

## Economic evaluation of optimum cultivating pattern for reducing the use of groundwater in Dehgolan plain

MOHAMMAD ALI ASADI<sup>1</sup>, HAMED NAJAFI ALAMDAR LO<sup>2\*</sup>

1, 2, PhD. Student and Assistant Professor, Department of Agricultural Economics,  
Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(Received: Jan. 9, 2018- Accepted: Aug. 4, 2018)

### ABSTRACT

In recent years, the Dehgolan plain has been faced by a sharp drop in groundwater and land subsidence due to the drought and over-harvesting of water resources. Hence, one of the most important water management practices is management of cultivating pattern that has more importance in drought situations in order to reduce water super-crisis. This plain with an area of 62.4 thousand hectares and the coordinates of 10' 47<sup>0</sup> to 44' 48<sup>0</sup> eastern longitudes and 00' 35<sup>0</sup> to 32' 35<sup>0</sup> northern Latitudes is at the eastern of Kurdistan province. This research was designed to develop an optimal cropping pattern (wheat, barley, alfalfa, onion, potato, clover and sainfoin) for under low water conditions. Moreover, this paper presented an optimal irrigation program for maximizing the gross profit of the farm. For this purpose, data from the crop years of 2016-2017 was used as input of Positive Mathematical Programming Model. The results showed that in the optimum conditions for plant production, the amount of water saving in the first to third scenario was 22.1%, 30.5%, and 35.5%. On the other hand, the gross profit of the farm decreased 4.6%, 9.3% and 14.8% respectively. Consequently, it can be said that applying irrigation policy in stages of growth of products that are less susceptible to dehydration results in farmers to select a cultivation pattern that has high economic benefits compared to cultivating other product.

**Keywords:** Deficit Irrigation, Positive Mathematical Programming, Groundwater, Dehgolan Plain.

## ارزیابی اقتصادی الگوی بهینه کشت در راستای کاهش استفاده از منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان

محمدعلی اسعدی<sup>۱</sup>، حامد نجفی علمدارلو<sup>۲\*</sup>

۱، ۲، دانشجوی دکتری و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۹ - تاریخ تصویب: ۹۷/۵/۱۳)

### چکیده

در سال‌های اخیر دشت دهگلان، به علت پدیده خشکسالی و برداشت بیش از حد از منابع آب، با افت شدید سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین مواجه بوده است. با توجه به این مهم، یکی از مهمترین راهکارهای مدیریت مصرف آب، مدیریت الگوی کشت است که در شرایط خشکسالی این راهکار در رفع بحران کم‌آبی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. این دشت با وسعت ۶۲/۴ هزار هکتار و مختصات ۴۷° ۱۰' تا ۴۸° ۴۴' طول جغرافیایی شرقی و ۳۵° ۰۰' تا ۳۵° ۳۲' عرض جغرافیایی شمالی در شرق استان کردستان قرار دارد. این پژوهش با هدف تدوین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی (گندم، جو، یونجه، پیاز، سیب‌زمینی، شبدر و اسپرس) تحت شرایط کم‌آبی به منظور ارائه برنامه بهینه آبیاری، جهت حصول بیشینه‌سازی سود ناخالص مزرعه طرح‌ریزی و اجرا شد. به این منظور، از آمار و اطلاعات سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ به عنوان ورودی‌های مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) استفاده گردید. نتایج نشان داد که با تدوین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی، مقدار صرفه‌جویی آب در سناریوی اول تا سوم به ترتیب به میزان ۲۲/۱، ۳۰/۵ و ۳۵/۵ درصد و سود ناخالص مزرعه به ترتیب ۴/۶، ۹/۳ و ۱۴/۸ درصد کاهش می‌یابد. لذا می‌توان گفت که اعمال سیاست کم‌آبیاری در مراحل از رشد محصولات که حساسیت کمتری نسبت به تنش کم‌آبی دارند، باعث می‌شود که کشاورزان الگوی کشت محصولاتی را انتخاب نمایند که منافع اقتصادی بالایی در مقایسه با کشت سایر محصولات دارند.

**واژه‌های کلیدی:** کم‌آبیاری، برنامه‌ریزی اثباتی، آب زیرزمینی، دشت دهگلان.

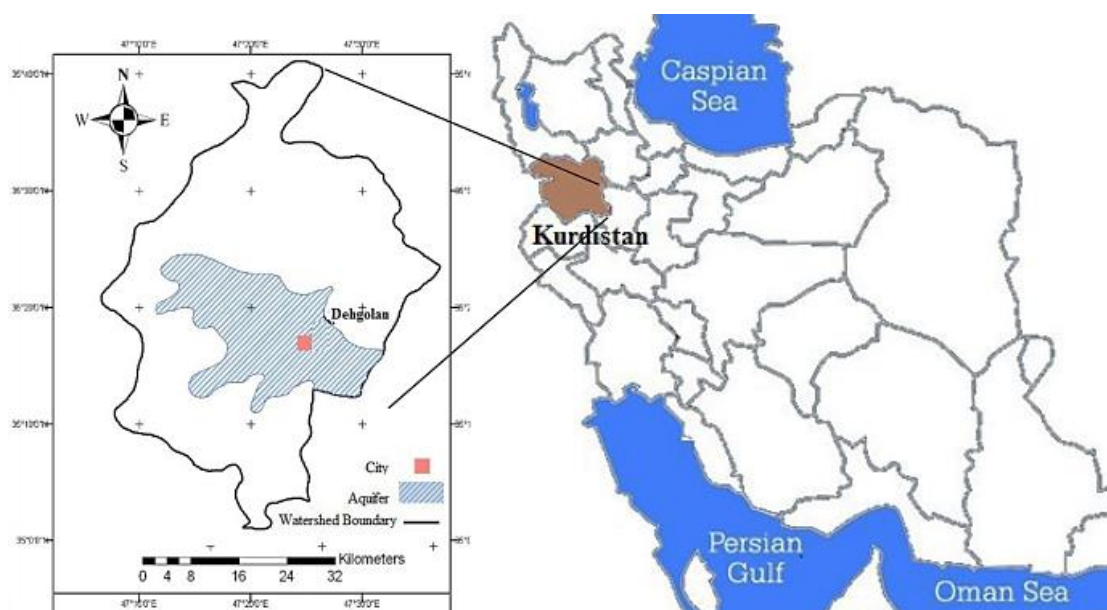
### مقدمه

محدودیت منابع آب، رشد سریع جمعیت و نیاز به تولید بیشتر، سبب شده است که در بخش کشاورزی، نسبت به سایر بخش‌های مصرف‌کننده آب، تقاضای بیشتری برای مصرف این نهاده وجود داشته باشد (Golbaz et al., 2017, Yadavar et al., 2017). بنابراین، مهمترین چالش بخش کشاورزی در شرایط کنونی چگونگی تولید بیشتر غذا از آب کمتر

است (Lundberg and McCarl & Spreen, 1997). اتکالی به منابع آب‌های زیرزمینی سهم اصلی را در تأمین آب دارد. طی دو دهه اخیر بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی به نحوی روزافزون افزایش یافته است (World Energy Council, 2001). به‌گونه‌ای که برداشت بیش از حد از منابع، منجر به افت شدید سطح سفره‌های آب زیرزمینی و به وجود آمدن بیلان منفی در بسیاری از نقاط جهان

نماید یا ممکن است مقدار آب کمتری را در هر تناوب به کار برد تا استفاده بهینه از آب موجود صورت گیرد. کشور ایران در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان قرار گرفته و میانگین بارندگی آن یک‌سوم میانگین بارندگی جهان است (Kohansal et al., 2009). دشت دهگلان از جمله مناطق نیمه‌خشک کشور و یکی از دشت‌های حاصلخیز و قطب کشاورزی مکانیزه استان کردستان به حساب می‌آید و نقش مهمی در اقتصاد کشاورزی پیشرو استان ایفا می‌کند. این منطقه دارای درجه حرارت متوسط ۱۰-۱۳ درجه سانتی‌گراد، متوسط تبخیر ۲۰۳۳ میلی‌متر، متوسط بارندگی سالیانه ۳۴۸ میلی‌متر و تعداد روزهای بارانی آن ۷۸ روز می‌باشد. جنس سازنده‌های تشکیل‌دهنده و میزان منابع تغذیه‌کننده آب زیرزمینی، موجب تشکیل سفره‌های آب آزاد با حجمی قریب به ۸۰۰ میلیون مترمکعب شده است (Kurdistan Regional Water Authority, 2013). آبخوان دشت دهگلان اصلی‌ترین و بزرگترین منبع آبی زیرزمینی استان کردستان است (Varziri, 2014; Asaadi et al., 2018). طی سال‌های اخیر، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در دشت‌های این شهرستان روندی صعودی داشته است، به طوری که اغلب آنها از این نظر در شرایط بحرانی به سر می‌برند. افزون بر این، تمایل کشاورزان به توسعه سطح زیر کشت محصولات زراعی و استحصال شدیدتر منابع آب از چاه‌های موجود، تقاضا برای حفر چاه‌های جدید را افزایش داده است (Jarfab Payesh Consulting Engineers, 2011). این دشت از ۲۷ بهمن ۱۳۸۲ به دلیل افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی در شمار دشت‌های ممنوعه برداشت قرار گرفته است (Ghaderzadeh et al., 2016). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است:

شده است (Yang et al., Krause & Bronstert, 2007). با توجه به سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی (Sharghi et al., 2017) و محدودیت این منبع حیاتی و وجود خشکسالی‌های متناوب در کشور، صرفه‌جویی در مصرف و استفاده بهینه از آب موجود امری ضروری است (Tahamipoor Zarandi and Yazdani, 2016) و در این زمینه، انتخاب روش‌های مناسب برای بهینه کردن محصول تولیدی به ازای مصرف هرچه کمتر آب ضروری است (Sepaskhah et al., 2008). در این راستا یکی از راه‌های اصلاح الگوی مصرف آب، استفاده از استراتژی کم‌آبیاری می‌باشد (Kirda et al., 1999) که با صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به‌عنوان یک راهکار سودمند در وضعیت محدودیت آب و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی، مطرح شود. کم‌آبیاری یک راهکار بهینه‌سازی است که به‌صورت هدفمند، محصولات را به عمد در شرایط کمبود آب و کاهش عملکرد قرار می‌دهد (English et al., 1990). هرچند به اعتقاد (Göksoy et al., 2004)، قبل از شروع فعالیت زراعی اثرات کم‌آبیاری بر عملکرد و کیفیت گیاه باید به‌دقت مورد بررسی قرار گیرد. هدف اصلی در کم‌آبیاری افزایش کارایی مصرف آب با کاهش نیاز آبیاری گیاه و حذف جزئی از آب آبیاری است که تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد ندارد (Zhang & Oweis, 1999). در کم‌آبیاری مدیر مزرعه بایستی سطح بهینه کاهش آب را که به ازای آن سود و کارایی مصرف آب بیشتر حاصل می‌گردد، برای هر محصول تعیین نماید (English, Sepaskhah and English and Raja, 1996, 1990). ممکن است (Sepaskhah et al., 2006, Akbari, 2005) در برهه خاصی از دوره رشد محصول، از مقدار آب کاسته و در سایر مراحل رشد آبیاری کامل را اعمال



شکل ۱. منطقه جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

افزایش قیمت آب، اثر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب ایجاد نمی‌کند. (Lalehzari et al., 2015). اعمال تکنیک کم آبیاری را در طی دوره میانی رشد محصولات نامناسب می‌داند. (Asaadi 2017) گزارش کرد که اعمال راهبرد کم آبیاری در دشت قزوین، باعث افزایش در درآمد مزرعه خواهد شد، اما در یافته Baniasadi et al., (2017) و (Parhizkari et al., 2016) این یافته تایید نشده است. (Soltani and Mosavi, 2016) نیز اعمال تکنیک کم آبیاری را موجب کاهش در سود مزرعه می‌دانند. اعمال تکنیک کم آبیاری، بر روی تک محصولات نیز انجام گرفته است، که البته در این میان، بیشتر بر روی جنبه‌های زراعی تاکید شده است. برای نمونه تحقیقات کم آبیاری در مطالعات (Jia et al., 2017) بر روی ذرت باعث افزایش بهره‌وری آب، کم آبیاری در سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد باعث کاهش عملکرد و افزایش بهره‌وری آب پیاز (Igbadun et al., 2012)، بر روی گندم آبی باعث افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب (Tavakoli, 2003)، بر روی آفتابگردان باعث کاهش عملکرد و سود (Esmaeili and Golchin, 2005)، در محصول پنبه باعث صرفه‌جویی در آب (Shirvanian et al., 2014) و بر روی ذرت شیرین در مطالعه (Kiani and Saberi, 2014) باعث کاهش رواناب، صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش درآمد شده است.

با توجه به کاهش عرضه آب‌های سطحی و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی دشت دهگلان، اتخاذ برنامه‌های سیاستی مناسب در جهت مدیریت بهینه مصرف آب در سطح مزارع ضروری است. از طرف دیگر، با توجه به اهمیت آب آبیاری در کشت تابستانه گیاهان، کمبود آب در این زمان و نیاز سایر محصولات زراعی به آب، اعمال کم آبیاری از طریق قطع آبیاری در مراحل از رشد که دارای حساسیت کمتری به کمبود آب می‌باشد از اهمیت خاصی برخوردار است. به همین منظور، مطالعه حاضر تلاش می‌کند با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی و رهیافت حداکثر آنتروپی، اثرات استراتژی کم آبیاری را به‌عنوان راهکاری عملی و قابل اجرا برای حل مشکل آب و حفاظت منابع آب منطقه مورد بررسی قرار دهد.

در خصوص به‌کارگیری روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی در رابطه با تحقیق حاضر، مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور به ارزیابی سیاست‌های مختلف مدیریت آب پرداخته‌اند که به‌اجمال به برخی از آنها اشاره می‌شود.

(Mushtaq and Moghaddasi, 2011) سیاست کم-آبیاری را باعث افزایش در بازده ناخالص و کارایی مصرف آب می‌دانند، به طوریکه، Cortignani and Severini, (2009) معتقد هستند که اعمال این سیاست به همراه

به‌خصوص سیاست‌های مربوط به عرضه و تقاضای آب آبیاری، روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) است (Hey, 2004; Mosavi, Medellin-Azuara et al, 2010). مهمترین مزیت این الگوها توانایی آنها در بررسی تأثیر سیاست‌ها در سطح مزرعه به‌صورت تجمیعی و با بهره‌گیری از اطلاعات و داده‌های خرد و جزئی است (Paris and Howitt, 1998; Bakhshi et al., 2011).

اولین گام در ساختن مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری یا فعالیت‌هاست. در انتخاب استراتژی‌های مناسب توجه به بیشینه کردن محصول تولیدی به ازای مصرف هر چه کمتر آب ضروری است. از این رو کم‌آبیاری به‌عنوان یک راهبرد عملی و روشی اقتصادی در حصول به الگوی بهینه مصرف آب، به شمار می‌رود. کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه تأثیر متفاوت دارد که ابتدا باید اثر این گونه تأثیرات ساده سازی شود و سپس مجموع اثرات تنش آبی در مراحل وابسته را بدست آورد (Doorenboss & Kassam, 1979; Meyer et al, 1993; Allen et al., 1994; Mannocchi and Mecarelli, 1994; Kipkorir and Raes 2002). با تجزیه و تحلیل بهینه‌سازی سیستم‌های کم‌آبیاری با استفاده از توابع تولید محصول و برنامه کامپیوتری به ازای مقادیر مختلف آب آبیاری می‌توان حداکثر محصول که دارای بیشترین سود اقتصادی است را تعیین کرد. بنابراین در مدیریت کم آبیاری به تابع عملکرد محصول نیاز است. بدین منظور میزان عملکرد نسبی هر یک از محصولات به ازای مقادیر مختلف آب آبیاری با استفاده از رابطه (1) به دست آمد (Meyer et al, 1993) و بر این اساس، تابع عملکرد نسبی هر یک از محصولات، نسبت به آب آبیاری تعیین شد.

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

که در آن  $Y_a$  و  $Y_p$  به ترتیب حداکثر محصول تولیدی در شرایط بدون تنش آبی و مقدار محصول تولیدی در شرایط واقعی (شرایط تنش آبی)،  $n$ : مرحله مشخصی از رشد،  $n$ : تعداد مراحل رشد و  $KY_i$ : ضریب واکنش عملکرد نسبت به تنش آبی در مرحله رشد  $i$  یا عامل

با عنایت به مطالعات فوق، بررسی محققان نشان می‌دهد تاکنون مطالعه‌ای در خصوص اثرات استراتژی کم‌آبیاری در راستای کاهش عرضه منابع آب زیرزمینی و پذیرش آن توسط کشاورزان شهرستان دهگلان که یکی از قطب‌های مهم استان کردستان محسوب می‌شود، انجام نشده است. از طرفی دیگر، در بیشتر مطالعات، محققان تأثیر کم‌آبیاری بر الگوی کشت را عموماً به‌صورت کاهش میزان کل منابع آب در دسترس کشاورزان و یا به‌صورت 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. همچنین بیشتر مطالعات درباره کم‌آبیاری به‌منظور ارتقاء کارایی مصرف آب به انجام آزمایش‌های تک محصولی و فارغ از در نظر گرفتن محدودیت آب بر الگوی کشت بوده است. با توجه به اهمیت آب آبیاری در کشت تابستانه بعضی از محصولات، کمبود آب در این زمان و نیاز سایر محصولات زراعی به آب، اعمال کم‌آبیاری از طریق قطع آبیاری در مراحل از رشد محصول که دارای حساسیت کمتری به کمبود آب می‌باشد از اهمیت خاصی برخوردار است و با داشتن این فرض که می‌توان با اعمال کم‌آبیاری به سمت یک راهبرد بهینه استفاده از منابع آب پیش رفت، اهمیت انجام این مطالعه روشن خواهد شد. به این ترتیب در مطالعه حاضر، اثرات استراتژی‌های مختلف کم‌آبیاری برای هر محصول طی چند سناریو در راستای حفاظت و پایداری منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی و رهیافت حداکثر آنتروپی مورد بررسی قرار گیرد.

### روش تحقیق

یکی از روش‌هایی که در زمینه تخصیص بهینه منابع کمیاب کاربرد فراوان دارد، استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی است (Buysse, 2006). در این راستا، یکی از ابزارهای توانمند در زمینه بررسی سیاست‌های مربوط به بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب،

محصول می‌گردد. لذا در این مرحله، آبیاری بدون کم آبیاری در مدل لحاظ شد.

جدول ۱. ضریب واکنش عملکرد محصول به آب در مراحل مختلف رشد نسبت به کم‌آبیاری

مراحل رشد				
محصول	رشد رویشی	گلدهی	عملکرد محصول	رسیدن محصول
گندم	۰/۲	۰/۶	۰/۵	۰/۱۵
جو	۰/۲	۰/۶	۰/۵	۰/۱۵
یونجه	۰/۷	-	-	-
سیب‌زمینی	۰/۶	-	۰/۷	۰/۲
اسپرس	۰/۷	-	-	-
شیدر	۰/۷	-	-	-
پیاز	۰/۴۵	-	۰/۸	۰/۳

مأخذ: نشریه شماره ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو

همان‌طور که پیشتر نیز ذکر شد، در این مطالعه، جهت تحلیل سیاست‌های اعمال کم‌آبیاری برای کشاورزان دشت دهگلان از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی استفاده شد. هدف عمده این نوع مدل‌ها، بیان واکنش‌های تولیدکنندگان به تغییرات خارجی می‌باشد، که سیاست‌گذاران را به مدل‌های PMP علاقه‌مند نموده است. بحث اصلی برای ساختن این مدل‌ها، افزایش اطمینان یا اجتناب از تفاوت بین موقعیت پایه فعلی و موقعیت پایه شبیه‌سازی و نیز بازسازی رفتار کشاورزان در محیط خاص آنها بر اساس داده‌های کمی می‌باشد که در فرایند تصمیم مزرعه (استفاده زمین و مقدار تولید) موجود هستند (Ghorghani et al., 2009). روش کالیبراسیون اتخاذ شده در این مدل بر تابع هزینه یا تابع تولید غیرخطی به هر فعالیت تولیدی مشاهده شده از تخصیص زمین در سطح منطقه‌ای در دوره مبنا اشاره می‌کند (Howitt, 1995). PMP به‌عنوان رایج‌ترین روش کاربردی برای کالیبراسیون یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی طی سه مرحله دنبال می‌شود (Howitt, 1995):

الف) تصریح مدل برنامه‌ریزی خطی با در نظر گرفتن محدودیت‌های کالیبراسیون: در این مرحله، قیدهای کالیبراسیون به برنامه خطی سال پایه با مقید کردن حل

کاهش محصول نامیده می‌شود.  $W_p$ ، حداکثر آب آبیاری موردنیاز گیاه و  $W_a$ ، مقدار آب آبیاری موردنیاز گیاه در دوره‌های مختلف رشد می‌باشد. ضرایب  $KY_i$  برای مراحل مختلف رشد گیاهان در نشریه شماره ۳۳ آبیاری و زهکشی سازمان خواروبار جهانی (FAO) گزارش و در جدول (۱) ارائه شده است (Kirda et al., 2004). رابطه فوق در هریک از مراحل مختلف رشد اعمال می‌شود. در این تابع استراتژی‌های کم‌آبیاری به‌گونه‌ای تعریف شده است که اگر کم آبیاری در یک دوره اتفاق افتد در سایر دوره‌ها آبیاری به‌صورت کامل در نظر گرفته شده است. برای تعیین اثر کم‌آبیاری در طول دوره‌های مختلف رشد از رابطه (۲) استفاده شد که در آن  $x$ ، مقدار کاهش نسبی مصرف آب طی دوره رشد (کوچکتر یا مساوی یک) می‌باشد.

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

در این مطالعه استراتژی کم‌آبیاری (میزان تنش) در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد در مراحل مختلف رشد محصولات اعمال شد. لازم به ذکر است، بر اساس داده‌های سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان، متوسط عملکرد محصول در شرایط بدون تنش آبی به عنوان  $Y_p$  در نظر گرفته شد. پس از تعیین متوسط عملکرد محصول، عملکرد واقعی ( $Y_a$ ) با اعمال تنش آبی برای محصولات منتخب با استفاده از نرم‌افزار Excel محاسبه شد.

مراحل رشد محصولات شامل مرحله رشد رویشی<sup>۱</sup>، گل‌دهی<sup>۲</sup>، شکل‌گیری عملکرد محصول<sup>۳</sup> و رسیدن محصول<sup>۴</sup> برای محصولات آبی گندم، جو، یونجه، شیدر، اسپرس، سیب‌زمینی، پیاز<sup>۵</sup> در نظر گرفته شد. در جدول (۱) ملاحظه می‌شود که مرحله گلدهی برای محصولات حساس‌ترین مرحله نسبت به کم آبی می‌باشد و کاهش آبیاری در این مرحله، موجب بیشترین کاهش عملکرد

1. Initial growth
2. Flowering
3. Yield Formation
4. Ripening

۵. محصولات منتخب مطالعه حاضر، ۹۷/۲ درصد کل سطح زیرکشت دشت دهگلان را به خود اختصاص داده است.

$X_{ij}$  مصرف نهاده (k جایگزین نهاده j است) در تولید محصول i است. لازم به ذکر است که 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. بر اساس مطالعات مختلف در حال حاضر کامل‌ترین روش جهت کالیبراسیون مدل‌های PMP، بر اساس روش حداکثر آنتروپی استوار است (Caplo and Paris, 2008, Howitt, 2005). همچنین  $X_i$  میزان سطح زیر کشت محصول i برحسب هکتار و  $W_i$ ،  $M_i$ ،  $L_i$ ،  $Fertilize_i$  و  $Poison_i$  به ترتیب بیانگر میزان مصرف آب زیرزمینی، نیروی کار، ماشین‌آلات، کود شیمیایی و سموم مصرفی برای تولید محصول i در یک هکتار زمین زراعی هستند. علاوه بر این،  $SW$ ،  $Tland$ ،  $TMachin$ ،  $TFertilize$  و  $TPoison$  به ترتیب کل سطح زیرکشت در دسترس، میزان آب قابل دسترس، نیروی کار، ماشین‌آلات، کودهای شیمیایی و سموم مصرفی در دسترس برای فعالیت‌های زراعی محصولات مدنظر در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند. روابط (۴) تا (۹) 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 (۱۰) نیز بیانگر محدودیت غیر منفی بودن سطح فعالیت‌های زراعی یا محدودیت غیر منفی بودن اراضی زیر کشت می‌باشد.

لازم به ذکر است که مدل بکار گرفته شده تغییرات عوامل تولیدی بیان شده را نسبت به سیاست کم‌آب‌باری مشخص می‌نماید. به دلیل اهمیت نهاده آب و سطح زیر کشت تغییرات این دو عامل اساسی در مطالعه حاضر گزارش شده است. جامعه آماری پژوهش شامل اراضی آبی واقع در دشت دهگلان می‌باشد. در این مطالعه، داده‌ها و اطلاعات مربوط به محصولات زراعی و منابع آب قابل دسترس (آب زیرزمینی) از طریق مراجعه به سازمان‌ها و نهادهای مربوطه (سازمان جهاد کشاورزی و امور منابع آب) برای سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ گردآوری شد. گفتنی است که برای ساخت الگوهای مورد بررسی و

این برنامه به فعالیت‌های مشاهده شده اضافه می‌شود که مقادیر دوگانه برای منابع قابل تخصیص برای هر فعالیت به جز فعالیت نهایی به دست می‌آورد.

ب) کاربرد مقادیر دوگان مدل مرحله اول جهت تعیین پارامترهای تابع هدف غیرخطی: در این مرحله، ارزش‌های دوگانه هر فعالیت همراه مجموعه داده سال پایه با مشتق‌گیری پارامترهای غیرخطی کل توابع تولید متغیر فعالیت به کار گرفته می‌شوند.

ج) کاربرد تابع هدف کالیبره شده در قالب یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به منظور تحلیل سیاست‌ها: در مرحله پایانی نیز پارامترهای تابع تولید مشتق شده و مجموعه داده سال مبنا در مشخص نمودن برنامه غیرخطی PMP استفاده می‌شوند که قیدهای اصلی، به جز قیدهای کالیبراسیون را شامل می‌شود.

مدل تجربی نهایی PMP در این مطالعه به صورت روابط (۳) تا (۱۰) نشان داده شده است:

$$\text{Max GM} = \sum_{i=1}^n X_i \left( P_i \left( \sum_{j=1}^m a_{ij} X_{ij} \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m q_{ijk} X_{ik} X_{kj} \right) - CW_i - \sum_{j=1}^m C_j \right) \quad (3)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^n X_i \leq Tland \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i X_i \leq SW \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n L_i X_i \leq TLabor \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n M_i X_i \leq TMachin \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n Fertilize_i X_i \leq TFertilize \quad (8)$$

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

$$X_i \geq 0 \quad (10)$$

در معادلات فوق، رابطه (۳) به عنوان تابع هدف غیرخطی مدل PMP شامل بیشینه کردن مجموع سود یا بازده ناخالص کشاورزان است. در این رابطه،  $C_j$  شامل کل هزینه‌های تولید محصول به غیر از هزینه مربوط به نهاده آب،  $CW_i$  هزینه استفاده از آب در یک هکتار زمین زراعی محصول،  $q_{ijk}$  ضریب جزء درجه دوم تابع تولید و

شبیه‌سازی سیاست‌ها از نرم‌افزار GAMS<sup>۱</sup> (سیستم مدل‌سازی جبری تعمیم‌یافته) استفاده شده است.

## نتایج و بحث

در ابتدا، نتایج به‌دست‌آمده از حل الگو و سپس اثرات اتخاذ سیاست کم‌آبیاری بر الگوی کشت، مصرف نهاده آب و سود ناخالص نشان داده می‌شود. با توجه به به‌کارگیری روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی در رابطه با تعیین الگوی بهینه کشت در منطقه مورد مطالعه، نتایج حاصل از اجرای مدل در دو حالت کالیبره و حالت بهینه در جدول شماره (۲) نشان داده شده است. همانگونه که در جدول قابل مشاهده است، مقادیر سال پایه (وضعیت موجود) بر مقادیر به‌دست‌آمده از الگوی بهینه به‌دست‌آمده از PMP تا حدود بسیار بالایی منطبق است که نشان‌دهنده کالیبراسیون مناسب مدل می‌باشد.

جدول ۲. مقایسه سطح زیر کشت مدل مینا و نتایج کالیبره

حل مدل PMP		
محصول	مدل مینا (هکتار)	نتایج حل PMP (هکتار)
گندم	۷۰۰۰	۷۰۰۰/۷
جو	۶۰۶	۶۰۴/۲
یونجه	۵۵۱۴	۵۵۱۴/۵
سیب‌زمینی	۴۹۳۵	۴۹۳۵/۵
اسپرس	۱۱۹	۱۱۹
شبدر	۱۵۳	۱۵۳
پیاز	۱۷۲	۱۷۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که پیشتر بیان شد، کم‌آبیاری در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد در مراحل مختلف رشد از جمله مرحله رشد رویشی، گل‌دهی، شکل‌گیری عملکرد و مرحله رسیدن محصول برای محصولات آبی گندم، جو، یونجه، شبدر، اسپرس، سیب‌زمینی و پیاز اعمال و در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که در این مطالعه، از میان نتایج سناریوهای مختلف و بر مبنای تابع

هدف مدل (سود ناخالص)، فقط نتایج سه سناریوی برتر گزارش شده است.

نتایج برآورد الگو در شرایط سناریوی اول، یعنی کاهش ۱۰ درصد کم‌آبیاری در مرحله رسیدن محصولات گندم، جو، سیب‌زمینی و پیاز و ۱۰ درصد در مرحله رشد رویشی برای محصولات یونجه، شبدر و اسپرس در جدول (۳) نشان داده شده است. اثر تنش کم‌آبیاری در این مراحل با کمترین کاهش عملکرد در محصولات مواجه می‌باشد. طبق نتایجی که در جدول قابل مشاهده است در اثر اعمال این سیاست، سطح زیر کشت محصولات گندم، جو، شبدر، پیاز و سیب‌زمینی نسبت به الگوی کشت فعلی کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که محصولاتی که صرفه اقتصادی بالاتری به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری دارند، با افت کمتری از لحاظ سطح زیر کشت مواجه شده‌اند. یونجه به دلیل اینکه یکی از مهمترین گیاهان علوفه‌ای برای تغذیه دام می‌باشد و بازدهی اقتصادی بالایی به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری دارد، سطح زیر کشت آن نسبت به وضعیت موجود افزایش یافته است. در مجموع سطح زیر کشت محصولات منتخب به میزان ۳/۵ درصد نسبت به وضعیت موجود (سال پایه) کاهش و به‌صورت کشت-نشده و آیش درآمد است، که به نوبه خود فشار بر زمین را کاهش می‌دهد و امکان عملیات خاک‌ورزی و حفاظت خاک را افزایش می‌دهد. در شرایط سناریوی اول، تغییراتی در سطح زیر کشت گیاه علوفه‌ای اسپرس ایجاد نشده است. می‌توان گفت که گیاه اسپرس، به دلیل عدم ایجاد نفخ، علوفه بسیار مرغوبی برای دام‌ها به‌ویژه دام‌های شیرده است. از طرفی دیگر این محصول در شرایط فعلی کمترین سطح زیر کشت را دارد، به‌نحوی که در مجموع کمتر از یک درصد زمین‌های منطقه به کشت این محصول اختصاص پیدا کرده است و با اعمال کم‌آبیاری واکنش‌چندانی به این سیاست نشان نخواهند داد. زارعان پس از کاهش آب در دسترس سعی می‌کنند، محصولاتی که به نسبت سایر محصولات به ازای هر مترمکعب آب، صرفه اقتصادی بیشتری دارند را

1 Generalized Algebraic Modeling System, GAMS/MINOS (Brooke et al., 1988)



ناخالص پایین تر برخوردارند را به میزان بیشتری کاهش دهند.

در الگو حفظ کنند و در عوض سطح زیر کشت محصولاتی را که از آبیاری بالاتر و درعین حال از سود

جدول ۳. مقایسه الگوی فعلی کشت محصولات با نتایج حاصل از حل مدل PMP در سناریوی اول

اعمال راهبرد کم آبیاری				نتایج حل PMP		محصول
مقدار آب مصرفی		الگوی کشت		مقدار آب مصرفی	اراضی سال پایه	
%Δ	(1000 m <sup>3</sup> )	%Δ	(ha)	(1000 m <sup>3</sup> )	(ha)	
-۱۸/۵	۴۱۷۷۸/۶	-۹/۱	۶۳۵۹	۵۱۱۰۰	۷۰۰۰/۷	گندم
-۳۳/۴	۲۲۱۷/۷	-۲۵/۸	۴۴۸	۳۳۳۳	۶۰۴/۲	جو
-۲۹/۴	۶۴۲۳۷/۵	۳/۵	۵۷۱۰	۹۰۹۸۱	۵۵۱۴/۵	یونجه
-۱۴	۴۸۷۵۹/۵	-۰/۵	۴۹۱۱	۵۶۷۵۲/۵	۴۹۳۵/۵	سیبزمینی
-۱۰	۱۲۸۵/۲	۰	۱۱۹	۱۴۲۸	۱۱۹	اسپرس
-۱۱/۸	۱۶۲۰	-۲	۱۵۰	۱۸۳۶	۱۵۳	شیدر
-۱۸/۹	۱۶۷۴	-۹/۹	۱۵۵	۲۰۶۴	۱۷۲	پیاز
-۲۲/۱	۱۶۱۵۷۲/۵	-۳/۵	۱۷۸۵۲	۲۰۷۴۹۴/۵	۱۸۴۹۸/۹	مجموع

مأخذ: یافته‌های تحقیق

منطقه کمترین منافع اقتصادی را دارا هستند و سیاست کم آبیاری باعث گردیده است که کشاورزان الگوی کشت آبی را انتخاب نمایند که منافع اقتصادی بالایی در مقابل سایر محصولات داشته باشند. از طرفی دیگر به ترتیب مجموع سطح زیر کشت محصولات منتخب و مقدار آب مصرفی به اندازه ۷/۴ و ۳۰/۵ درصد کاهش یافته است. سطح زیر کشت محصولات یونجه، سیبزمینی و پیاز، به دلیل ارزش اقتصادی یا صرفه اقتصادی بالاتر، حاصل از هر هکتار آنها نسبت به دیگر محصولات الگو در منطقه مورد بررسی نسبت به سیاست کم آبیاری کمتر واکنش نشان داده و کاهش یافته‌اند.

نتایج به دست آمده از محاسبه مدل و اعمال سناریوی دوم، یا سیاست کم آبیاری در سطح ۱۰ درصد در مرحله رشد رویشی برای محصولات گندم، جو و پیاز، ۲۰ درصد در مرحله رسیدن محصول سیبزمینی و ۲۰ درصد کم آبیاری در مرحله رشد رویشی برای محصولات یونجه، شیدر و اسپرس در جدول (۴) نشان داده شده است. در این سناریو نیز تغییرات الگوی کشت شدیدتر از وضعیت قبلی است، به گونه‌ای که برعکس سناریوی اول، در این سناریو اسپرس بیشترین کاهش را نسبت به سطح زیر کشت سال پایه داشته است. از دلایل کاهش شدید سطح زیر کشت جو، اسپرس و شیدر می‌توان گفت که این محصولات نسبت به محصولات زراعی

جدول ۴. مقایسه الگوی فعلی کشت محصولات با نتایج حاصل از حل مدل PMP در سناریوی دوم

اعمال راهبرد کم آبیاری				نتایج حل PMP		محصول
مقدار آب مصرفی		الگوی کشت		مقدار آب مصرفی	اراضی سال پایه	
%Δ	(1000 m <sup>3</sup> )	%Δ	(ha)	(1000 m <sup>3</sup> )	(ha)	
-۲۰/۸	۴۰۴۳۱/۸	-۱۲	۶۱۵۴	۵۱۱۰۰	۷۰۰۰/۷	گندم
-۳۵/۵	۲۰۴۹/۳	-۳۱/۵	۴۱۴	۳۳۳۳	۶۰۴/۲	جو
-۴۱/۷	۵۳۰۲۰	-۳/۸	۵۳۰۲	۹۰۹۸۱	۵۵۱۴/۵	یونجه
-۲۰/۳	۴۵۲۳۶/۴	-۰/۴	۴۹۱۷	۵۶۷۵۲/۵	۴۹۳۵/۵	سیبزمینی
-۵۵	۶۴۳/۲	-۴۳/۵	۶۷	۱۴۲۸	۱۱۹	اسپرس
-۴۵	۱۰۰۸	-۳۱/۴	۱۰۵	۱۸۳۶	۱۵۳	شیدر
-۱۵/۲	۱۷۴۹/۶	-۵/۸	۱۶۲	۲۰۶۴	۱۷۲	پیاز
-۳۰/۵	۱۴۴۱۳۸/۳	-۷/۴	۱۷۱۲۱	۲۰۷۴۹۴/۵	۱۸۴۹۸/۹	مجموع

مأخذ: یافته‌های تحقیق

محصولات گندم، جو، اسپرس، شبدر و پیاز نسبت به شرایط فعلی کاهش یافته است و الگوی کشت به نفع محصولات سیبزمینی و یونجه که صرفه اقتصادی بالاتری به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری دارند، پیش می‌رود. استراتژی کم‌آبیاری باعث شده است که کشاورزان الگوی کشت آبی را انتخاب نمایند که منافع اقتصادی بالایی در مقابل سایر محصولات داشته باشد. همچنین، نتایج گویای آن است که در شرایط کاهش منابع آب در دسترس کشاورزان منطقه دشت دهگلان، محصول جو در مقایسه با دیگر محصولات الگو از بیشترین میزان حساسیت (بیشترین میزان تغییرات) برخوردار بوده و بیشترین کاهش سطح زیرکشت را نیز به خود اختصاص داده است که این امر عدم توسعه سطح زیرکشت آن را برای کشاورزان منطقه در شرایط بحران کم‌آبی بازگو می‌کند.

نتایج مربوط به تغییرات الگوی کشت و مصرف نهاده آب حاصل از حل مدل PMP در سناریوی سوم برآثر تنش کم‌آبی ۲۰ درصد در مرحله رسیدن محصولات گندم، جو و پیاز، ۳۰ درصد تنش در مرحله رشد رویشی برای گیاهان علوفه‌ای یونجه، اسپرس و شبدر و ۲۰ درصد کم‌آبیاری در مرحله رسیدن محصول سیبزمینی در جدول (۵) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که مقدار کاهش عملکرد در اثر تنش ۱۰ درصد در مرحله رشد رویشی با افت عملکرد در ۳۰ درصد تنش در مرحله رسیدن محصول سیبزمینی یکسان بوده است، لذا با توجه به صرفه جویی در نهاده کمیاب آب و به دلیل صرفه‌جویی بیشتر این نهاده با ارزش، کم‌آبیاری ۳۰ درصد در مرحله رسیدن محصول در مدل لحاظ و در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در جدول قابل مشاهده است، در سناریوی حاضر سطح زیر کشت

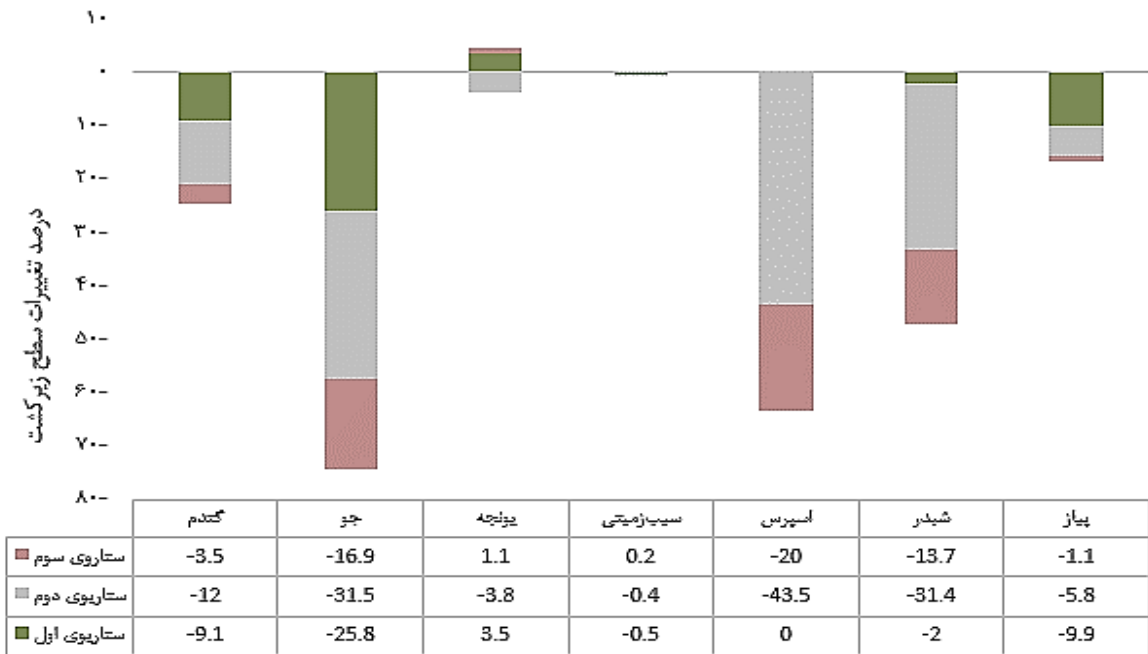
جدول ۵. مقایسه الگوی فعلی کشت محصولات با نتایج حاصل از حل مدل PMP در سناریوی سوم

اعمال راهبرد کم‌آبیاری				نتایج حل PMP		محصول
مقدار آب مصرفی		الگوی کشت		مقدار آب مصرفی	اراضی سال پایه	
%Δ	(1000 m <sup>3</sup> )	%Δ	(ha)	(1000 m <sup>3</sup> )	(ha)	
-۲۲/۸	۳۹۴۲۰	-۳/۵	۶۷۵۰	۵۱۱۰۰	۷۰۰۰/۷	گندم
-۳۷/۹	۲۰۷۰/۷	-۱۶/۹	۵۰۲	۳۳۳۳	۶۰۴/۲	جو
-۴۶/۳	۴۸۸۲۵	۱/۱	۵۵۸۰	۹۰۹۸۱	۵۵۱۴/۵	یونجه
-۲۹/۸	۳۹۸۱۵/۳	۰/۲	۴۹۴۶	۵۶۷۵۲/۵	۴۹۳۵/۵	سیبزمینی
-۴۴/۱	۷۹۸	-۲۰	۹۵	۱۴۲۸	۱۱۹	اسپرس
-۳۹/۶	۱۱۰۸/۸	-۱۳/۷	۱۳۲	۱۸۳۶	۱۵۳	شبدر
-۲۱	۱۶۳۲	-۱/۱	۱۷۰	۲۰۶۴	۱۷۲	پیاز
-۳۵/۵	۱۳۳۶۶۹/۸	-۱/۷	۱۸۱۷۵	۲۰۷۴۹۴/۵	۱۸۴۹۸/۹	مجموع

مأخذ: یافته‌های تحقیق

محصولات داشته باشند. درصد تغییرات الگوی کشت محصولات منتخب در اثر سیاست‌های مختلف کم‌آبیاری در سناریوی اول تا سوم در شکل (۲) نشان داده شده است.

به‌طورکلی نتایج این بخش حاکی از آن است که اعمال استراتژی کم‌آبیاری بر مراحل کم حساس رشد محصولات منتخب نسبت به تنش آبی، باعث شده است که کشاورزان الگوی کشت آبی محصولاتی را انتخاب نمایند که منافع اقتصادی بالایی در مقابل سایر



شکل ۲. درصد تغییرات الگوی کشت در اثر سناریوهای کم آبیاری

در مطالعه حاضر اثرات استراتژی کم آبیاری در مراحل مختلف رشد محصولات علاوه بر الگوی کشت و مصرف نهاده آب، بر درآمد مزرعه که یکی دیگر از متغیرهای تأثیرپذیر از این سیاست می باشد، تحلیل و ارزیابی شد. جدول (۶) نتایج به دست آمده در این زمینه را نشان می دهد.

همانطور که پیشتر بیان شد، باتوجه به نتایج جدول فوق، این سیاست تأثیر چندانی بر سطح زیرکشت محصولات آب بری مانند سیب زمینی و یونجه (به دلیل سوددهی اقتصادی بالاتر) نداشته است و صرفاً با کاهش سطح زیرکشت سایر محصولات همراه بوده است.

جدول ۶. تغییرات سود، آب مصرفی و سطح زیر کشت محصولات زراعی در سناریوهای مختلف کم آبیاری

سناریوی سوم	سناریوی دوم	سناریوی اول	الگوی فعلی	
۱۱۹۰۷۶/۴	۱۲۶۷۸۰/۳	۱۳۳۳۷۳/۳	۱۳۹۸۱۶/۴	بازده برنامه ای (میلیون تومان)
-۱۴/۸	-۹/۳	-۴/۶	-	(درصد تغییرات)
۱۳۳۶۶۹/۸	۱۴۴۱۳۸/۶	۱۶۱۵۷۲/۵	۲۰۷۴۹۴/۵	مقدار آب مصرفی (هزار مترمکعب)
-۳۵/۵	-۳۰/۵	-۲۲/۱	-	(درصد تغییرات)
۱۸۱۷۵	۱۷۱۲۱	۱۷۸۵۲	۱۸۴۹۸/۹	سطح زیر کشت محصولات (هکتار)
-۱/۷	-۷/۴	-۳/۵	-	(درصد تغییرات)

مأخذ: یافته های تحقیق

ناخالص حاصل از کشت محصولات تولیدی منطقه به میزان حدود ۴/۶ درصد شده است. از طرفی دیگر، نتایج سناریوی دوم و سناریوی سوم نشان می دهد، اگرچه که سود ناخالص کشاورزان دشت دهگلان نسبت به سال پایه کاهش می یابد، اما این کاهش سود با

با توجه به نتایج جدول (۶)، ملاحظه می شود که اعمال سیاست کم آبیاری در سناریوی اول، ضمن کاهش سطح زیر کشت محصولات زراعی منطقه و کاهش فشار بر زمین کشاورزی و همچنین مقدار مصرف آب به ترتیب به میزان ۳/۵ و ۲۲/۱ درصد، موجب کاهش سود

صرفه‌جویی در برداشت حجم زیادی از نهاده کمیاب آب زیرزمینی در سطح مزارع همراه است. به عبارت دیگر می‌توان گفت، با کاهش مصرف آب، میزان درآمد به دلیل کاهش عملکرد محصولات زراعی نیز کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که در سناریوی دوم و سوم، سود ناخالص مزرعه به ترتیب به مقدار ۹/۳ و ۱۴/۸ درصد کاهش یافته و میزان صرفه‌جویی در نهاده آب به مقدار قابل توجه بیشتر شده است. بنابراین برنامه توزیع آب باید به گونه‌ای تنظیم شود که کاهش محصول به صورت کمینه اتفاق بیفتد و از کاهش شدید سود جلوگیری شود. لذا می‌توان با انتخاب سناریوهای کم‌آبیاری در مصرف آب صرفه‌جویی کرده و از این طریق به پایداری و حفظ منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان کمک شایانی نمود.

#### جمع‌بندی و پیشنهادها

کمبود منابع آب سطحی سبب برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان و افت شدید سطح سفره‌های آب زیرزمینی شده است. با توجه به وضعیت نامناسب منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان و بدلیل گسترش سطح زیرکشت محصولات با نیاز آبی بالا و برداشت‌های بی‌رویه در سال‌های اخیر، ارتفاع سطح آب در سفره‌های این دشت به شدت کاهش یافته و منابع آب زیرزمینی با خطر جدی تخریب مواجه شده است. در این پژوهش تاثیر تنش‌های کم‌آبی در یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی بر روی میزان درآمد، سطح زیرکشت محصولات عمده زراعی و میزان مصرف آب از منابع آب زیرزمینی در دشت دهگلان مورد بررسی قرار گرفت. برای حل مدل از داده‌های سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و نرم‌افزار GAMS استفاده شد. نتایج نشان داد که اعمال سناریوهای مختلف کم‌آبیاری بر مراحل از رشد محصولات که عملکرد حساسیت کمتری نسبت به تنش آبی دارد، الگوی کشت به نفع محصولاتی که درآمد بیشتری را به ازای میزان مصرف کمتر آب ایجاد می‌کنند، پیش می‌رود. به عبارت دیگر، کشاورزان پس از اعمال کم‌آبیاری سعی می‌کنند، محصولاتی که به نسبت سایر محصولات به ازای هر مترمکعب آب آبیاری، صرفه

اقتصادی بیشتری دارند (مانند سیب‌زمینی و یونجه) را در الگو حفظ کنند و در عوض سطح زیر کشت محصولاتی که از سود دهی پایین‌تر برخوردارند را به میزان بیشتری کاهش دهند. نکته قابل تامل نتایج فوق این است که با کاهش آب آبیاری، لزوماً محصولات با نیاز آبی کمتر مانند گندم، جو، شبدر و یا اسپرس بیشتر وارد الگوی کشت نمی‌شوند؛ بلکه متغیرهای اقتصادی و میزان بازده برنامه بالای محصولات، فاکتور مهمتری در این زمینه به شمار می‌آید. کشاورزان حاضرند بخشی از زمین آبی خود را به صورت کشت نشده و آیش باقی بگذارند ولی حاضر به وارد کردن محصولات کم بازده با نیاز آبی کمتر نخواهند بود. نکته مهم دیگر در مطالعه حاضر این است که هرچند کاهش سود ناخالص حاصل از تولید محصولات کشاورزی در نتیجه اعمال کم‌آبیاری اجتناب‌ناپذیر است، ولی این کاهش در صورت رعایت الگوی کشت مناسب اقتصادی، با صرفه‌جویی مقدار زیادی از آب همراه است. به عبارت دیگر، با کاهش عرضه منابع آب، ارزش اقتصادی آب که بیانگر ارزش کمیابی این منبع است، افزایش یافته و کشاورزان را به کشت‌های با ارزش اقتصادی بالاتر سوق می‌دهد و از این طریق بخشی از کاهش درآمد جبران می‌شود. از دیگر نتایج این تحقیق، کاهش سطح زیرکشت گیاهان علوفه‌ای شبدر و اسپرس و افزایش سطح زیرکشت یونجه پس از اعمال برنامه سیاستی کم‌آبیاری است. لذا توصیه می‌شود که به منظور تأمین علوفه دام‌ها و احشام دامداری‌ها و واحدهای پرورش دام این منطقه، سطح زیرکشت یونجه جایگزین شبدر و اسپرس شود و از توسعه سطح زیرکشت محصول شبدر و اسپرس در منطقه خودداری شود. با توجه به نتایج فوق، در راستای بهبود منابع آب‌های زیرزمینی دشت دهگلان پیشنهاد می‌شود با مدیریت صحیح کم‌آبیاری در مراحل خاصی از رشد محصولات و استفاده از استراتژی‌های مختلف کم‌آبیاری، گزینه‌های انتخاب بیشتری در اختیار کشاورز قرار گیرد تا کشاورز در شرایط مختلف امکانات آبی، از آنها به نحو مناسب‌تری استفاده نماید.

## REFERENCES

1. Asaadi M.A. 2017. Economic Analysis of Deficit Irrigation Strategies for Managing Agricultural Water Resources (Case Study: Qazvin Plain Irrigation Network), M.Sc. Dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran. Iran. (In Persian)
2. Asaadi M.A., Hajirahimi M., & Mortazavi S.A. 2018. The effects of restriction policy of agricultural water supply on cropping pattern: A Case Study of Dehgolan Plain in Kurdistan Province, *Agricultural Economics & Development*, In press. (In Persian)
3. Bakhsi A, Daneshvar-Kakhki M, Moghaddasi R (2011) An Application of Positive Mathematical Programming Model to Analyze the Effects of Alternative Policies to Water Pricing in Mashhad Plain. *Agricultural Economics & Development*, 25(3): 284-294. (In Persian)
4. Baniasadi M, Zare Mehrjerdi M, Mirzaei KhalilAbad H, Rezaee A, Hasanvand M (2017) Study of Cropping Pattern Changes and groundwater Resources Extraction by Implementing Reduced Water Consumption Policies in Orzuiyeh Plain of Kerman Province, *Agricultural Economic*, 11(3): 111-129. (In Persian)
5. Brooke, A., Kendrick, D., Meeraus, A. 1988.: GAMS: A User's Guide. The Scientific Press, Redwood City, CA.
6. Buysse, J. 2006. Farm-level mathematical programming tools for agricultural policy support. Ph.D. Dissertation, Univ. of Ghent, Belgium.
7. Caplo, S. and Paris, Q. 2008. Assessing the effectiveness of voluntary solid waste reduction policies: Methodology and a Flemish case study, *Waste Management*, 28(8): 1449-1460.
8. Cochran William. G. 1977, *Sampling Techniques*, Third Edition.
9. Daneshvarkakhki M, Shahnoshi N, Khajeh-Roshanee N (2010) Investigating and determining the comparative advantage of crops in Khorasan Razavi province with a focus on water, *Agricultural Economics and Development*, 71: 121-140. (In Persian)
10. Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Papers* 33. FAO, Rome, Italy.
11. English, M. 1990. Deficit irrigation. I. Analytical framework, *J. Irrig. Drain E. ASCE*, 116 , pp. 399-412.
12. English, M., & Raja, S.N. 1996. Perspectives on deficit irrigation, *Agr. Water Manage.*, 32, pp. 1-14.
13. English, M.J., Musick, J.T., and Murty, V.V.N. 1990. Deficit irrigation. In: *Management of farm irrigation systems* (Hoffman, G.J., Howell, T.A., and Solomon, K.H., Editors). ASAE Monograph no. 9. Amer. Soc. Agri. Engin. Pub. 1020p.
14. 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)
15. Ghaderzadeh H, Kazemi S, Hajirahimi M (2016) A survey of water resources sustainability in agricultural sector of Dehgolan Country. *Journal of Environment and Water Engineering*, 2(1): 102-110. (In Persian)
16. Ghorghani F, Bostani F, Soltani Gh (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 Economic Research*, 1(1): 57-74. (In Persian)
17. Göksoy, A.T., A.O. Demir, Z.M. Turan and N. Dagustu. 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Res.* 87: 167-178.
18. Golbaz M, Heidari B, Hoseinzad-Firozi J, Hayati B, Riyahi Dorcheh F (2017) Economic, Social and Environmental Impacts Evaluation of Tangab Dam and Water Network in Firuzabade Fars. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 48(2): 179-195. (In Persian)
19. Howitt, R. E. 2005. *Agricultural and Environmental Policy Models: Calibration, Estimation, and Optimization*. Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, Davis, USA
20. Howitt, R.E. 1995. A Calibration Method for Agricultural Economic Production Model; *Journal of Agricultural Economic*, 46: 147-159.
21. Howitt, R.E. 1995. Positive Mathematical Programming; *American Journal of Agricultural Economics* 77: 329-342.
22. Igbadun, H, E., Ramalan, A. A., Oiganji, E. 2012. Effects of regulated deficit irrigation and mulch on yield, water use and crop water productivity of onion in Samaru, Nigeria, *Agricultural Water Management* Volume 109:162-169.

23. Jarfab Payesh Consulting Engineers. 2011. Semi-Detailed Studies of Groundwater Resources in Dehgolan Study Range.
24. Jia, O., Sun, L., Ali, Sh., Liu, D., Zhang, Y., Ren, X., Zhang, P & Jia, Z. 2017. Deficit irrigation and planting patterns strategies to improve maize yield and water productivity at different plant densities in semi-arid regions, *Scientific Reports* 7, Article number: 13881.
25. 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)
26. Kirda, C., Cetin, M., Dasgan, Y., Topcu, S., Kaman, H., Ekici, B., Derici M. R. and Ozguven, A. I. 2004. Yield Response of Greenhouse Grown Tomato to Partial Root Drying and Conventional Deficit Irrigation. *Agric. Water Manag.*, 69: 191-201.
27. Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C., Nielsen, D.R. (Eds.), 1999. *Crop Yield Response to Deficit Irrigation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
28. Kohansal MR, Ghorbani M, Rafiee H (2009) Investigation of environmental and non-environmental factors affecting the adoption of rain irrigation (Case study: Khorasan Razavi province), *Agricultural Economic and Delopment*, 65: 97-112. (In Persian)
29. Krause S, Bronstert A .2007. The impact of groundwater-surface water interactions on the water balance of a mesoscale lowland river catchment in northeastern Germany. *Hydrol Process* 21:169-184.
30. Kurdistan Regional Water Authority. (2013). *Annual Reports*. (In Persian)
31. Lalehzari, R., Boroomand Nasab, S., Moazed, H. and Haghighi, A. 2015. Multiobjective management of water allocation to sustainable irrigation planning and optimal cropping pattern, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.*, 10.1061/ (ASCE) IR, 1943- 4774.0000933, 05015008.
32. Lundberg M., and Rich K. 2002. *Multimarket models and policy analysis: An application to Madagascar*. Washington, DC: World Bank (Processed).
33. McCarl B.A., and Spreen T.H. 1997. *Applied mathematical programming using algebraic systems*. Available at <http://agecon2.tamu.edu>.
34. Medellin-Azuara, J., Harou, J. and Howitt, R. 2010. Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation, *Science of the Total Environment*, 408: 5639-5648.
35. Meyer, S.J., K.G. Hubbard., and D.A. Wilhite. 1993. "A cropspecific drought index for corn: I. Model development and validation." *Agronomy Journal*, Vol. 85, pp. 388-395.
36. Mosavi SN, Ghorghani F (2011) Assessing Policies of Irrigation for Groundwater by Positive Mathematical Programming (PMP) Case Study: Eghlid, *The Economic Research*, 11(4): 65-82. (In Persian)
37. Mushtaq, Sh., And 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.
38. 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)
39. Paris, Q. and Howitt, R.E. 1998. An analysis of ill-posed production problems using Maximum Entropy. *American Journal of Agricultural Economics*, 80(1): 124-138.
40. Paris, Q., Montesor., F., Arfini., & Mazzocchi. M. 2000. An integrated multi-phase Model for Evaluating Agricultural Policies Through Positive Information. *EAAE Seminar on Agricultural Sector Modeling*, Bonn, 29-31 Marzo, pp 17.
41. Payesh Compani (2011). *Report of Extension of Prohibition in Dehgolan Plain*. (In Persian)
42. 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 Droodzan Irrigation Network. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(3): 35-52. (In Persian)
43. Sepaskhah, A. R., Azizian, A., & A.R. Tavakoli. 2006. Optimal applied water and nitrogen for winter wheat under variable seasonal rainfall and planning scenarios for consequent crops in a semi-arid region. *Agr. Water Manage.*, 84, pp. 113-122.
44. Sepaskhah, A.R., & D. Akbari. 2005. Deficit irrigation planning under variable seasonal rainfall, *Biosyst. Eng.*, 92, pp. 97-106.
45. Sharghi T, Kalantari K, Asadi A, Jomehpour M (2017) Simulating the Simultaneously effects of Climate Change and Policy of Water transfer from Agriculture to Industry on Horticultural Products

- (Case of Yazd Province). Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 47(4): 851-863. (In Persian)
46. 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)
  47. 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)
  48. Tahamipoor-Zarandi M, Yazdani S (2016) The Role of Economic Instruments in IWRM: The Case Study of Irrigation Water Pricing in Western Basins of Iran. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 47(3): 545-556. (In Persian)
  49. Tavakoli AL (2003) Deficit irrigation and nitrogen effects on yield and yield components of wheat, Agricultural Journal, 26(2): 75-87. (In Persian)
  50. Taylor, H. M., Jordan, W. R., & Sinclair, T.R. 1983. Limitations to Efficient Water Use in Crop Production, American Society of Agronomy, Crop Society of America, Soil Science Society of America, USA.
  51. Varziri, A. 2015. Evaluation of Water Pricing Policies on Water Consumption in Agricultural Sector (Case Study: Dehgolan Township), M.Sc. Dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran. Iran. (In Persian)
  52. World Energy Council (WEC). 2001. Energy Efficiency Policies and Indicators, Report by the World Energy Council, London, United Kingdom.
  53. Yadavar H, Kohstani H, Kharrazi S (2017). The introduction of applied manners for farmers' participation in irrigation management transfer (case study: Ghale-Chay irrigation and drainage network, Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 48(2): 355-368. (In Persian)
  54. Yang, Z., Zhou, Y., Wenninger, J., Uhlenbrook, S., Wang, X., & Wan, L. 2017. Groundwater and surface water interactions and impacts of human activities in the Hailiutu catchment, northwest China. Hydrogeology Journal, Volume 25, Issue 5, pp 1341-1355.
  55. Yazdani S, Mahmoodi A, Yavari GR, Shokat-Fadee M, Nazari MR, Mirzaee M (2016) Analysis of the Economic Effects of Nonprice Policy Reduced Water Supply in Qazvin Plain. Quarterly Journal of Economic Growth and Development Research, 2(3): 89-98. (In Persian)
  56. Zeraatkish Y (2016) Estimating economic value of agricultural water (Case Study of lishter plain). Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 47(1): 259-269. (In Persian)
  57. Zhang, H. and Oweis, T. 1999. Water-Yield Relations and Optimal Irrigation Scheduling of Wheat in the Mediterranean Region. Agricultural Water Management, 38, 195-211.