبی تدوین گردد که در این راستا، حذف آبیاری‌های غیر مؤثر با توجه به مراحل حساس رشد محصولات می‌تواند به رونق این فرایند، کمک شایانی نماید. افزون بر این، اعمال مختلف کم‌آبیاری در سناریوهای مطالعه حاضر، اگرچه بصورت ناچیز سبب کاهش عملکرد و درآمد مزرعه می‌شود، با بکاربردن سطح زیرکشت محصولات با صرفه اقتصادی بالاتر، می‌توان کاهش عملکرد به وجود آمده و درآمد مزرعه را جبران نمود.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Normative Mathematical Programming
- 2- Positive Mathematical Programming
- 3- Vegetative Growth
- 4- Flowering
- 5- Yield Formation
- 6- Ripening

۵- مراجع

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith MS (1998) *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, 300P

- Kashiani P, Saleh S, Osman M, Habibi D (2011) Sweet corn yield response to alternate furrow irrigation methods under different planting densities in a semi-arid climatic condition. *African Journal of Agricultural Research* 6:1032-1040
- Kiani AR, Saberi AR (2014) An investigation of sweet corn yield and water use influenced by different deficit irrigation methods and two sowing patterns. *Journal of Water and Soil Conservation* 21(6):155-171 (In Persian)
- Mainuddian M, Das Gupa A, Onta RR (2006) Optimal crop planning model for an exiting groundwater irrigation project in Thailand. *Agricultural Water Management* 33(2):43-62
- Medellan-Azuara J, Harou J, Howitt R (2010) Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation. *Science of the Total Environment* 408(1):5639- 5648
- Meyer SJ, Hubbard KG, Wilhite DA (1993) A cropspecific drought index for corn: I. Model development and validation. *Agronomy Journal* 85:388-395
- Mirzai K, Ahmadpour Borazjani M (2016) Effects of irrigation water quota on crop pattern and gross profit of farmers in Amol region. *Iran-Water Resources Research* 12 (3):166-179 (In Persian)
- Mushtaq Sh, Moghaddasi M (2011) Evaluating the potentials of deficit irrigation as an adaptive response to climate change and environmental demand. *Environmental Science and Policy, Australia College of Agriculture* 14(2):1139-1150
- Najarchi M, Kaveh F, Babazadeh H, Manshouri M (2011) Determination of the yield response factor for field crop deficit irrigation. *African Journal of Agricultural Research* 6(16):3700-3705
- Office Manager of Basic Studies of Water Resource (2009) *Iran Water Resources Management Company*
- Parhizkari A, Sabohi M, Ahmadpoor M, Badizarin H (2016) Assessment of the effects of deficit irrigation and decrease in water allocation on agricultural sector production in Qazvin Province. *Journal of Water Reserch in Agriculture* 6(2):173-185 (In Persian)
- Paris Q (2001) Symmetric positive equilibrium problem: A framework for rationalizing economic behavior with limited information. *American Journal of Agricultural Economics* 83(4):1049-1061
- Paris Q, Arfini F (2000) Frontier cost functions, self-selection, price risk, PMP and agenda. Working Paper Series, EUROTOOLS
- English MJ, Musick JT, Murty VVN (1990) Deficit irrigation. In: *Management of Farm Irrigation Systems* (Hoffman GJ, Howell TA, and Solomon KH, Editors). ASAE Monograph no. 9. Amer. Soc. Agri. Engin. Pub. 1020p
- Esmaeili M, Golchin A (2005) Economic analysis of deficit irrigation and its effect on grain yield and oil content of two sunflower varieties. *Agricultural Knowledge* 15(1):121-135 (In Persian)
- Fathi F, Zibaei M (2012) Water resources sustainability using goal programming approach in optimizing crop pattern, strategy and irrigation method. *Iran-Water Resources Research* 8(1):10-19 (In Persian)
- Gharaghani F, Boostani F, Soltani GR (2009) Assessing the impact of reducing irrigation water and increasing its price on cropping pattern by positive mathematical programming model: A case study of Eghlid in Fars Province. *Journal of Agricultural Economics Research* 1(1):57-74 (In Persian)
- Ghazvin Regional Water Authority (2014) *Province water resources management reports.* (In Persian)
- Ghazvin Regional Water Authority (2015) *Qazvin plain water resources statistics, research office* (In Persian)
- Golan A, Judge G, Miller D (1996) *Maximum entropy econometrics: Robust Estimation with limited Data.* New York, John Wiley and Sons
- Heckelei T (2002) Calibration and estimation of programming models for agricultural supply analysis. Ph.D. Thesis, University of Bonn, 159P
- Howitt R, Medellin-Azuara J, MacEwan D, Lund R (2012) Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Science of the Environmental Modelling and Software* 38:244-258
- Howitt RE (1995) A calibration method for agricultural economic production models. *Journal of Agricultural Economics* 46(2):147-159
- Howitt RE (2005) *Agricultural and environmental policy models: calibration, estimation, and optimization.* Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, Davis, USA
- Howitt RE, Msangi S (2002) Consistency of GME estimates through moment constraints. Forthcoming Working Paper, Department of Agricultural and Resource Economics, University of California at Davis, USA
- Jalilian A, Shirvani AR, Neamati A, Basati J (2001) Effects of deficit irrigation on the production and economy of sugar beet in Kermanshah region. *Beet journal* 17(1):1-14 (In Persian)

- Network. Journal of Agricultural Engineering Research 6(3):35-52 (In Persian)
- Shamseadini A, Mohammadi H, Dehghanpur H (2013) Choosing the best cropping pattern to use water resources constantly with emphasis on deficit irrigation (Case study: Sepidan). Agricultural Economics and Development 21(84):53-78 (In Persian)
- Shirvanian A, Haghghatnia H, Mehrjoo S (2014) Determination of economic threshold of deficit irrigation on cotton in Darab district. Agricultural Economics & Development 28(4):312-321 (In Persian)
- Soltani Sh, Mosavi SH (2015) Deficit irrigation strategy and improving irrigation technology; the optimal adaptation in coping with climatic change. Agricultural Economics 9(4):121-149 (In Persian)
- Tavakoli AL (2003) Deficit irrigation and nitrogen effects on yield and yield components of wheat. Agricultural Journal 26(2):75-87 (In Persian)
- Zamanian G, Jafari M, Kalaei A (2015) The effect of environmental stress and increasing prices of agricultural inputs on crop pattern of Khomein plain. Agricultural Economics and Development 22(87):89-110 (In Persian)
- Razzaghiy M, Zare Mehrjerdi MR, Kianirad A, Nabieian S (2015) Modeling farmers participation in crop insurance scheme using positive mathematical programming (Case study: Rice product in Qaemshahr). Insurance Research 6(30):155-185 (In Persian)
- Sabohi M, Soltani GH, Zibaei M, Torkmani J (2006) Identify suitable deficit irrigation strategies with the goal of maximizing social benefits. Agricultural Economics and Development 14(56):167-202 (In Persian)
- Sabuhi M, Parhizkari A (2013) Analysis of the economic and welfare impacts of establishing irrigation water market in Qazvin Province. Agricultural Economics & Development 27(4):338-350 (In Persian)
- Salemi HR, Mohd Soom MA, Lee TS, Mousavi SF, Ganji A, Yusoff MK (2011) Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of winter wheat in arid region. African Journal of Agricultural Research, Academic Journals 610:2204-2215
- Sepaskhah AR, Shabani MK, Honar T (2008) Optimization of water consumption and cropping pattern by using Deficit irrigation techniques at farm level: A case study of Fars Doodzan Irrigation