Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هفدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰
Volume 17, No. 2, Summer 2021 (IR-WRR)
۴۹-۶۱

مدیریت اقتصادی- محیط زیستی اراضی زارعی با تأکید بر کاهش برداشت آب زیرزمینی در شرایط عدم قطعیت بارندگی: مطالعه موردی منطقه قره‌طغان نکا

سمیه شیرزادی لسکوکلایه[۱*] و فاطمه کشیری کلائی[۲]

چکیده

خشکسالی در سال‌های اخیر و استخراج مستمر آب از طریق حفر چاه‌های عمیق منجر به افت سطح آب زیرزمینی شده است. بنابراین لازم است به‌منظور مدیریت مصرف آب زیرزمینی برای به‌کارگیری پایدار منابع آب و همچنین حفظ تعادل محیط زیستی در این منبع مهم، تحقیقات و سیاست‌های مناسبی صورت گیرد. در مطالعه حاضر به‌منظور استفاده بهینه از آب زیرزمینی منطقه زراعی قره طغان نکا، از رویکرد تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره تصادفی در شرایط عدم قطعیت در بارندگی استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز به‌صورت کتابخانه‌ای جمع‌آوری شد و جهت برآورد نتایج از نرم‌افزار GAMS استفاده گردید. برمبنای نتایج، افزایش احتمال بارندگی تا ۹۹ درصد منجر به افزایش سود ناخالص زراعی در منطقه گردید. به‌گونه‌ای که در سناریوهای احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد بارندگی نسبت به احتمال ۹۰ درصد، سود ناخالص به‌ترتیب حدود ۱/۴۴ و ۴/۱۳ درصد افزایش داشت. در این شرایط میزان برداشت آب زیرزمینی در سناریوهای مختلف، بدون تغییر ولی سهم آب زیرزمینی از کل آب مصرفی با کاهش مواجه شد. در مقابل، در شرایط کاهش احتمال بارندگی به ۹۹ درصد نسبت به احتمال ۹۰ درصد، سود ناخالص الگوی کشت پیشنهادی، حدود ۳۳/۳ درصد کاهش یافت. در این شرایط میزان برداشت آب زیرزمینی نیز به دلیل پایین بودن سطح آب زیرزمینی منطقه و نامناسب بودن آن به لحاظ شوری، در حدود ۳۲/۸ درصد کاهش نشان داد. ولی سهم مصرف آب زیرزمینی نسبت به شرایط موجود و در تمامی سناریوهای مذکور، ثابت ماند. لذا با توجه به سهم بالای آب زیرزمینی در کشاورزی منطقه، همچنین افزایش زیان کشاورزان و احتمال افت سطح آب‌های زیرزمینی در سال‌های کم بارش، پیشنهاد می‌شود برای مدیریت بهینه و بهبود شرایط محیط‌زیستی آب زیرزمینی منطقه و همچنین حمایت از وضعیت درآمدی کشاورزان، شرایط مناسب برای استفاده از آب‌های سطحی در منطقه مورد مطالعه فراهم گردد.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، چندمعیاره، آب زیرزمینی، بارندگی، نکا.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۲/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۴/۱۵

۱- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

Economic-Environmental Management of Agricultural Lands with Emphasis on Reducing Groundwater Abstraction under Rainfall Uncertainty: A Case Study of Qareh Toghan Region of Neka

S. Shirzadi Laskookalayeh [1] and F. Kashiri Kolaei [2]*

Abstract

In recent years drought and the continuous extraction of water by digging deep wells have led to a drop in groundwater levels. Therefore, in order to manage groundwater consumption for sustainable use of water resources and also to maintain the environmental balance of this important resource, appropriate research and policies are needed. In the present study, in order to make optimal use of groundwater in Qareh Toghan region of Neka, the stochastic multi-criteria decision analysis approach has been used under rainfall uncertainty condition. The required data were collected as a library and GAMS software was used to estimate the results. Based on the results, by increasing the probability of rainfall up to 99%, an increase in gross margin in the region would happen so that in scenarios of 95% and 99% probability of rainfall, the gross margin was increased by about 1.44 and 4.13%, respectively, compared to the condition of 90% rainfall probability. Under these conditions, the amount of groundwater abstraction in various scenarios remained unchanged but the share of groundwater in the total water consumption decreased. In contrast, in the case of reducing the probability of rainfall to 99% compared to the probability of 90%, the gross margin of the proposed cropping pattern decreased by about 33.3%. In this condition, the amount of groundwater abstraction decreased by about 32.8% due to low groundwater level in the region and its unsuitability in terms of salinity. However, the share of groundwater consumption in relation to the existing conditions and in all the mentioned scenarios remained constant. Therefore, due to the high share of groundwater in agriculture in the region, as well as increasing farmers' losses and the possibility of declining groundwater levels in low rainfall years, it is suggested to provide suitable plans for using surface water in the study area for optimal management, and improving the environmental conditions of groundwater in the region while supporting the income status of farmers.

Keywords: Groundwater, Multi-Criteria, Neka, Optimization, Rainfall.

Received: May 1, 2021
Accepted: July 6, 2021

1- Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University Sari. Email: s.shirzadi@sanru.ac.ir
2- Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University Sari. Email: fkashiri03@gmail.com
*- Corresponding Author
Dor: 20.1001.1.17352347.1400.17.2.4.7

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

تقاضای روز افزون انسان به آب و توسعه کشاورزی در دهه‌های گذشته موجب افزایش بهره‌برداری از منابع آب، به‌ویژه منابع آب زیرزمینی شده است (Bisson and Lehr, 2004). کمبود آب، خسارات اقتصادی، تنش‌های اجتماعی- سیاسی و مخاطرات بهداشتی را به دنبال دارد. منابع آب، مهمترین عامل توسعه در هر کشور و بزرگ‌ترین چالش قرن حاضر قلمداد می‌شود و تخریب و کمبود آن در هر کشور بـــه منزله تخریب پایه‌های تـــوسعه آن کشور تلقی می‌گردد (Maroufi et al., 2014). آمارها نشان می‌دهد در هر سال، ۶۹ درصد از کل منابع آب تجدیدپذیر ایران مورد مصرف قرار می‌گیرد و بـــا استناد به شاخص‌های سازمان ملل متحد، ایـــن کشور در وضعیت بحران آبی قـــرار دارد. از این‌رو در سال‌های اخیر، ایران بـــه دوره جدیدی از بحران زیست محیطی به‌ویژه در حـــوزه آب وارد شـــده است (Zand Razavi et al., 2019).

به دلیل اینکه بخش کشاورزی در ایران، بزرگترین مصرف‌کننده منابع آب محسوب می‌شود و بیشتر از ۹۰ درصد از مصارف آب کشور را به خود اختصاص داده است، لذا پایداری منابع آب کشور بیش از هر چیز تحت تأثیر بهره‌برداری از منابع آب برای انجام فعالیت‌های کشاورزی قرار می‌گیرد (Mohammadjani and Yazdanian, 2014). بر مبنای اطلاعات موجود، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی در کشور در سال ۱۳۸۵ بیش از ۷۹ میلیارد مترمکعب بوده که تا سال ۱۳۹۴ به ۶۱ میلیارد مترمکعب کاهش یافته که حاکی از افت سطح آب‌های زیرزمینی نیز می‌باشد. عامل مهم این برداشت‌ها، بخش کشاورزی بوده به‌طوری که بالغ بر ۹۰ درصد از آن مربوط به مصارف بخش کشاورزی است (Noor, 2017). لذا اصلاح الگوی مصرف در بخش تولیدات کشاورزی می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای اساسی در مقابله با کاهش ذخائر آب زیرزمینی باشد. در این راستا، به اعتقاد بسیاری از محققان، تغییر الگوی کشت و به‌کارگیری روش‌های مناسب آبیاری مهم به‌نظر می‌رسد (Zeraatkish, 2016; Abbasi et al., 2017).

در این راستا، به‌کارگیری روش‌های ریاضی و بهینه‌سازی، می‌تواند تا حد زیادی در مدیریت بهینه مصرف آب زیرزمینی اثرگذار باشد (Fathi and Ziaei, 2010; Pourzand and Zibaei, 2011; Barikani et al., 2012; Li et al., 2009). همچنین، ناکارآمد بودن نگرش تک‌بعدی و لزوم جامع‌نگری در انتخاب بهترین شیوه‌های مدیریتی، اهمیت ویژه درنظرگرفتن معیارهای چندگانه کمی و کیفی و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را بیان می‌دارد (Sadoddin et al., 2010). به‌منظور ارائه یک الگوی کشت مناسب در راستای مدیریت منابع آب، بایستی معیارهای مختلفی نظیر معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی در قالب الگوی تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] (MCDM) مدنظر قرار گیرد (Montilla-López et al., 2018).

از آنجایی‌که، میزان آب در دسترس به دلیل وابستگی به عنصر اقلیمی نظیر بارندگی، مشخص و قابل پیش‌بینی دقیق نیست و به دلیل وجود احتمال شرایط ترسالی و خشکسالی، می‌توان گفت از توزیع تصادفی برخوردار است. لذا ماهیت تصادفی بودن سطح آب‌های سطحی و زیرزمینی، به‌کارگیری روش‌های بهینه‌سازی را با پیچیدگی‌هایی همراه می‌سازد. رویکرد مذکور در منطقه قره طغان نکا که یکی از بخش‌های مهم زراعی ایـــن شهرستان در کشت برنج می‌بـــاشد به‌صورت عملی محاسبه شده است. بر مبنای بررسی Khoshravesh and Valizadeh (2016)، کیفیت آب زیرزمینی در محدوده قره‌طغان نکا نسبت به سایر مناطق دشت ساری- نکا، وضعیت نامناسبی دارد، به‌طوری‌که به‌عنوان مثال به لحاظ شاخص هدایت الکتریکی[2] (EC) در سال‌های دورتر نظیر سال ۱۳۶۴، در بازه ۳۰۰۰-۲۰۰۱ میلی‌گرم بر لیتر قرار داشته است. در حالی که در سال ۱۳۹۰ این شاخص در محدوده ۳۴۸۱-۳۰۰۱ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شده است که بر افزایش شوری آب این منطقه حکایت دارد. با این توضیحات می‌توان گفت برداشت بی‌رویه از طریق پمپاژ از چاه‌ها، مضرات محیط‌زیستی را برای منابع آب زیرزمینی منطقه مذکور به‌دنبال داشته است. لذا لازم است برنامه‌ریزی صحیحی در راستای برداشت بهینه آب زیرزمینی در این منطقه صورت گیرد. در این مطالعه سعی بر آن بوده است که از طریق روش تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره تصادفی مبتنی بر فرم کاب- داگلاس (Montilla-López et al., 2018) به مدیریت آب زیرزمینی در کشت محصولات زراعی منطقه پرداخته شود.

مطالعات فراوانی در زمینه مدیریت مصرف آب در مزارع کشاورزی با روش برنامه‌ریزی چندهدفه و لحاظ عدم قطعیت در نهاده‌های مصرفی از جمله آب در داخل و خارج از کشور انجام شده است. برای مثال Hosseinzadeh et al. (2017) در مطالعه‌ای با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی پویا[3] تأثیر شاخص‌های بارندگی را روی حجم و مصرف آب‌زیرزمینی و الگوی کشت دشت شبستر در افق زمانی ۱۰ ساله بررسی نمودند. نتایج نشان داد که شاخص بارش استاندارد ۴۸ ماهه (SPI48) با شاخص منبع آب‌زیرزمینی (GRI) و ارتفاع سفره آب‌زیرزمینی همبستگی بالایی داشته و تعیین ارتفاع پمپاژ آب براساس شاخص SPI48 موجب بهبود بیلان آبخوان می‌گردد. همچنین سطح زیرکشت محصولات گندم، جو و انگور در شرایط خشکسالی افزایش یافته و سطح زیرکشت محصولات پرآب مانند گوجه‌فرنگی و یونجه کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ای دیگر Avazyar et al. (2018) با

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی خطی قطعی[۴] و برنامه‌ریزی خطی با محدودیت‌های تصادفی، الگوی کشت بهینه و تخصیص بهینه آب را در شرایط عدم قطعیت در دشت‌های کامفیروز و کربال استان فارس تعیین نمودند. آن‌ها محدودیت دسترسی به آب را به‌صورت محدودیت تصادفی در سطوح اطمینان ۹۰، ۹۵، ۹۹ درصد درنظر گرفتند و چهار سناریوی بازده آبیاری را نیز مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود افزایش سطح اطمینان مربوط به محدودیت تصادفی دسترسی به آب، منجر به کاهش سطح کشت شلتوک شد. همچنین، لحاظ سطوح مختلف بازده آبیاری بر سطح کشت تمام محصولات به جز شلتوک، اثر ثابتی داشته است ولی موجب صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش سود زارعین منطقه شده است. Alipoor et al. (2019) با هدف پایداری آب زیرزمینی و حداقل کردن کاهش درآمد کشاورزان، ابتدا چهار سناریوی برداشت از آبخوان تعریف و با استفاده از مدل "سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری نیشابور" برای هر سناریو، تغییرات سطح آب زیرزمینی را محاسبه نمودند. برای حداقل‌سازی کاهش درآمد کشاورزان، بازتخصیص آب به محصولات مختلف و تعیین سطح زیرکشت هر کدام، بر اساس بهره‌وری اقتصادی هر محصول انجام شد. نتایج نشان داد، کاهش تخصیص آب منجر به کاهش ۲۷۰۶۱ هکتار سطح زیرکشت و کاهش حدود ۸۳/۵ میلیارد تومان درآمد خواهد شد. در الگوی پیشنهادی ۱۸۰۰۰ هکتار زعفران یا ۴۴۷۳ هکتار پسته جایگزین کشت‌های فعلی می‌شود و جالیز و چغندرقند بیشترین درصد کاهش سطح زیرکشت را دارند.

Emamifar et al. (2020) مطالعه‌ای را با هدف ارائه الگوی بهینه کشت متناسب با آب قابل برنامه‌ریزی کشاورزی (منابع آب زیرزمینی) در سطح آبخوان محدوده مطالعاتی قم- کهک و جبران کسری تجمعی درازمدت آبخوان با تأکید بر شاخص‌های پایداری کشاورزی با بکارگیری مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی فازی[۵]، انجام داده‌اند. نتایج نشان داد که اجرای الگوهای زراعی پیشنهادی علاوه بر جبران کسری دراز مدت ۶۳۵ میلیون مترمکعبی و تعادل‌بخشی آبخوان محدوده مطالعاتی در افق برنامه‌ریزی، سبب خواهد شد که اشتغال نیروی کار و بهره‌وری فیزیکی مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی به‌ترتیب ۱۰/۷، ۱۰۶، ۴/۱ و ۸/۸ درصد افزایش و مصرف منابع آبی، کودها و سموم شیمیایی به‌ترتیب ۴۸/۲، ۳/۹ و ۸ درصد کاهش، یابد. در مطالعه‌ای دیگر، Meftah Halghi et al. (2020) با استفاده از دو روش برنامه‌ریزی خطی متعارف و برنامه‌ریزی آرمانی، الگوی کشت بهینه و میزان برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی در شهرستانهای گرگان و کردکوی واقع در استان گلستان را تعیین نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که با لحاظ الگوی کشت بهینه پیشنهادی حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی متعارف می‌توان مصرف آب را در دو شهرستان گرگان و کردکوی به‌ترتیب ۱۹/۶ و ۸/۸ درصد کاهش و سود حاصل از تولید محصولات کشاورزی را در شهرستان‌های گرگان و کردکوی به‌ترتیب ۱۲/۶ و ۱۰/۴ درصد افزایش داد.

در مطالعات خارجی، Bekri et al. (2015) در مطالعه‌ای با استفاده از یک روش برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای، در حوضه رودخانه آلفایوس یونان به بهینه‌سازی تخصیص آب در شرایط نامطمئن پرداختند. آن‌ها در مدل مورد استفاده خود مدل معمولی برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای را با فواصل فازی ترکیب نمودند. در مطالعه‌ای دیگر، Gui et al. (2016) برای مقابله با عدم اطمینان ناشی از شرایط طبیعی و فعالیت‌های انسانی در حوضه رودخانه شیانگ در شمال غربی چین، یک روش برنامه ریزی نیمه نامتناهی فازی نادقیق[۶] را برای مدیریت اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار دادند. نتایج ایشان بیانگر یک‌سری مزایای اقتصادی با یک روند صعودی (با مقایسه دوره‌های مختلف) می‌باشد. همچنین با تغییر فعالیت‌های انسانی از منفی به مثبت، منابع آب موجود در شهرستان منقین به تدریج بهبود می‌یابد و آن را برای توسعه پایدار محلی مناسب‌تر می‌نماید. Ren et al. (2018) در مطالعه‌ای به تخصیص بهینه آب و زمین کشاورزی شهر ووی در استان گانسوی چین در یک شرایط توأم با عدم قطعیت پرداختند. به این منظور از روش برنامه‌ریزی فازی تصادفی چند منظوره[۷] استفاده نمودند. اهداف مدنظر در مدل آن‌ها شامل حداکثرسازی سود خالص، حداکثرسازی بهره‌وری آب کشاورزی و حداقل‌سازی میزان آبیاری بوده است. نتایج آنها حاکی از آن بود که محصولات مختلف در الگوی کشت بهینه به‌دست آمده، سطوح کشت و آب مصرفی گوناگونی دارند و محصولاتی که عمدتاً دارای عملکرد بالاتر، هزینه‌های پایین‌تر و یا مصرف آب کمتری نسبت به سایر محصولات می‌باشند، سهم بیشتری در الگوی بهینه دارند. Wang et al. (2019) در پژوهشی برای بهینه‌سازی ساختار مصرف آب براساس خطر کمبود آب با هدف مدیریت منابع آب در بین مصرف‌کنندگان مختلف آب از جمله بخش‌های کشاورزی، صنعتی، خانگی و زیست‌محیطی در وسط حوزه رودخانه Heihe در شمال غربی چین از رویکرد برنامه‌ریزی خطی کسری چند هدفه دو سطحه[۸] (BMLFP) استفاده نمودند. نتایج نشان داد که خطر کمبود آب تأثیر آشکاری بر تخصیص آب کشاورزی داشته در حالی که تأثیر ناچیزی بر بخش‌های صنعتی، خانگی و زیست‌محیطی داشته است. از دیگر مطالعات داخلی و خارجی مرتبط نیز می‌توان به مطالعه (Janat Rostami, 2011; Pourzand and Zibaei, 2011; Bazrafshan et al., 2016; Dai and Li, 2013; Garg and Dadlich, 2014; Xu et al., 2017; Gormaz-Cuevas et al., 2020) اشاره نمود.

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی مطالعات داخلی و خارجی حاکی از اهمیت لحاظ معیارهای چندگانه در تصمیم‌سازی‌های مرتبط با فعالیت کشاورزان می‌باشد و با توجه به بررسی‌های انجام گرفته در ایران مطالعه‌ای یافت نشده است که در قالب رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره تصادفی مبتنی بر فرم کاب- داگلاس به مدیریت منابع آب زیرزمینی پرداخته باشد. اکثر مطالعات انجام شده رویکرد چندهدفه یا چند معیاره داشته ولی یا اهداف و معیارها دقیقاً منطبق بر اهداف و معیارهای مطالعه حاضر نیست و یا از رویکرد جمع‌پذیر در اهداف و یا معیارها استفاده شده است. همچنین مطالعات بسیار اندکی در زمینه بهینه‌سازی برداشت آب زیرزمینی منطبق با هدف مطالعه حاضر، در کشور صورت گرفته است. بنابر اهمیت مدیریت برداشت آب زیرزمینی، در مطالعه حاضر، با استفاده از الگوی تصمیم‌گیری چندمعیاره تصادفی با لحاظ شرایط عدم قطعیت در میزان بارندگی به مدیریت اقتصادی- محیط زیستی آب زیرزمینی در منطقه قره طغان نکا پرداخته شده است.

شهرستان نکا از جمله شهرستان‌های استان مازندران است که در آن به‌دلیل عدم بهره‌گیری از آبهای سطحی، بیش از حدود ۷۰ درصد از منابع آب کشاورزی مورد نیاز از طریق آب زیرزمینی تأمین می‌شود (Agricultural Jihad Management of Neka City, 2019). محصول برنج نیز از میان محصولات زراعی، بیشترین سطح کشت را به خود اختصاص داده، به‌طوری که در شهرستان حدود ۷۵۰۰ هکتار و در منطقه قره طغان حدود ۵۰۰۰ هکتار برنج کشت می‌شود. بالا بودن کشت محصولی مانند برنج از یک سوی و نزدیکی به آبهای شور از سوی دیگر، منجر به کاهش کیفیت آب در چنین دشت‌هایی می‌شود. همانگونه که در قسمت ضرورت تحقیق بیان گردید کیفیت آب زیرزمینی منطقه مذکور نسبت به سایر مناطق دشت ساری- نکا در وضعیت نامناسبی قرار دارد (Khoshravesh and Valizadeh, 2016). موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش پیشنهادی از یک تابع مطلوبیت چندمعیاره[۹] (MAUF) مبتنی بر فرم کاب- داگلاس استفاده شده است. با توجه به این که خطی درنظرگرفتن MAUF برای استخراج و تفسیر آن آسان‌تر است در اکثر مطالعات تجربی، پیاده‌سازی روش MAUT برای شبیه‌سازی تصمیم‌گیری‌های کشاورزان، مبتنی بر MAUFهای جمع‌پذیر و معمولا با یک فرآیند غیر تعاملی مبتنی بر برنامه‌ریزی آرمانی، انجام شده است. با این حال، لازم به ذکر است که جمع‌پذیر فرض نمودن MAUFها، منجر به منحنی‌های بی تفاوتی خطی (که منحنی‌های مطلوبیت یکسان یا منحنی‌های ترجیحات یکسان نیز نامیده می‌شود) می‌شود که شرایطی نسبتاً محدود کننده را ایجاد می‌نماید، زیرا این عمل دربردارنده رفتار بیش از حد ساده شده تصمیم‌گیرندگان واقعی است. این مفهوم همچنین باعث می‌شود تا MAUFهای جمع‌پذیر نادرستی به هنگام شبیه‌سازی تصمیم‌گیری واقعی استخراج شود (Hardaker et al., 2007).

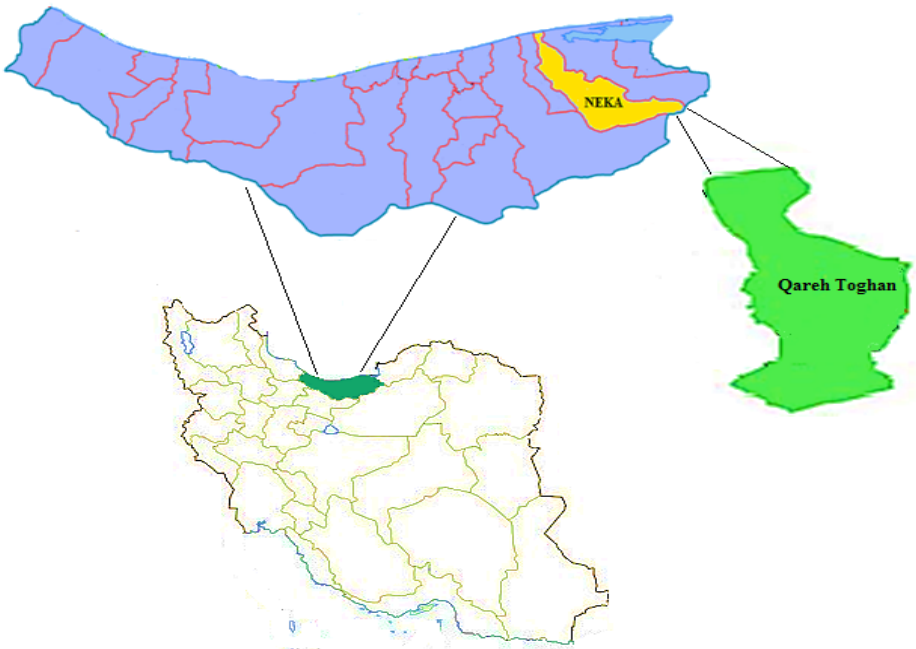


Fig. 1- Location of Qara Taghan Neka region
شکل ۱- شمای کلی از موقعیت منطقه قره طغان نکا

www.SID.ir

Archive of SID

این محدودیت‌ها باعث شده است که نویسندگان از فرم‌های عمومی‌تر و انعطاف‌پذیرتر ضربی MAUFها استفاده کنند که به منحنی‌های بی‌تفاوتی واقعی منجر می‌شود. در حقیقت، همانطور که André and Riesgo (2007) نشان داده‌انـد، استفاده از تـــوابع مطلوبیت ضربی می‌تواند در بازتولید رفتار کشاورزان موفق‌تر از توابع جمع‌پذیر باشد. به همین دلیل محققانی نظیر (Gutiérrez-Martín and Gómez-Gómez, 2011; Gómez-Limón et al., 2016) با استفاده از تابع مطلوبیت کاب- داگلاس، رویکرد تابع مطلوبیت ضربی را مورد استفاده قرار دادند که در مطالعه حاضر نیز مورد استفاده قرار گرفته است. شمای کلی از مراحل انجام کار در شکل ۲ ارائه شده است.

اهداف مدنظر در این مطالعه برای اجرای مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره، مشتمل بر حداکثرسازی سود ناخالص (هدف اقتصادی)، حداقل‌سازی برداشت آب زیرزمینی (هدف محیط زیستی) و حداقل‌سازی ریسک سود (هدف اقتصادی) است که در روابط (۱) تا (۳) نشان داده شده‌اند:

$$\text{Max TGM} = \sum_i GM_i X_i \quad (۱)$$

$$\text{Min GW} \quad (۲)$$

$$\text{Min VAR} = \sum_i \sum_j X_i V_{ij} X_j \quad (۳)$$

در روابط (۱) تا (۳)، i معرف نوع محصول، GM_i سود ناخالص هر هکتار محصول iام، TGM کل سود ناخالص، GW کل برداشت آب‌های زیرزمینی و V_{ij}، ماتریس واریانس- کواریانس سود ناخالص محصولات طی دوره مشخص است. محدویت‌های مدل برنامه‌ریزی مذکور نیز شامل روابط (۴) الی (۸) است:

$$A^w X \le SW + GW \quad (۴)$$

$$A^{nw} X \le B^{nw} \quad (۵)$$

$$GW \le gw0 \quad (۶)$$

$$\frac{GW}{A^w X} \le 0.85 \quad (۷)$$

$$GW = \text{Max}\,(0,\quad A^w X - SW) \quad (۸)$$

در روابط (۴) و (۵)، A^w و A^{nw} به ترتیب میزان استفاده از نهاده آب و نهاده غیر از آب در هر هکتار از کشت محصولات و B^{nw} نیز سطوح موجود از نهاده‌های غیرآبی، SW و GW نیز به‌ترتیب معرف آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد. نهاده‌های غیرآبی محدودکننده در این مطالعه نیز شامل زمین، سرمایه و کودهای شیمیایی می‌باشند. همچنین، رابطه (۶) حاکی از آن است که میزان آب زیرزمینی مصرفی بایستی کمتر از آب زیرزمینی مصرفی در الگوی موجود (gw0) باشد.

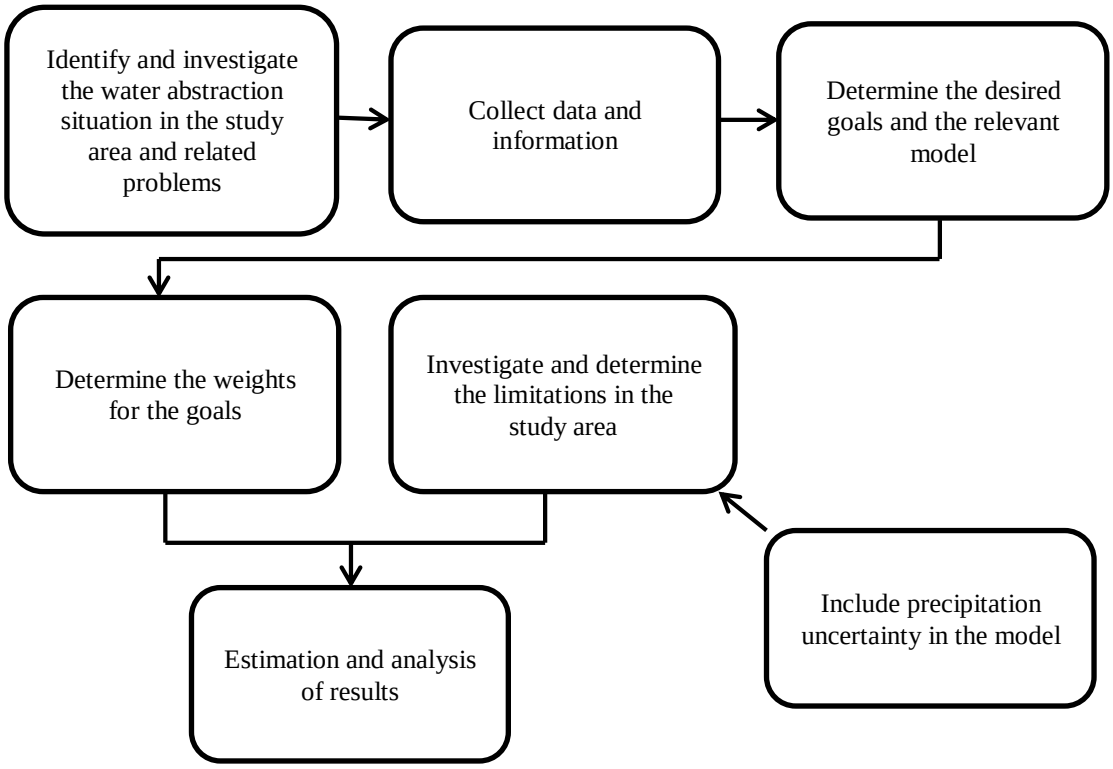


Fig. 2- Overview of the work steps
شکل ۲- شمای کلی از مراحل انجام کار

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین، با نظر به اینکه سهم مصرف آب زیرزمینی در الگوی موجود حدود ۸۵ درصد می‌باشد لذا محدودیت (۷) به‌منظور عدم فزونی سهم مصرف آب زیرزمینی از عدد مذکور لحاظ شده است. محدودیت (۸) نیز بیان می‌کند که برای کشت محصولات، اولویت با مصرف آب سطحی بوده و در صورت کمبود، از آب زیرزمینی استفاده شود.

لازم به توضیح است که در مطالعه حاضر علاوه بر محدودیت‌های فوق‌الذکر، برای جلوگیری از اختصاص زمین به یک محصول خاص از جمله برنج طارم، برای کشت رقم دیگر برنج حداقل سطح کشت ۵۰۰ هکتاری درنظر گرفته شد که تقریباً ۲۵ درصد از سطح کشت برنج شیرودی را در الگوی جاری شامل می‌شود. این محدودیت با اهداف مختلفی از جمله رواج ارقام پرمحصول برای تولید بیشتر، تأمین بخشی از تقاضای این محصول در بازار و ایجاد تنوع در الگوی کشت لحاظ شده است.

در این مطالعه فرض بر غیرقطعی بودن آب در دسترس کشاورزان است که ناشی از عدم قطعیت در بارندگی درنظر گرفته شد. در واقع بخشی از این عدم قطعیت ناشی از تغییرات آب و هوایی بوده که منجر به غیرقطعی شدن برخی پارامترهای مهم از جمله میزان دسترسی به آب می‌شود (Loukas et al., 2003). به منظور مقابله با این عدم قطعیت، Charnes and Cooper (1959) برنامه‌ریزی با محدودیت‌های تصادفی[۱۰] (شانسی) را ارائه نمودند که مبتنی بر توزیع احتمال متغیر تصادفی است. لذا در این مطالعه بر اساس روش پیشنهادی وی، رابطه (۹) برای محدودیت آب لحاظ شده است:

$$\Pr\{A^{w}X \le SW + GW\} \ge \alpha \qquad (۹)$$

رابطه (۹) بیانگر آن است که میزان آب مصرفی بایستی با احتمال α درصد یا بیشتر، از $SW+GW$ کمتر باشد. در رابطه فوق، هر چه احتمال وقوع بارندگی بیشتر شود، انتظار بر این است که دسترسی به آب سطحی بیشتر شود.

یکی از فاکتورهای مهم مورد نیاز در الگوهای چندمعیاره، تعیین وزن معیارها بوده که به‌منظور تعیین وزن هریک از اهداف مـــورد نظر مطالعه حاضر، از معادله آرمانی ارائه شده در مطالعه Montilla-López et al. (2018) استفاده گردید. در نهایت، الگوی چندمعیاره تصادفی مورد استفاده به صورت مدل (۱۰) ارائه شده است:

$$\begin{aligned} &\text{Max } U(X) \\ &= \mathrm{nf}_{\mathrm{TGM}}(X)^{\alpha_{\mathrm{TGM}}}.\,\mathrm{nf}_{\mathrm{VAR}}(X)^{\alpha_{\mathrm{VAR}}}.\,\mathrm{nf}_{\mathrm{GW}}(X)^{\alpha_{\mathrm{GW}}} \\ &\text{s.t.} \\ &\Pr\{A^{w}X \le SW + GW\} \ge \alpha \\ &A^{nw}X \le B^{nw} \\ &GW \le gw0 \end{aligned} \qquad (۱۰)$$

$$\begin{aligned} &\frac{GW}{A^{w}X} \le 0.85 \\ &GW = \text{Max}\,(0,\quad A^{w}X - SW) \\ &X \ge 0 \end{aligned}$$

که در آن α_{TGM}، α_{VAR} و α_{GW} وزن اهداف مدنظر بوده است و $\mathrm{nf}_{\mathrm{TGM}}$، $\mathrm{nf}_{\mathrm{VAR}}$ و $\mathrm{nf}_{\mathrm{GW}}$ نیز به‌ترتیب توابع نرمال شده سود ناخالص، ریسک سود ناخالص و برداشت آب زیرزمینی بوده که برای نرمال‌سازی نیز از رابطه (۱۱) استفاده گردید (Montilla-López et al., 2018):

$$\begin{aligned} &\mathrm{nf}_{\mathrm{TGM}} = \frac{\mathrm{TGM(X)}}{\mathrm{TGM}^{*}}; \\ &\mathrm{nf}_{\mathrm{VAR}} = \frac{\mathrm{VAR}^{*}}{\mathrm{VAR(X)}}; \\ &\mathrm{nf}_{\mathrm{GW}} = \frac{\mathrm{GW}^{*}}{\mathrm{GW(X)}} \end{aligned} \qquad (۱۱)$$

در رابطه (۱۱)، GM^{*}، VAR^{*} و GW^{*} به ترتیب مقادیر ایده‌آل سود ناخالص، ریسک و برداشت آب زیرزمینی است و همچنین $\mathrm{GM(X)}$، $\mathrm{VAR(X)}$ و $\mathrm{GW(X)}$ به ترتیب تابع سود ناخالص، ریسک و میزان برداشت آبهای زیرزمینی می‌باشد. با تعریف فوق، مقادیر نرمال شده اهداف همواره بین صفر و ۱ می‌باشد.

داده‌های مورد نیاز در پژوهش شامل الگوی کشت رایج منطقه قره طغان نکا، هزینه تولید محصولات زراعی قابل کشت در منطقه، قیمت محصولات، میزان نهاده‌های مهم محدودکننده نظیر آب، کودهای شیمیایی و سرمایه بوده است که از مراکز وابسته به سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران و مرکز جهاد کشاورزی شهرستان نکا جمع‌آوری شده است. به منظور محاسبه توزیع احتمال میزان آب در اختیار، به داده‌های چندساله بارندگی نیاز بوده است که از سازمان هواشناسی و آب منطقه‌ای استان مازندران (Mazandaran Regional Water Company, 2019) مربوط به دوره زمانی ۱۳۹۷-۱۳۸۱ جمع‌آوری گشته است. همچنین، به منظور محاسبه ماتریس واریانس کواریانس سودناخالص، سری زمانی سود ناخالص محصولات طی دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۸۵ استفاده شده و با شاخص قیمت تولیدکننده گروه محصولات مرتبط، به سال پایه مطالعه یعنی سال ۱۳۹۷ بروزرسانی شد. در نهایت پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، از نرم‌افزار GAMS برای حل مدل‌های معرفی شده است.

۳- نتایج و بحث

اولین گام در استخراج تابع مطلوبیت چند معیاره، تعیین وزن اهداف بوده است که نتایج تعیین وزن اهداف مدنظر، در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به توضیح است که در مدل آرمانی مورد استفاده، علاوه بر وزن اهداف، میزان انحرافات منفی و مثبت اهداف از متغیرهای دیگر بوده که در جدول ۱ قابل مشاهده است.

www.SID.ir

Archive of SID

Table 1- Weights of gross margin maximization, risk minimization and groundwater abstraction minimization

جدول ۱- وزن اهداف حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی ریسک و حداقل‌سازی برداشت آب زیرزمینی

Goals	Gross margin	Risk of gross margin	Groundwater abstraction
Weights	0.73	0.06	0.21
Negative deviation	0.001	0	0
positive deviation	0	0	0

همانگونه که در نتایج ارائه شده در جدول ۱ مشاهده می‌شود، هدف حداکثرسازی سود با وزن ۰/۷۳، از اولویت بیشتری برخوردار است. این نتیجه منطقی نیز به‌نظر می‌رسد چرا که اصولاً کشاورزان به کشت محصولاتی می‌پردازند که سود بیشتری را عاید آنها نماید. پس از هدف سود، اهداف حداقل‌سازی برداشت آب زیرزمینی و ریسک سود در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند. چراکه کمبود آب در سال‌های اخیر و مشکلات آب زیرزمینی منطقه که پیش‌تر در مورد آن صحبت شد مورد توجه کشاورزان نیز می‌باشد که با وجود مجانی بودن آب، در تصمیمات زراعت خود به مصرف بهینه و پایداری منابع آب زیرزمینی نیز تاحدودی توجه می‌نمایند.

پس از محاسبه وزن اهداف و استخراج تابع مطلوبیت چندمعیاره ضربی و همچنین با لحاظ محدودیت تصادفی دسترسی به آب، الگوی کشت بهینه منطقه قره طغان محاسبه شد. نتایج تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط افزایش بارندگی با احتمال ۹۵ درصد و همچنین الگوی کشت موجود در منطقه قره طغان نکا در جدول ۲ ارائه شده است.
همانگونه که ملاحظه می‌شود، در شرایط الگوی چندمعیاره تصادفی، سطح کشت شالی شیرودی به‌شدت کاهش یافته است. در حالی که سطح کشت شالی طارم نسبت به وضعیت موجود حدود ۵۹/۵ درصد افزایش یافته است. این نتیجه حاکی از آن است که محصول شالی طارم همراستای معیارهای لحاظ شده در تابع مطلوبیت چندمعیاره می‌باشد.

مقایسه سود ناخالص در الگوی کشت بهینه نسبت به الگوی موجود حاکی از کاهش حدود ۸/۳ درصدی در سود ناخالص بوده است ولی در مقابل، میزان برداشت آب زیرزمینی و ریسک سود به ترتیب حدود ۲۰ درصد و ۲۱ درصد کاهش یافته است. این نتیجه حاکی از آن است که پیروی از الگوی کشت پیشنهادی، با اینکه منجر به کاهش سود نسبت به شرایط فعلی می‌شود ولی با کاهش قابل ملاحظه‌ای در برداشت آب زیرزمینی و ریسک سود، می‌تواند برای کشاورزان ریسک‌گریز مفید واقع شود چرا که افراد ریسک‌گریز اصولاً به‌دنبال سود بیشتر و ریسک کمتر هستند. سایر فاکتورهای مورد بررسی از جمله کل آب مصرفی و کودهای شیمیایی نیز در جدول ۲ قابل مشاهده است به‌طوری که بر اساس نتایج، میزان آب و کودهای شیمیایی مصرفی به‌ترتیب حدود ۱۱/۱ و ۱۱/۷ درصد کاهش می‌یابد که کاهش مناسبی در جهت پایداری کشاورزی و به طور خاص زراعت منطقه خواهد بود. این نتیجه در راستای نتیجه مطالعه Emamifar et al. (2020) نیز می‌باشد.

با توجه به عدم اطمینان در میزان بارندگی و نظر به اینکه در محدودیت تصادفی آب، سطح احتمال دسترسی به آب یکی از پارامترهای مهم می‌باشد، لذا در بخشی از این تحقیق، اثر سه سناریوی احتمال بارندگی بر الگوی کشت، سود ناخالص، میزان برداشت آب زیرزمینی و سایر فاکتورهای مدنظر در منطقه قره طغان نکا نیز با لحاظ افزایش بارندگی با احتمال ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد بررسی و مقایسه شد. نتایج حاصل از سطوح احتمال مذکور در جدول ۳ ارائه شده است.

Table 2- Current and optimal cultivation level in terms of stochastic multi-criteria pattern at 95% probability level

جدول ۲- سطح کشت موجود و بهینه در شرایط الگوی چندمعیاره تصادفی در سطح احتمال ۹۵ درصد

Crop (Hectares)	Current situation	Optimal situation
Paddy rice-Shiroodi	2097	500
Paddy rice-Tarom	2365	3772
Soybean	0	0
Total area	4462	4272
Gross margin (Million Tomans)	114376.25	104913.14
Water consumption (Million m^3)	44.35	39.45
Groundwater (Million m^3)	37.70	30.16
Risk (Million Tomans)	11133.64	8793.77
Chemical fertilizers (Tons)	1407.70	1242.54

www.SID.ir

Archive of SID

Table 3- Current and optimal crop area in terms of increased probability of rainfall
جدول ۳- سطح کشت موجود و بهینه در شرایط افزایش احتمال بارندگی

Crop (Hectares)	Current situation	Optimal situation		
		90%	95%	99%
Paddy rice-Shiroodi	2097	500	500	500
Paddy rice-Tarom	2365	3711	3772	3887
Soybean	0	0	0	0
Total area	4462	4211	4272	4387
Gross margin (Million Tomans)	114376.25	103426.83	104913.14	107693.30
Water consumption (Million m^3)	44.35	38.90	39.45	40.48
Groundwater (Million m^3)	37.70	30.16	30.16	30.16
Risk (Million Tomans)	11133.64	8675.04	8793.77	9015.90
Chemical fertilizers (Tons)	1407.70	1225.16	1242.54	1275.05

همانگونه که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود با تغییر سطح احتمال بارندگی، الگوی کشت تحت تأثیر قرار گرفته است به‌طوری سطح کشت شالی شیرودی ثابت مانده و سطح کشت شالی طارم همگام با افزایش احتمال بارندگی، افزایش یافته است. روند تغییر سهم این دو محصول در الگوی کشت پیشنهادی، در شکل ۳ نیز قابل مشاهده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، با وجود ثابت ماندن سطح کشت شالی شیرودی طی افزایش احتمال بارندگی، سهم آن در الگوی کشت کاهش می‌یابد و در مقابل بر سهم کشت شالی طارم افزوده می‌شود. افزایش سطح کشت شالی طارم را می‌توان ناشی از سود معقول آن، ریسک سود پایین‌تر و نیاز آبی پایین‌تر نسبت به شالی شیرودی دانست. در مقابل این دو محصول، سویا آبی در الگوی بهینه وارد نشده است که دلیل اصلی آن سود پایین آن نسبت به دو محصول فوق‌الذکر می‌باشد. این نتیجه که محصولات با سود پایین‌تر و نیاز آبی بالاتر معمولاً از الگوی کشت حذف می‌شوند با نتایج مطالعه Ren et al. (2018) مطابقت دارد.

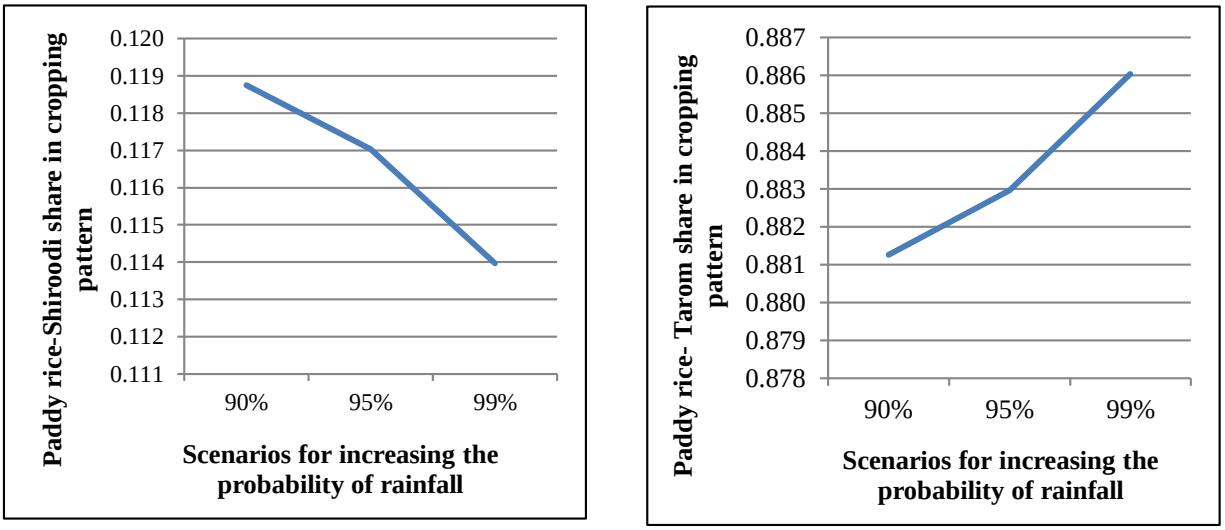


Fig. 3- Changing the share of cultivation of Paddy Rice-Tarom and Paddy Rice-Shiroodi in different scenarios of increasing the rainfall probability
شکل ۳- تغییر سهم کشت محصولات شالی طارم و شالی شیرودی در سناریوهای مختلف افزایش احتمال بارندگی

www.SID.ir

Archive of SID

در نتیجه تغییر سطح کشت محصولات، سود ناخالص نیز تحت تأثیر قرار گرفته است به‌گونه‌ای که در شرایط بارندگی با احتمال ۹۹ درصد نسبت به احتمال ۹۰ درصد، سود ناخالص الگوی کشت پیشنهادی، حدود ۴/۱ درصد افزایش می‌یابد. نکته جالب توجه در این است که با افزایش احتمال بارندگی، میزان برداشت آب زیرزمینی ثابت مانده است ولی طبق شکل ۴، سهم مصرف آب زیرزمینی با افزایش احتمال بارندگی، کاهش می‌یابد. در شرایط موجود، ۸۵ درصد از آب مصرفی را آب زیرزمینی تشکیل می‌دهد ولی در شرایط بهینه در احتمال بارندگی ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد، سهم استفاده از آب زیرزمینی به‌ترتیب حدود ۷۷/۵، ۷۶/۵ و ۷۴/۵ درصد می‌باشد که حاکی از بهبود در شرایط محیط زیستی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نیز می‌باشد. این نتیجه با نتایج مطالعه‌ای همچون Janat Rostami et al. (2011) همسو می‌باشد.

همانگونه که در جدول ۴ نیز قابل مشاهده است، با کاهش سطح احتمال بارندگی، الگوی کشت تحت تأثیر قرار گرفته است به‌طوری سطح کشت شالی شیرودی ثابت مانده و سطح کشت شالی طارم همزمان با کاهش شدید احتمال بارندگی، کاهش محسوسی یافته است. روند تغییر سهم این دو محصول در الگوی کشت پیشنهادی، در شکل ۵ نیز قابل مشاهده است.

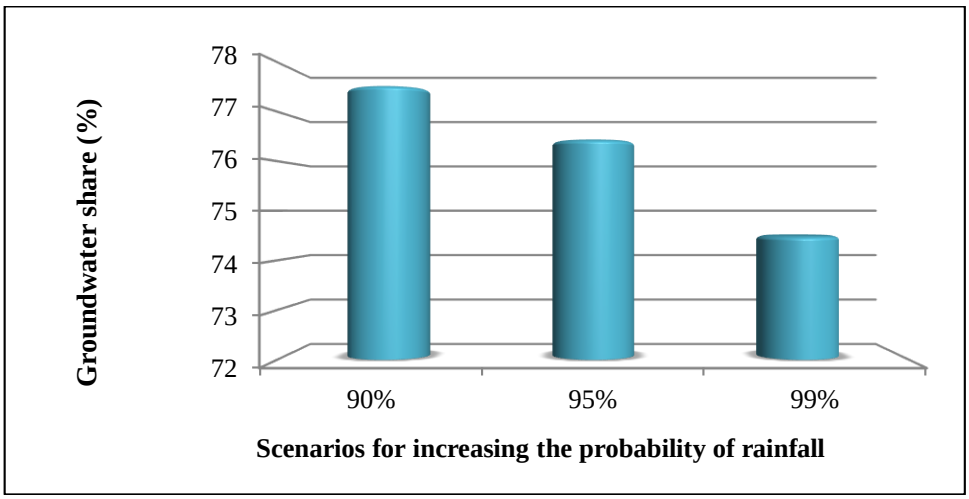


Fig. 4- The trend of changing the share of groundwater abstraction in Qareh Toghan Neka region by increasing the rainfall probability

شکل ۴- روند تغییر سهم برداشت آب زیرزمینی در منطقه قره طغان نکا طی افزایش احتمال بارندگی

Table 4- Current and optimal crop area in terms of reduced probability of rainfall

جدول ۴- سطح کشت موجود و بهینه در شرایط کاهش احتمال بارندگی

Crop (Hectares)	Current situation	Optimal situation		
		90%	95%	99%
Paddy rice-Shiroodi	2097	500	500	500
Paddy rice-Tarom	2365	2969	2560	1794
Soybean	0	0	0	0
Total area	4462	3469	3060	2294
Gross margin (Million Tomans)	114376.25	85484.58	75575.90	57041.49
Water consumption (Million m^3)	44.35	32.22	28.54	21.65
Groundwater (Million m^3)	37.70	27.39	24.26	18.40
Risk (Million Tomans)	11133.64	7243.07	6453.72	4982.07
Chemical fertilizers (Tons)	1407.70	1015.34	899.47	682.72

www.SID.ir

Archive of SID

همانگونه که ملاحظه می‌شود، با وجود ثابت ماندن سطح کشت شالی شیرودی طی افزایش احتمال بارندگی، سهم آن در الگوی کشت در حال افزایش است و در مقابل از سهم کشت شالی طارم کم می‌شود. کاهش سطح کشت شالی طارم در این سناریوها را می‌توان ناشی از کمبود شدید آب در صورت کاهش احتمال بارندگی دانست که با وجود سود و ریسک معقول، محدودیت شدید در میزان آب در دسترس به کشاورزان اجازه کشت این محصول را در سطوح کشت بالاتر نمی‌دهد. همانگونه که در جدول ۴ نیز مشاهده می‌شود سویا آبی در سناریوهای کاهش احتمال بارندگی نیز وارد الگوی بهینه نشده است. در واقع با اینکه نیاز آبی این محصول نسبت به دو محصول دیگر کمتر است و در شرایط کم‌آبی انتظار بر ورود این محصول به الگوی کشت بهینه وجود داشته است ولی به‌دلیل سود بسیار پایین آن نسبت به دو محصول فوق‌الذکر، این انتظار محقق نشده است.

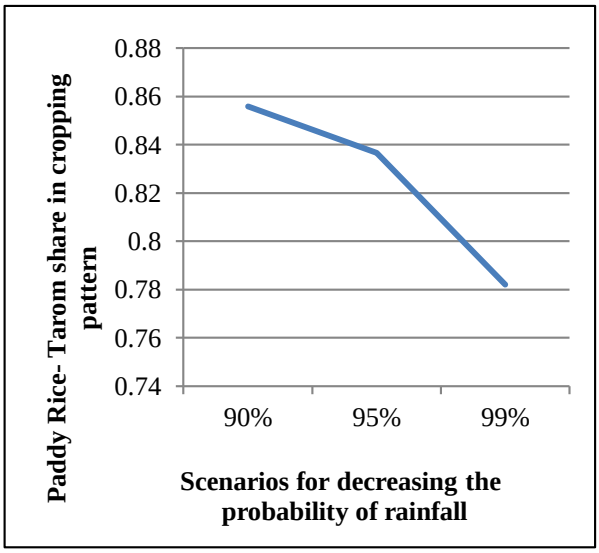
در نتیجه تغییر سطح کشت محصولات به صورت فوق، سود ناخالص نیز تحت تأثیر قرار گرفته است به‌گونه‌ای که در شرایط کاهش بارندگی با احتمال ۹۹ درصد نسبت به احتمال ۹۰ درصد، سود ناخالص الگوی کشت پیشنهادی، حدود ۳۳/۳ درصد کاهش می‌یابد.

برمبنای نتایج با کاهش احتمال بارندگی، به دلیل کمبود منبع آب در سالهای کم بارش و یا پایین بودن سطح آب زیرزمینی این منطقه و نامناسب بودن آن به لحاظ شوری، میزان برداشت آب زیرزمینی کاهش یافته است ولی طبق شکل ۶، سهم مصرف آب زیرزمینی با کاهش احتمال بارندگی، در سطح ۸۵ درصد ثابت مانده است. در واقع این سهم همان سهم آب زیرزمینی در شرایط موجود بوده است. بر طبق نتایج فوق و مقایسه با نتایج افزایش احتمال بارندگی (شرایط ترسالی)، می‌توان گفت که کاهش احتمال بارندگی (شرایط خشکسالی) منجر به کاهش برداشت آب زیرزمینی شده است که چنین نتیجه‌ای با نتیجه مطالعه Pourzand and Zibaei (2011) که بیان نموده است که در شرایط خشکسالی به جهت حفظ رودخانه‌ها، از ذخایر زیرزمینی بیشتری نسبت به شرایط ترسالی استفاده شود مطابقت ندارد.

روند تغییر سود ناخالص، آب مصرفی، آب زیرزمینی، ریسک سود و مصرف کودهای شیمیایی طی سناریوهای مختلف کاهش احتمال بارندگی نیز حاکی از آن است که تمامی فاکتورهای فوق‌الذکر با کاهش احتمال بارندگی، روند نزولی دارند و شیب و نحوه تغییر آنها نیز تقریباً مشابه بوده است.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف از مطالعه حاضر، تعیین الگوی کشت بهینه در منطقه قره طغان نکا در شرایط عدم قطعیت در بارندگی در قالب الگوی تصمیم‌گیری چندمعیاره تصادفی بوده است. به‌این منظور، سطوح مختلفی برای احتمال افزایش و کاهش بارندگی در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از بررسی اثر افزایش احتمال بارندگی در سطح ۹۵ درصد حاکی از آن بوده است که سطح کشت شالی شیرودی حدود ۷۶ درصد کاهش یافته است و شالی طارم با کشت بالاتر نسبت به الگوی موجود، جایگزین شالی شیرودی شده است.



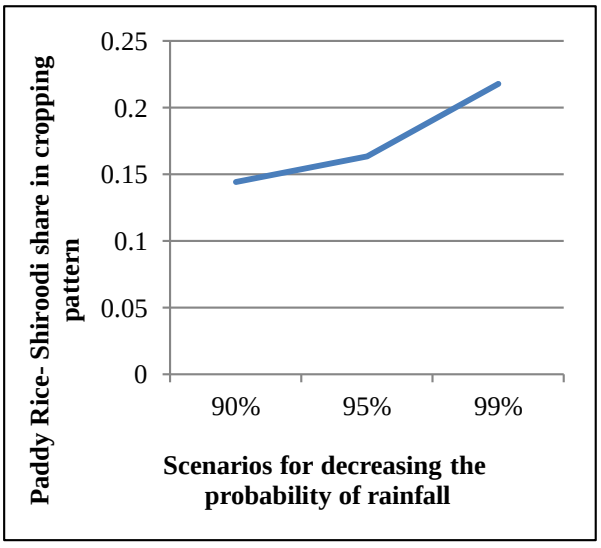


Fig. 5- Changing the share of cultivation of Paddy Rice-Tarom and Paddy Rice-Shiroodi in different scenarios of decreasing the rainfall probability

شکل ۵- تغییر سهم کشت محصولات شالی طارم و شالی شیرودی در سناریوهای مختلف کاهش احتمال بارندگی

www.SID.ir

Archive of SID

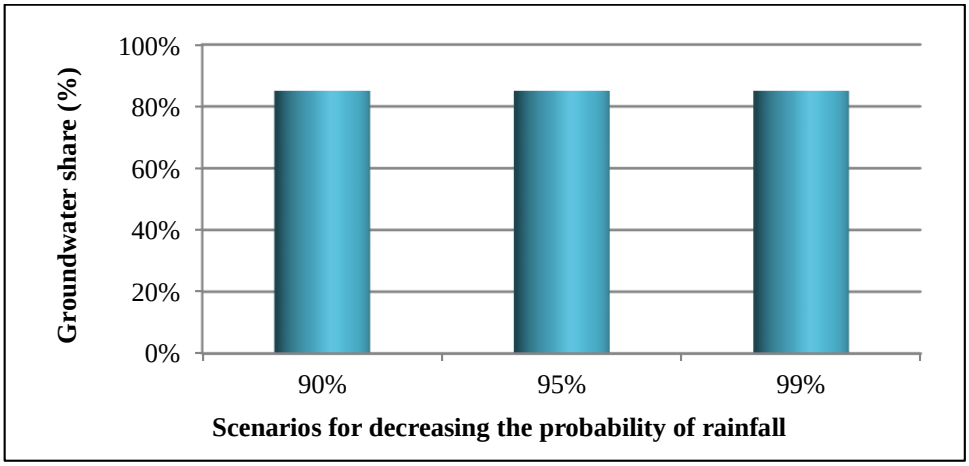


Fig. 6- The trend of changing the share of groundwater abstraction in Qareh Toghan Neka region by decreasing rainfall probability

شکل ۶- روند تغییر سهم برداشت آب زیرزمینی در منطقه قره طغان نکا طی کاهش احتمال بارندگی

در واقع شالی طارم به‌دلیل مصرف آب کمتر نسبت به شالی شیرودی، سود معقول و ریسک سود پایین‌تر نسبت به آن توجیه بیشتری برای کشت یافته است. اما باید توجه داشت چنین الگوی کشتی با کاهش ۸/۳ درصدی در سود ناخالص نسبت به الگوی موجود همراه بوده است ولی در مقابل، میزان برداشت آب زیرزمینی و ریسک سود به ترتیب حدود ۲۰ درصد و ۲۱ درصد کاهش یافته است. همچنین بر اساس نتایج، میزان آب و کودهای شیمیایی مصرفی به‌ترتیب حدود ۱۱/۱ و ۱۱/۷ درصد کاهش می‌یابد که در راستای پایداری کشاورزی منطقه خواهد بود و الگوی کشت ارائه شده نسبت به الگوی فعلی منجر به برداشت کمتری در آب زیرزمینی می‌شود. افزایش احتمال بارندگی تا ۹۹ درصد منجر به افزایش سهم سطح کشت شالی طارم و کاهش سهم کشت شالی شیرودی شد و چنین تغییری منجر به افزایش سود ناخالص الگوی کشت نیز شده است به‌گونه‌ای که سود ناخالص در سناریوهای احتمال ۹۵ و ۹۹ درصدی بارندگی نسبت به احتمال ۹۰ درصدی به‌ترتیب حدود ۱/۴۴ و ۴/۱۳ درصد افزایش یافته است. این درحالی است که میزان برداشت آب زیرزمینی تغییری نداشته است و البته با وجود این، سهم آب زیرزمینی از کل آب مصرفی با کاهش مواجه شده است.

در مقابل سناریوهای افزایش احتمال بارندگی، سناریوهای کاهش احتمال بارندگی در شرایط سال‌های کم بارش حاکی از آن بوده است که سطح کشت کل محصولات کاهش یافته و لذا از سهم محصول شالی شیرودی و شالی طارم در الگو کم می‌شود. همچنین تحت این شرایط همچنان محصول سویا با وجود نیاز آبی پایین‌تر نسبت به دو محصول فوق‌الذکر، در الگوی کشت بهینه وارد نشده است. همچنین، در شرایط کاهش بارندگی با احتمال ۹۹ درصد نسبت به احتمال ۹۰ درصد، سود ناخالص الگوی کشت پیشنهادی، حدود ۳۳/۳ درصد کاهش می‌یابد که حاکی از آن است در شرایط سال کم بارش، کشاورزان منطقه با زیان بالایی مواجه خواهند بود. با کاهش احتمال بارندگی، به دلیل کاهش سطح کشت شالی طارم، میزان برداشت آب زیرزمینی نیز در حدود ۳۲/۸ درصد در شرایط کاهش بارندگی با احتمال ۹۹ درصد نسبت به احتمال ۹۰ درصد کاهش یافته است ولی سهم مصرف آب زیرزمینی نسبت به شرایط موجود و در تمامی سناریوهای مذکور، در سطح ۸۵ درصد ثابت مانده است. بر این اساس می‌توان گفت شرایط سال کم بارش (خشکسالی)، موجب کاهش پمپاژ آب زیرزمینی منطقه می‌شود ولی در مقابل کشاورزان سود بالایی را از دست خواهند داد که نتیجه خوشایندی به‌نظر نمی‌رسد. همچنین لازم به توضیح است که با کاهش سطح کشت شالی طارم و در نتیجه سطح کشت کل، میزان ریسک سود و مصرف کودهای شیمیایی نیز کاهش یافته است که البته با توجه به کاهش شدید مذکور در سود ناخالص، کاهش این فاکتورها نمی‌تواند حاکی از بهبود شرایط اقتصادی و محیط زیستی منطقه باشد.

نتایج تحقیق حاکی از آن بود که پیروی از الگوی بهینه در شرایط ترسالی منجر به افزایش سود ناخالص کشاورزان منطقه قره طغان نکا و همچنین بهبود شرایط محیط زیستی آب زیرزمینی منطقه می‌شود لذا پیشنهاد می‌شود آموزش و ترویج لازم از سوی سازمان‌های مربوطه از جمله سازمان جهاد کشاورزی به‌عمل آید.

سهم بالایی از آب مصرفی در بخش کشاورزی منطقه را آب زیرزمینی تشکیل می‌دهد در حالی که در شرایط خشکسالی و احتمال افت سطح آب‌های زیرزمینی، کشاورزان منطقه با زیان بالایی مواجه می‌شوند که

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج این مطالعه نیز مؤید آن بوده است. از آنجا که سهم بالایی از آب مصرفی منطقه از طریق آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود؛ لذا پیشنهاد می‌شود برای بهبود شرایط محیطزیستی آب‌های زیرزمینی منطقه و همچنین حمایت از وضعیت درآمدی کشاورزان، شرایط لازم برای استفاده از آبهای سطحی تسریع شود.

۵- سپاسگزاری

پژوهش حاضر برگرفته از نتایج طرح پژوهشی با کد ۱۲-۱۳۹۸-۰۲ است که با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری صورت گرفته است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1- Multi-Criteria Decision-Making
2- Electrical Conductivity
3- Dynamic Programming
4- Deterministic Linear Programming
5- Fuzzy Goal Programming
6- Inexact Fuzzy Semi-Infinite Programming
7- Multi-Objective Stochastic Fuzzy Programming
8- Bi-Level Multi-Objective Linear Fractional Programming
9- Multi-Attribute Utility Function
10- Chance-Constrained Programming

۵- مراجع

Abbasi F, Abbasi n, and Tavakoli A (2017) Water productivity in agriculture; challenges and perspectives. Water and Sustainable Development 4(1):141-144 (In Persian)

Agricultural Jihad Management of Neka city (2019) (2019) Water and soil information. (In Persian)

Alipoor A, Davari K, Mousavi Baygi M, Sabuhi M, and Izady A (2019) Determination of optimum cropping pattern for groundwater stability. Journal of Water Research in Agriculture 33(3):507-518

André F J and Riesgo L (2007) A non-interactive elicitation method for non-linear multiattribute utility functions: theory and application to agricultural economics. European Journal of Operational Research 181(25):793–807

Avazyar M, Ahmadpour Borazjani M, and Ziaee S (2018) Optimization of cultivation pattern to increase irrigation efficiency in lands under Mulla Sadra Dam in Fars province. Journal of Water Resources Engineering 11(36):21-32 (In Persian)

Barikani A, Ahmadian M, Khalilian P, and Chizari A H (2012) Sustainable integrated use of surface and groundwater resources in determining the optimal cultivation pattern of Qazvin plain. Agricultural Economics and Development 20(77):29-56 (In Persian)

Bazrafshan A, Rahimi F, and Mohammadi Kangrani H (2016) Optimal water management in drought conditions; Case study of Sarkhon plain, Hormozgan province. Journal of Irrigation Engineering and Iranian Water 6(3):113-117 (In Persian)

Bekri E, Disse M, and Yannopoulos P (2015) Optimizing water allocation under uncertain system conditions in Alfeios River Basin (Greece), Part A: Two-stage stochastic programming model with deterministic boundary intervals. Water 7(10):5305-5344

Bisson R A and Lehr H (2004) Modern ground water exploration. John Wiley & Sons INC, Publication. USA.309p.

Charnes A and Cooper W W (1959) Chance-constrained programming. Management Science 6(1):1-40

Dai Z Y and Li Y P (2013) A multistage irrigation water allocation model for agricultural land-use planning under uncertainty. Agricultural Water Management 129:69-79

Emamifar S, Mohammadian F, Mohammadi R, Abadi A and AliMadad M (2020) Investigation of optimum cropping pattern proportional to allocable water and balancing aquifer (Case study of Qom-Kahak Study Area). Journal of Water and soil Resources Conservation 9(4):35-54 (In Persian)

Fathi F and Ziaei M (2010) Factors affecting groundwater exploitation management using a multi-objective planning model: A case study of Firoozabad plain. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences 14(53):155-164 (In Persian)

Garg N K and Dadlich S M (2014) Integrated non-liner model for optimal cropping pattern and irrigation scheduling under deficit irrigation. Agriculture Water Management 140(C):1-13

Gómez-Limón J A, Gutiérrez-Martín C, and Riesgo L (2016) Modeling at farm level: Positive multi-Attribute utility programming. Omega 65:17–27

Gormaz-Cuevas D, Riffo-Rivas J, Montastruc L, Bruning-Gonzalez M, and Diaz-Alvarado F A (2020) A multi-objective optimization model to plan city-scale water systems with economic and environmental objectives: A case study in Santiago, Chile. Journal of Cleaner Production 279:123737

Gui Z Y, Li M, and Guo P (2016) Simulation-based inexact fuzzy semi-infinite programming method for agricultural cultivated area planning in the Shiyang

www.SID.ir

Archive of SID

requirements. Trend Quarterly 65&66:117-144 (In Persian)

Montilla-López N M, Gómez-Limón J A, and Gutiérrez-Martín C (2018) Sharing a river: Potential performance of a water bank for reallocating irrigation water. Agricultural Water Management 200:47-59

Noor H (2017) Assessing the trend of groundwater consumption and its current situation in Iran. Rainwater Catchment Systems 5(2):29-38 (In Persian)

Pourzand F and Zibaei M (2011) Application of stochastic ideal planning in water resources management: A case study of Firoozabad plain. Journal of Agricultural Economics and Development 25(4):420-427 (In Persian)

Ren C, Li Z, and Zhang H (2018) Integrated multi-objective stochastic fuzzy programming and AHP method for agricultural water and land optimization allocation under multiple uncertainties. Journal of Cleaner Production 210:12-24

Sadoddin A, Halili M Q, and Mosaedi A (2010) Reservoir operation management using multicriteria decision making methods in Bustan Dam-Golestan province. Journal of Iran Watershed Management Science and Engineering 4(11):25-34 (In Persian)

Wang Y, Liu L, Guo Sh, Yue Q, and Guo P (2019) A bi-level multi-objective linear fractional programming for water consumption structure optimization based on water shortage rick. Journal of Cleaner Production 237:1-13

Xu Y, Li W, and Ding X A (2017) Stochastic multi-objective chance-constrained programming model for water supply management in Xiaoqing River watershed. Water 9(6):1-18

Zand Razavi B, Khaniki H, Nasrollahi A, and Boostani D (2019) Meaning reconstruction of participatory water governance: A qualitative review of group communication of groundwater beneficiaries of Rafsanjan plain 2016-2018. Iranian Journal of Social Studies 12(4):44-66 (In Persian)

Zeraatkish S Y (2016) Economic valuation of water in the agricultural sector with an environmental approach. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research 2-47(1):259-269 (In Persian)

River Basin. Journal of Irrigation & Drainage Engineering 143(2):05016011

Gutiérrez-Martín C and Gómez-Gómez C M (2011) Assessing irrigation efficiency improvements by using a preference revelation model. Spanish Journal of Agricultural Research 9(4):1009–1020

Hardaker J B, Huirne R B M, Anderson J R, and Lien G (2007) Coping with risk in agriculture. CABI Publishing, Wallingford, UK.

Hosseinzadeh J, Sarbaz A, and Ghorbani M A (2017) The effect of rainfall indices on groundwater consumption and cultivation pattern (Case study: Shabestar plain of Lake Urmia). Journal of Iran Irrigation and Drainage 13(1):232-242 (In Persian)

Janat Rostami S, Khalqi M, Mohammadi K, and Malmir M (2011). Management of groundwater aquifer exploitation in Shahrekord plain. Sixth National Congress of Civil Engineering, May, Semnan University, Iran (In Persian)

Khoshravesh M and Valizadeh M (2016) Effects of construction of irrigation and drainage network of Shahid Rajaei reservoir dam on temporal and spatial changes in the quantity and quality of groundwater in Sari-Neka plain. Journal of Soil and Water Sciences 20(2):1-14 (In Persian)

Li Y P, Huang G H, and Nie S L (2009) Water resources management and planning under uncertainty: An inexact multi stage joint-probabilistic programming method. Water Resources Management 23:2515-2538

Loukas L, Vasiliade A, and Dalezios N R (2003) Intercomparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in Greece. 8th International Conference on Environmental science and Technology Lemnos Island, 8-10 September:484-491

Maroufi A, Rasooli Azar S, and Rezaei A (2014) Crisis analysis of agricultural water resources management in Iran. First National Conference on Water, Man, Earth (In Persian)

Mazandaran Regional Water Company (2019) (In Persian)

Meftah Halaghi M, Ghorbani Kh, Keramatzadeh A, and Salarijazi M (2020) Crop pattern optimization by using goal programming (Case study: Gharesu basin). Journal of Water and Soil Conservation 27(1):163-180 (In Persian)

Mohammadjani A and Yazdanian N (2014) Analysis of the water crisis in the country and its management

www.SID.ir