نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۲ شماره ۱/ سال ۱۴۰۱ صفحات ۳۴۱-۳۲۵

Evaluation of Agricultural Sustainability Indicators under Climate Change and Water Resources Management Scenarios in Aji Chay Basin

Ghader Dashti[1*], Fatemeh Sani[2], Javad Hosseinzad[1], Abolfazl Majnooni[3]

Received: February 3, 2021 Accepted: July 1, 2021
1-Prof., and Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Ph.D, Dept. of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3- Assoc. Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
*Corresponding author: Email: ghdashti@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: This study investigated the basin sustainability in the baseline and climate change status. Then the effects of water resources management scenarios such as agricultural water reducing, increasing irrigation efficiency and increasing the water price on sustainability indicators were investigated.

Materials and Methods: A hydro-economic model was used to evaluate the effects of climate change on hydrological and economic variables. Modeling of hydrologic behavior was performed by WEAP-MABIA model and economic behavior using quadratic risk programming. The LARS-WG downscaling model was used to simulate climate change under three future emission scenarios (A2, A1B and B1), for the period 2020-2050. Agricultural sustainability was evaluated using performance criteria such as reliability, resilience, vulnerability and the irrigation water deficit index.

Results: Evaluation of the sustainability indicators in the current situation indicates the instability of water resource and under climate change conditions, the hydrological basin status will be more critical that it goes from 0.86 in the basin situation to 0.72 under A2 climate change scenario. Implementing water resource management scenarios improves the sustainability indicators compared to climate change and the largest increase is related to the increasing irrigation efficiency scenario. In this scenario, the average of agricultural sustainability compared to climate change increases by 11.1% and irrigation water deficit index decreases by 26.6%, which It indicates the improvement of the region sustainability.

Conclusion: Increasing irrigation efficiency decreases unmet demand and reduces the negative effects of climate change on the sustainability of water resources rather than other management scenarios. It is proposed that increasing the irrigation efficiency, which can be obtained by applying modern methods and changing irrigation technology, would help in reducing the irrigation water deficit index and increasing the region's agricultural sustainability index.

Keywords: Hydro-Economic Model, Reliability, Resilience, Sustainability, Vulnerability

ارزیابی شاخص‌های پایداری کشاورزی تحت سناریوهای اقلیمی و مدیریت منابع آب در حوضه آبریز آجی‌چای

قادر دشتی[1*]، فاطمه ثانی[2]، جواد حسین‌زاد[1]، ابوالفضل مجنونی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۱۰
۱-استاد و دانشیار اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲- دکتری اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳-دانشیار آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
مسئول مکاتبه: قادر دشتی. ایمیل: Email: ghdashti@yahoo.com

چکیده

اهداف: این مطالعه به بررسی وضعیت پایداری حوضه در حالت پایه و تغییر اقلیم پرداخته و سپس اثرات سناریوهای مدیریت منابع آب از جمله کاهش سهم آب بخش کشاورزی، افزایش راندمان آبیاری و افزایش قیمت آب آبیاری بر شاخص-های پایداری را مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها: از یک مدل هیدرو-اقتصادی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدرولوژیکی و اقتصادی استفاده شد. مدل‌سازی رفتار هیدرولوژیک حوضه با استفاده از WEAP-MABIA و رفتار اقتصادی کشاورزان با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی درجه دوم توأم با ریسک صورت گرفت. برای شبیه‌سازی تغییر اقلیم از مدل ریزمقیاس‌سازی LAER-WG تحت سناریوهای انتشار A2، B1 و A1B طی دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ استفاده شد. شاخص پایداری با استفاده از معیارهای عملکرد اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری و همچنین شاخص کمبود آب آبیاری مورد تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: بررسی شاخص‌های پایداری در وضعیت فعلی حاکی از ناپایداری منابع آبی بوده و در اثر تغییر اقلیم شرایط وخیم‌تری را تجربه خواهد کرد، به طوری که از ۰/۸۶ در حالت پایه به ۰/۷۲ تحت سناریوی انتشار A2 می‌رسد. با اعمال سناریوهای مدیریتی، میزان شاخص‌های پایداری نسبت به تغییر اقلیم بهبود یافته و بیشترین افزایش مربوط به سناریوی افزایش راندمان آبیاری می‌باشد. در این سناریو میانگین شاخص پایداری کشاورزی نسبت به تغییر اقلیم ۱۱/۱ درصد افزایش و شاخص کمبود آب آبیاری ۲۶/۶ درصد کاهش می‌یابد که حاکی از بهبود وضعیت پایداری منطقه است.

نتیجه‌گیری: از میان سناریوهای مدیریتی، افزایش راندمان آب آبیاری بیشتر از سایر سناریوها تقاضای برآورد نشده را کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر پایداری منابع آب می‌گردد. پیشنهاد می‌شود با بالا بردن راندمان آبیاری که با بهره‌گیری از روش‌های مدرن و تغییر تکنولوژی آبیاری صورت می‌گیرد، به کاهش شاخص کمبود آب و افزایش شاخص پایداری کشاورزی منطقه کمک کرد.

واژه‌های کلیدی: اطمینان‌پذیری، آسیب‌پذیری، برگشت‌پذیری، پایداری، مدل هیدرو-اقتصادی

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت، خشکسالی، تغییر اقلیم و سیاست‌های نادرست مدیریتی، منابع آب موجود را به شدت تحت تأثیر قرار داده و آن‌ها را در برخی از مناطق جهان با بیلان منفی مواجه کرده است که این امر مغایر با بهره‌برداری پایدار از منابع آب می‌باشد (عباسی و همکاران ۲۰۲۰). در این میان توجه به امر پایداری و مدیریت منابع آب به عنوان یک منبع بسیار حیاتی، در سال‌های اخیر از موضوعی فرعی، به مسأله‌ای محوری و پراهمیت تبدیل شده است (بریم‌نژاد و یزدانی ۲۰۰۴). این مسدله به اندازه‌ای حیاتی است که سیاست‌گذاران

کشور ناچار به اتخاذ سیاست‌های مناسب برای مدیریت منابع آب می‌باشند.

مدیریت آب به عنوان اصلی‌ترین راهکار ممکن برای رفع مشکلات ناشی از کمیت و افت کیفیت آب مطرح است. مدیریت پایدار منابع آب وظیفه دارد هم‌زمان دو هدف را مد نظر قرار دهد: کشاورزی آبی پایدار برای تضمین امنیت غذایی و حفاظت از محیط‌زیست. لازم است که بین این دو هدف، تعاملی پایدار در حال و آینده برقرار گردد و در عین حال تعارضات بالقوه بین این دو هدف با کمک روش‌هایی مانند به‌کارگیری روش‌های نوین آبیاری، جلوگیری از اتلاف آب در مسیرهای انتقال، تغییر الگوی کشت به سوی محصولات کم‌مصرف، توسعه کشت گلخانه‌ای تخفیف داده شود (کای و همکاران ۲۰۰۳).

امروزه کمبود آب یکی از مشکلات عمده در اکثر کشورها است (وانگ و همکاران ۲۰۰۸) و برآورد می‌شود که حدود ۲/۸ میلیارد نفر از جمعیت جهان در ۴۳ کشور تحت تأثیر کمبود آب باشند که از این تعداد ۱/۲ میلیارد نفر حتی به آب شرب کافی نیز دستری ندارند (UNWWAP ۲۰۱۵). علت اصلی این مشکلات نیز افزایش تقاضای آب در اثر افزایش جمعیت، توسعه اقتصادی کشورها، آلودگی منابع آبی، کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی و به‌ویژه منابع آب سطحی (دیواکار ۲۰۱۱) و همچنین کاهش عرضه آب در اثر تغییر اقلیم و مدیریت ناپایدار منابع آب می‌باشد. ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و منابع آبی همواره به عنوان یکی از کمیاب‌ترین منابع و به‌ویژه به عنوان محدودترین عامل تولید در بخش کشاورزی مطرح بوده است.

افت سطح تراز دریاچه‌ها و بحرانی شدن وضعیت آب در بیش از ۱۲۰ دشت از دشت‌های مستعد کشور که هر ساله بر این تعداد اضافه می‌شود، یکی از بزرگ‌ترین مشکلات بخش کشاورزی است. در حال حاضر تعداد زیادی از دشت‌های ایران با کسری مخزن و بحران آب مواجه هستند (فرج‌زاده و بیگم حسینی ۲۰۰۷). آجی‌چای یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین رودخانه‌های جاری در تأمین آب دریاچه ارومیه است که در طول سال‌های اخیر با چالش‌های جدی از قبیل بیلان منفی آبخوان‌ها، افزایش سطح زیرکشت اراضی آبی و باغی و تغییر الگوی کشت از سمت محصولات کم مصرف به محصولاتی با نیاز آبی بالا مواجه شده است (ستاد احیای دریاچه ارومیه ۲۰۱۸). در این حوضه، شهرستان سراب با دارا بودن سرشاخه‌های اصلی آجی‌چای، نسبت به شهرستان‌های دیگر نقش بیش‌تری در تولیدات زراعی و باغی و در نتیجه مصرف آب کشاورزی دارد. این شهرستان حدودا دارای ۴۸۱۰۰ هکتار اراضی زراعی آبی (حدود ۳۸ درصد اراضی آبی حوضه آبریز آجی‌چای)، ۲۶۷۰ هکتار باغ آبی (حدود ۱۶ درصد باغات حوضه آبریز آجی‌چای) و ۶۲۲۰۰ هکتار اراضی دیم (حدود ۳۲ درصد از اراضی دیم حوضه آبریز آجی‌چای) می‌باشد. الگوی کشت زراعی این منطقه شامل گندم، جو، یونجه و اسپرس، سیب‌زمینی، انواع جالیز (خیار، گوجه‌فرنگی و ...) و حبوبات (نخود، لوبیا و عدس) می‌باشند. در بین محصولات زراعی گندم و جو با اختصاص ۵۸ درصد ترکیب کشت به خود، بیش‌ترین سهم را داشته‌اند. یونجه، اسپرس و سیب‌زمینی به ترتیب با اختصاص ۱۶، ۱۳/۱ و ۵ درصد ترکیب کشت، در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند (سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی ۲۰۱۸). با توجه به تنوع محصولات منطقه، مدل‌سازی کلیه آن‌ها میسر نمی‌باشد. لذا در این تحقیق محصولات زراعی عمده منطقه که در ترکیب کشت به کار می‌روند، شامل گندم، جو، سیب‌زمینی، یونجه و لوبیا مورد بررسی قرار می‌گیرند.

براساس نتایج بررسی‌های انجام شده در قالب مطالعات مدیریت ریسک خشکسالی در حوضه، دشت سراب نه تنها عمده منابع تجدیدشونده را مصرف می‌نماید، بلکه بخش اصلی بیلان منفی حوضه نیز از آن منشاء می‌گیرد، لذا به منظور حفظ و بقای آبخوان‌ها ارزیابی پایداری آن‌ها براساس شاخص‌های پایداری منابع آب در برابر تغییر اقلیم، امری ضروری تلقی می‌گردد.

در راستای مدیریت منابع آب به منظور حفظ پایداری، تعادل و بقای آبخوان‌ها مطالعاتی در سطح دنیا برای حل چالش‌ها با استفاده از شاخص‌های پایداری و همچنین بررسی وضعیت مناطق مختلف صورت گرفته است. اینگول-بلاکو و مکینی (۲۰۱۱) سناریوهای سازگاری با تغییر اقلیم را با استفاده از مدل WEAP در حوضه آبریز

ریو کانچوس مورد تحلیل قرار دادند. نتایج حاکی از آن است که در سناریوی حفظ تقاضای آب آبیاری فعلی به همراه افزایش تقاضای آب خانگی اطمینان‌پذیری و تاب-آوری سیستم کاهش یافته و آسیب‌پذیری در طول زمان افزایش می‌یابد. در سناریو افزایش کارایی مصرف آب نیز اطمینان‌پذیری سیستم بیشتر و آسیب‌پذیری کمتر خواهد بود. پورزند و بخشوده (۲۰۱۲) با بکارگیری رهیافت برنامه‌ریزی توافقی، پایداری کشاورزی شهرستان‌های منتخب استان فارس را بررسی نمودند. براساس یافته‌های ایشان، گروه پایدار دارای ویژگی‌هایی از جمله پایین بودن بیلان آب زیرزمینی، تنوع بیشتر در گیاهان زراعی و نیز درصد کمتری از اراضی شهرستان-ها دارای ماده آلی کمتر اا‌ز یک درصد را دارا بودند.

سانتیکایاسا و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل WEAP پایداری مصرف آب در حوضه آبریز سیتاروم در کشور اندونزی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بیانگر آن بود که تحت سناریوهای تغییر اقلیم A2 و B2 نیاز آب آبیاری و شاخص پایداری (اطمینان‌پذیری، تاب-آوری و آسیب‌پذیری) نسبت به دوره پایه در آینده کاهش خواهد یافت. نایاک و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر ذخیره آب زیرزمینی در هند از رویکرد بیلان آبی استفاده نمودند. تخمین ذخیره آب‌های زیرزمینی از مدل WEAP صورت گرفت. یافته‌ها حاکی از آن بود که تغییر الگوی کشت و بهبود راندمان آبیاری می‌تواند پایداری مصرف آب زیرزمینی را بهبود بخشد، به گونه‌ای که کاهش ۲۵ درصدی سطح زیرکشت برنج باعث پایداری منابع آب زیرزمینی می-گردد. فرانسیسکو و همکاران (۲۰۱۶) پایداری را در حوضه رودخانه سگورا در جنوب شرقی اسپانیا بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از آب آبی در نتیجه بهره‌برداری بیشتر از سفره‌های آب، پایدار نیست. ارزیابی سناریوهای آینده نیز موید آن بود که اگر اقدامات سازگاری انجام نشود وضعیت حوضه بدتر خواهد شد.

کارآموز و محمدپور (۲۰۱۷) پایداری منابع و مصارف آب در حوضه آبریز اهرچای را مورد مطالعه قرار دادند. بدین منظور شاخص پایداری ترکیبی تامین و تقاضای آب با ترکیب سه شاخص پایداری محاسبه گردید. متوسط شاخص پایداری کشاورزی ۰/۵۹ بدست آمد که هر چند وضعیت متوسطی را نشان می‌دهد، ولی بیانگر تعادل چندان پایداری بین آب موجود و آب مصرفی نمی‌باشد. امین و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی اثرات سناریوهای سازگار با تغییر اقلیم در حوضه رود سند پاکستان با استفاده از مدل هیدرو-اقتصادی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که ادامه وضع موجود باعث افزایش تقاضای آب گردیده و تقاضای برآورد نشده به ۱۳۴ میلیون مترمکعب خواهد رسید. همچنین اجرای سیاست‌های کاهش تلفات انتقال آب، کاهش نیاز آب سرانه و تکمیل سدهای درحال ساخت باعث مقابله با کم‌آبی خواهد شد.

امیرزاده مرادآبادی و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از شاخص ترکیبی پایدار، به ارزیابی پایداری کشاورزی ایران از طریق سنجه‌های کشاورزی پایدار در پنج بعد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، فنی و سیاسی پرداختند. یافته‌ها نشان داد شاخص ترکیبی پایداری در ایران با میانگین ۰/۵۲۱ در وضعیت پایداری قرار دارد و روند این شاخص طی سال‌های مورد بررسی از ۰/۴۱ تا ۰/۶۵ با نرخی معادل ۴/۱۵ افزایش یافته است. احمدآلی و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر پایداری زیست‌محیطی و کشاورزی در حوضه‌های آبریز زرینه-رود و سیمینه‌رود با استفاده از WEAP پرداختند. یافته-ها حاکی از آن بود که بیشترین مقادیر شاخص‌های پایداری مربوط به سناریوی تغییر الگوی کشت با بهبود راندمان کل آبیاری است که به ترتیب ۱۲۹۲ و ۳۵۱ میلیون مترمکعب ورودی سالانه به دریاچه ارومیه خواهند داشت. عباسی و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پایداری منابع آب دریاچه طشک بختگان با استفاده از شاخص‌های آب سبز، آب آبی، آب زیرزمینی و محیط‌زیست پرداختند. بررسی شاخص‌های پایداری در وضعیت فعلی حاکی از ناپایداری آب زیرزمینی در تامین نیاز زیست‌محیطی دریاچه طشک بختگان می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط تغییر اقلیم حوضه شرایط وخیم‌تری را تجربه خواهد نمود. اسماعیل‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) به سنجش

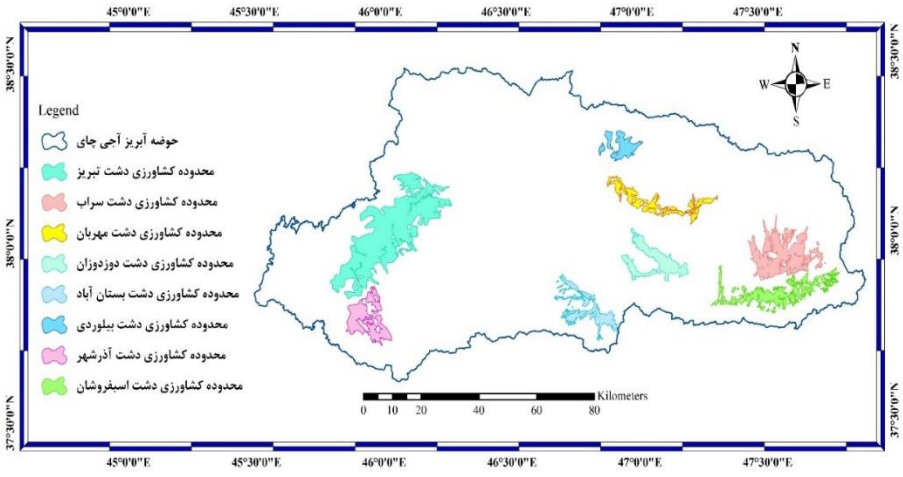
پایداری بوم نظام‌های زراعی حاشیه دریاچه ارومیه با استفاده از روش آنتروپی پرداختند. برابر یافته‌های تحقیق میزان پایداری در ابتدای سال‌های ۸۵-۱۳۸۳ کاهشی بوده و بعد از یک افزایش موقت طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۵، در ادامه مجددا کاهشی شده و شرایط پایداری کاهش یافته است.

مرور مطالعات مشابه انجام شده در داخل کشورنشان می‌دهد که عمدتاً به بررسی اثر تغییر اقلیم بر شاخص‌های پایداری از بعد هیدرولوژیک پرداخته و بعد اقتصادی چندان مورد توجه واقع نشده است. در حالی‌که پایداری در بعد اقتصادی به‌عنوان مفهومی کلیدی در ادبیات توسعه پایدار مطرح است و گذشته از این‌که ویژگی‌های پایداری اکولوژیک را حفظ خواهد کرد، بر جنبه‌های اقتصادی سیستم نیز تاکید می‌کند. رائو (۲۰۰۰) در توضیح مفهوم پایداری اشاره به تعریفی از توسعه پایدار اقتصادی دارد که آن را برنامه‌ریزی صحیح منابع اقتصادی و اکولووژیک به‌گونه‌ای می‌داند که ارزش اقتصادی منابع برای همیشه حفظ و اصل سرمایه همیشه باقی بماند (امینی فسخودی و نوری ۲۰۱۱). بر همین اساس و با توجه به کمبود تحقیقات در این خصوص، مطالعه حاضر با استفاده از مدل هیدرو-اقتصادی به بررسی اثرات تغییر اقلیم و سناریوهای سازگار با آن بر شاخص پایداری کشاورزی در شهرستان سراب می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه آجی‌چای بزرگترین حوضه رود شرق دریاچه ارومیه است. سرچشمه آن از کوه سهند و رشته-کوه بزقوش در جنوب و کوه سبلان در شمال حوضه است. طول شاخه اصلی آن تا دشت تبریز ۱۷۴ کیلومتر و از ابتدای دشت تا دریاچه ارومیه ۹۴ کیلومتر است. با توجه به محدوده آبخوان‌های واقع در حوضه آجی‌چای و تمرکز بیشتر چاه‌های کشاورزی در این مناطق و همچنین مدیریت‌پذیری بیشتر این مناطق، بررسی دقیق‌تر کاربری اراضی این مناطق ضروری می‌باشد. حدود ۶۱ درصد از تمرکز کشاورزی آبی حوضه آجی‌چای مربوط به شهرستان‌های تبریز و سراب بوده و بیشترین مساحت باغ نیز متعلق به شهرستان‌های تبریز، آذرشهر، سراب و اسکو است که به ترتیب ۲۸، ۱۷، ۱۶ و ۱۵ درصد از مساحت کل باغ حوضه را تشکیل می‌دهند (سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی ۲۰۱۸). در شکل ۱ هشت محدوده اصلی کشاورزی متناسب با آبخوان‌های حوضه آجی‌چای نشان داده شده است که از این تعداد آبخوان‌های سراب، اسب فروشان، دوزدوزان و بخشی از آبخوان مهربان در شهرستان سراب واقع هستند.



شکل ۱- هشت محدوده اصلی کشاورزی حوضه آبریز آجی‌چای

مدل هیدرو-اقتصادی

مطالعات اخیر در زمینه توسعه الگوی‌های مدیریت منابع آب و ارزیابی سیاست‌ها به دنبال روش‌های چندبعدی برای تصمیم‌گیری می‌باشند. در میان روش-های متعددی که برای یکپارچه‌سازی منابع آب بکار رفته است، مدل‌های هیدرو-اقتصادی به عنوان یک ابزار متفاوت برای ارزیابی سیاست و استراتژی‌های مدیریت منابع آب معرفی گردید (هارو و همکاران ۲۰۰۹). در مجموع مدل‌های هیدرو-اقتصادی دو جزء اصلی هیدرولوژیکی و اقتصادی را شامل می‌شوند، به این صورت که هر کدام به صورت مستقل اجرا شده ولی خروجی یک مدل به عنوان ورودی در مدل دیگر بکارگرفته می‌شود. در ادامه به ویژگی هر کدام از مدل‌ها پرداخته خواهد شد.

مدل اقتصادی (برنامه‌ریزی درجه دوم توأم با ریسک)

در علم اقتصاد، رفتار ریسک‌گریزی نوعی رفتار عقلایی به‌شمار می‌آید. همچنین فرض بر این است که هدف اصلی تولیدکنندگان دستیابی به بیشترین سود می-باشد. بهره‌برداران کشاورزی، افزون بر کوشش در کسب درآمد خالص قابل قبول، هدف‌های دیگری نیز همچون کاهش نوسان‌های درآمدی و در نتیجه ریسک و عدم حتمیت و تامین نیازهای غذایی خانوار دارند (دیلون و هارداکر ۱۹۸۰). پس منطقی است که در برنامه‌ریزی-های اقتصاد کشاورزی به ریسک توجه شود. بنابراین گروهی از روش‌های مرسوم در برنامه‌ریزی ریاضی که در تهیه و تنظیم بهینه بهره‌برداران به عدم قطعیت‌های گوناگون از جمله ریسک تولید و ریسک قیمت‌ها توجه دارد باید مورد استفاده قرار گیرد. در این بین روش برنامه‌ریزی ریاضی توام با ریسک از نوع درجه دوم[1] (QRP) برای تصمیم‌گیری‌های همراه با مخاطره مورد توجه و استفاده محققان مختلف قرار گرفته است.

QRP بر این پایه است که تابع مطلوبیت را می‌توان بر مبنای میانگین یا ارزش انتظاری (E) و واریانس (V) بیان کرد. در این مدل، ریسک به‌وسیله واریانس درآمد رویدادهای گوناگون برآورد می‌شود و تابع مطلوبیت مجموعه‌ای است از ارزش انتظاری و واریانس متغیر تصادفی. تابع هدف در مدل QRP (رابطه ۱) حداکثر مطلوبیت مورد انتظار کشاورزان را نشان می‌دهد:

$$U = \sum_j gm_j . \mathrm{X}_j - \sum_j prc_j . X_j - \sum_j labc_j . X_j - \varphi . \sigma(Z) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$\text{Subject to: } \sum a_{ij} X_j \le b_i \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$X_j > 0 \quad \text{(رابطه ۳)}$$

الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی فوق با توجه به تابع هدف و محدودیت‌های منابع و کالیبراسیون برآورد می-شود. در این رابطه j بیانگر نوع محصول (در این مطالعه شامل گندم، جو، یونجه، سیب‌زمینی و لوبیا)، gm بازده ناخالص هر هکتار محصول، X_j کل سطح زیرکشت هر محصول، prc کل هزینه تولید و labc هزینه نیروی کار و a_{ij} میزان مصرف نهاده iام در تولید محصول jام است. φ ضریب ریسک‌گریزی کشاورزان و $\varphi(\mathrm{Z})$ انحراف-معیار ایجاد شده درآمد مزرعه در اثر تغییر عوامل خارج از کنترل کشاورز (تغییر اقلیم و بازار) می‌باشد. جهت بدست آوردن ضریب ریسک‌گریزی ابتدا مطلوبیت مورد انتظار را به روش QRP با توجه به محدودیت‌های موجود و در سطح واریانس واقعی مزارع (V)، حداکثر نموده که تحت این شرایط درآمد خالص بهینه مزارع (E^*) مشخص می‌شود. سپس در ادامه واریانس واقعی مزارع با توجه به محدودیت‌ها و در سطح درآمد خالص مزارع (E)، حداقل می‌گردد که تحت این شرایط نیز واریانس بهینه (V^*) به دست می‌آید. با مشخص بودن دو نقطه از منحنی مرزی کارا، ضریب ریسک‌گریزی به صورت رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$\varphi = \frac{2(E^* - E)}{(V - V^*)} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

[1] Quadratic Risk Programming

نقطه (E, V) مقادیر بهینه نشده می‌باشند، بنابراین کشاورزان می‌توانند با همان سطح واریانس V، درآمد خالص انتظاری خود را تا سطح *E افزایش دهند و یا اینکه با همان درآمد خالص انتظاری، مقدار واریانس خود را تا سطح *V کاهش دهند.

مدل اقتصادی قبل از شبیه‌سازی نسبت به ضریب ریسک‌گریزی واسنجی شده تا یک ضریب ریسک‌گریزی را پیدا کند که در آن الگوی کشت شبیه‌سازی شده با الگوی کشت واقعی هم‌خوانی داشته باشد. برای ارزیابی دقت مدل واسنجی‌شده شده از معیار درصد انحراف مطلق[۱] (PAD) استفاده می‌گردد که براساس رابطه ۵ بدست می‌آید (استیو و همکاران ۲۰۱۵):

(رابطه ۵)
$$PAD = \frac{\sum_{c-n}^{n}\left|X^{obs} - X^{sim}\right|}{\sum_{c-n}^{n} X^{obs}} \times 100$$

که در آن X^{obs} مقدار مشاهده شده و X^{sim} مقدار شبیه‌سازی شده می‌باشد. واسنجی مناسب زمانی است که مقدار PAD به صفر نزدیک شود.

مدل هیدرولوژیکی (WEAP-MABIA)

WEAP یک نرم‌افزار جامع و پیشرفته‌ساز منابع آب است که در مدیریت حوضه آبریز کاربرد گسترده‌ای دارد. این مدل یک ابزار سودمند برای تحلیل سیاست‌ها و برنامه‌ریزی منابع آب می‌باشد که براساس معادلات پایه بیلان آبی عمل کرده و آن را می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم‌های رودخانه‌ای پیچیده به‌کار برد و قابلیت شبیه‌سازی و بهینه‌سازی حقابه‌ها با در نظر گرفتن اولویت‌های تخصیص را دارا می‌باشد (سانتیکایاسا و همکاران ۲۰۱۵). مدل WEAP برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک مانند تبخیر و تعرق، رواناب، نفوذ و آبیاری از ماژول‌های مختلفی استفاده می‌کند. MABIA، یکی از ماژول‌های درون مدل WEAP است که با استفاده از اطلاعات زراعی، تبخیر- تعرق روزانه، برنامه‌ریزی آبیاری، رشد و عملکرد محصول را شبیه‌سازی می‌کند. MABIA برای شبیه‌سازی عملکرد محصولات گیاهان، از رابطه ۶ استفاده می‌کند:

(رابطه ۶)
$$1-\frac{Y_a}{Y_m} = K_y\left(1-\frac{ET_a}{ET_c}\right)$$

در رابطه ۵، Y_a عملکرد واقعی محصول، Y_m عملکرد حداکثر، K_y فاکتور واکنش-عملکرد، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و ET_c تبخیر و تعرق در شرایط مشابه واقعی ولی بدون محدودیت آبی می‌باشد (چتینکایا و گوناکتی ۲۰۱۸). فاکتور واکنش-عملکرد در مدل MABIA برای مراحل رشد محصولات مختلف ارائه شده است. دقت مدل پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیکی با استفاده از ضریب نش-ساتکلیف[۲] (Nash) و خطای اریب (BIAS) اندازه‌گیری می‌شود (بلانگو گوتیرز و همکاران ۲۰۱۳):

(رابطه ۷)
$$Nash = 1-\left[\frac{\sum_{t=1}^{n}\left(Q_t^{obs} - Q_t^{sim}\right)^2}{\sum_{t=1}^{n}\left(Q_t^{obs} - Q_{obs}^{mean}\right)^2}\right]$$

(رابطه ۸)
$$BIAS = 100\times\frac{Q_{sim}^{mean} - Q_{obs}^{mean}}{Q_{obs}^{mean}}$$

که در آن Q_t^{obs} و Q_t^{sim} به ترتیب برابر مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی در زمان t، n تعداد مشاهدات، Q_{obs}^{mean} و Q_{sim}^{mean} به ترتیب میانگین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی می‌باشد. BIAS نشان‌دهنده بیشتر یا کمتر بودن جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی بوده و NSE که برای ارزیابی توانایی شبیه‌سازی به کار رفته، اگر برابر یک باشد، تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد.

شاخص‌های ارزیابی

یک شاخص پایداری کشاورزی مجموعه‌ای از سنجه-های پایداری است که پایداری یک کشاورزی را به شکل کمی تعیین می‌کند. به منظور ارزیابی وضعیت مناطق مورد مطالعه، دو شاخص پایداری کشاورزی و کمبود

[۱] Percentage Absolute Deviation

[2] Nash Sutcliffe

آب آبیاری برای دوره آماری ۲۰۵۰-۲۰۱۹ در نظر گرفته شد. روش شاخص پایداری ارائه شده براساس رویکرد لوکاس (۱۹۹۷) محاسبه شد که برای تسهیل ارزیابی یک سیاست مدیریت آب و مقایسه آن با سایر سیاست‌های دیگر پیشنهاد شده است. این روش از طریق جمع سری-زمانی شاخص مربوطه با استفاده از معیارهای عملکرد اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری محاسبه گردید. شاخص ارائه شده توسط لوکاس برای کشاورز iام را می‌توان به‌صورت رابطه ۹ نوشت:

$$SI^i = [\mathrm{Rel}^i \times \mathrm{Res}^i \times (1-\mathrm{Vul}^i)]^{\frac{1}{3}} \quad \text{(رابطه ۹)}$$

(رابطه ۱۰)

اطمینان‌پذیری

که در آن $N_{(D_t^i=0)}$ عدد مربوط به تعداد دفعاتی است که نیاز کشاورز iام به طور کامل تامین شده است ($D_t^i = 0$). N تعداد کل گام‌های زمانی در طول دوره شبیه‌سازی می‌باشد.

برگشت‌پذیری

$$0 \le \mathrm{Res}^i \le 1 \quad \text{(رابطه ۱۱)}$$

آسیب‌پذیری

آسیب‌پذیری یک معیار آماری اندازه (بزرگی) یا طول مدت شکست‌ها در یک سری زمانی می‌باشد (احمدآلی و همکاران ۲۰۱۷). آسیب‌پذیری به صورت نسبت مجموع

$$0 \le Vul^i \le 1 \quad \text{(رابطه ۱۲)}$$

اعمال سناریوهای اقلیمی در مدل WEAP با تغییرات در داده‌های ورودی مدل (بارندگی، دما) شبیه‌سازی می-شود. جهت بررسی تغییر اقلیم نیاز به تولید سری زمانی روزانه سناریوی اقلیمی می‌باشد. به این صورت که با ریزمقیاس نمایی داده‌های اقلیمی تولید شده توسط مدل-های گردش عمومی جو تحت سناریوهای انتشار مختلف، داده‌های اقلیمی تولید شده و وارد مدل می‌گردد. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه بعدی جفت‌شده اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی جو (AOGCM) می‌باشد. در این پژوهش از خروجی مدل HadCM3 از نوع مدل‌های AOGCM تحت سه سناریوی انتشار A2، B1 و A1B مربوط به گزارش چهارم IPCC استفاده گردید. هر کدام از این سناریوها مسائل مختلف سیاسی-اجتماعی، اقتصادی، جمعیتی، تکنولوژیکی و زیست‌محیطی را متفاوت از دیگری در نظر می‌گیرند و مبتنی بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن و سایر

که در آن Rel^i، Res^i و Vul^i به ترتیب اطمینان-پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری برای کشاورز iام دارا می‌باشد. شاخص پایداری از مقدار صفر، برای کمترین مقدار ممکن تا مقدار یک برای بیشترین و بهترین مقدار ممکن تغییر می‌کند (احمدآلی و همکاران ۲۰۱۷)

اطمینان‌پذیری نشان‌دهنده تعداد دفعاتی است که نیاز کشاورز iام در طول دوره شبیه‌سازی (۲۰۳۰-۲۰۵۰) به طور کامل تامین شده است ($D_t^i = 0$) و به صورت رابطه ۱۰ نشان داده می‌شود (سندوال سولیس ۲۰۱۱):

$$\mathrm{Rel}^i = \frac{N_{(D_t^i=0)}}{N} \qquad 0 \le \mathrm{Rel}^i \le 1$$

برگشت‌پذیری سیستم براساس تعداد دفعاتی که در طول دوره شبیه‌سازی (۲۰۳۰-۲۰۵۰)، سیستم از حالت شکست به حالت مطلوب برگشته به تعداد کل گام‌های زمانی که در آنها سیستم با کمبود مواجه بوده است ($D_t^i > 0$)، مطابق رابطه ۱۱ تعریف می‌شود:

$$\mathrm{Res}^i = \frac{Number\ of\ times\ D_t^i = 0\ after\ D_t^i > 0}{Nummber\ of\ times\ D_t^i > 0\ occured}$$

کل کمبودها به تعداد دفعاتی که در آنها کمبود اتفاق افتاده، تقسیم بر کل نیاز کشاورز iام در طول دوره مورد بررسی تعریف گردیده است.

$$\mathrm{Vul}^i = \frac{\sum_{D_t^i>0} D_t^i}{\frac{Number\ of\ times\ D_t^i > 0\ \text{occured}}{\sum_{t=1}^{t=N} Demand_t^i}}$$

گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره‌زمین تا پایان قرن حاضر می‌باشند. موضوع سناریوی A2 رشد زیاد جمعیت، وابستگی کمتر به پیشرفت سریع اقتصادی و سرعت پایین رشد اقتصادی می‌باشد. از فرضیات سناریو B1 این است که جمعیت جهان در سال ۲۱۰۰ به هفت میلیارد نفر می‌رسد. این سناریو بیشتر به استفاده از انرژی‌های پاک و محیط‌زیست و پایداری اقتصادی محیط‌زیست و اقتصاد در سطح جهانی تاکید دارد. مفروضیات سناریو A1B نیز شامل رشد سریع اقتصادی، رشد جمعیت پایین، همگرایی اقتصادی فرهنگی در سطح جهان و کاهش قابل توجهی در اختلاف‌های منطقه‌ای در درآمد سرانه می‌باشد.

شکاف موجود بین قدرت تفکیک مدل‌های اقلیمی و فرایندهای منطقه‌ای، مشکل جدی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم از جمله کاربرد سناریوهای تغییر اقلیم برای مدل‌های هیدرولوژیکی ایجاد کرده است. این مشکل از طریق مجموعه روش‌هایی حل می‌شود که به روش ریزمقیاس‌سازی معروف است (فولر و همکاران، ۲۰۰۷). در این پژوهش از مدل LARS-WG برای کوچک مقیاس کردن داده‌های مدل جهانی HadCM3 استفاده خواهد شد. داده‌های استفاده شده در این پژوهش از طریق پرسشنامه در سال ۱۳۹۷ از شهرستان سراب گردآوری شد. با استفاده از فرمول کوکران، ۲۱۰ نفر از کشاورزان به عنوان حجم نمونه انتخاب شدند. در این پرسشنامه همه متغیرهای مورد نیاز از جمله اطلاعات مقدار و قیمت نهاده‌ها و محصولات گندم آبی، جو آبی، سیب‌زمینی، یونجه و لوبیا جمع‌آوری شد.

نتایج

مهم‌ترین نکته در استفاده از مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی، بررسی توان مدل در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی است که این‌کار از طریق صحت‌سنجی و واسنجی مدل انجام می‌شود. هر کدام از دو دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۰ و ۱۹۷۱-۲۰۱۹ به ترتیب برای واسنجی (شبیه‌سازی دوره پایه) و صحت‌سنجی متغیرهای اقلیمی شامل دمای حداقل و حداکثر و بارش انتخاب شدند. نتایج مربوط به دوره صحت‌سنجی و واسنجی مدل LARS-WG برای متغیرهای اقلیمی مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. بررسی صحت مدل ساخته شده با معیارهای آماری ضریب نش-ساتکلیف و خطای اریب بیان‌گر شناسایی مناسب الگوی پارامترهای اقلیمی توسط مدل شبیه‌سازی شده می‌باشد.

جدول ۱- مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی

ایستگاه هیدرومتری	سهزاب	میرکوه حاجی	ارزنق	مهربان
		دوره واسنجی		
NASH	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۷۸	۰/۷۱
BIAS	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۸
		دوره اعتبارسنجی		
NASH	۰/۷۸	۰/۸۳	۰/۷۴	۰/۶۸
BIAS	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۱۹

نتایج متوسط سالیانه بارش، کمترین و بیشترین دما در دوره‌ی آینده (۲۰۱۹-۲۰۵۰) نشان داد بارش ایستگاه‌های مطالعه شده در دوره آتی برای تمام سناریوهای انتشار A2، B1 و A1B نسبت به دوره پایه کاهش نشان می‌دهد. بیشترین کاهش برای سناریو انتشار A1 بوده، به گونه‌ای که تحت این سناریو بارش ۳۸ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین کمترین و بیشترین دمای ایستگاه‌های مطالعه شده در دوره آتی برای تمامی سناریوهای انتشار نسبت به دوره پایه افزایش نشان داد. در دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۱۸ تحت سناریوی A2 مقدار متوسط دمای سالانه ۲/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه ۲۰۱۸-۱۹۸۷ افزایش خواهد یافت. این مقادیر برای سناریو B1 وA1B اندکی کمتر می‌باشد. به طوریکه تحت این سناریوها مقدار متوسط دمای سالانه به ترتیب ۱/۷ و ۲/۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به سال پایه افزایش خواهد یافت. با بررسی سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره آتی، سناریوی A2 به عنوان وخیم‌ترین سناریوی انتشار (حساسیت بالا در دوره‌های آتی) شناخته شد.

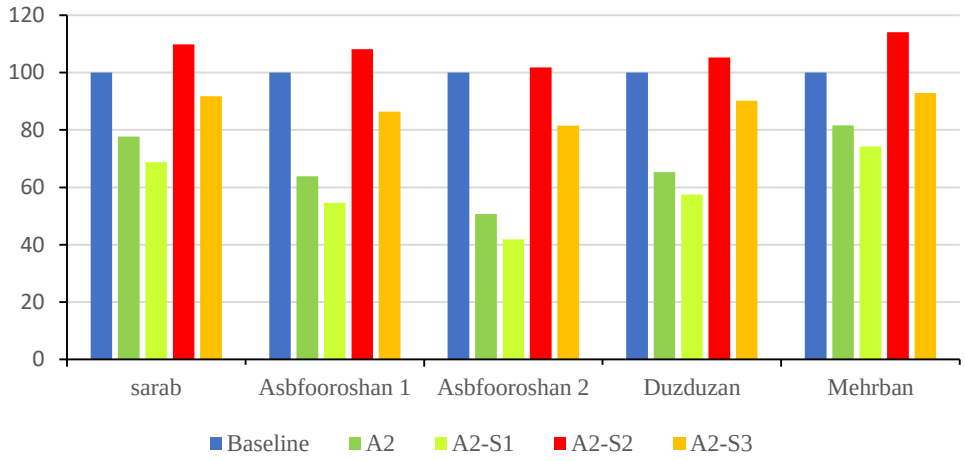
در جدول ۲ مقادیر شاخص‌های اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری در حالت پایه گزارش شده است. با توجه به میانگین شاخص پایداری آب در این ناحیه (۰/۸۶)، می‌توان نتیجه گرفت که در حالت پایه نیز منطقه مورد مطالعه با تنش آبی مواجه است و تغییر اقلیم موجب تشدید و پیچیده‌تر شدن تنش آبی در این منطقه خواهد شد. بیشترین کاهش شاخص پایداری کشاورزی مربوط به منطقه اسبفروشان ۲ بوده که برابر ۰/۷۸ است. راندمان آبیاری هر یک از مناطق کشاورزی مورد مطالعه در ستون دوم جدول ۲ گزارش گردیده است. میانگین راندمان آبیاری در مناطق مورد مطالعه برابر ۴۲ درصد و بیشترین آن با ۴۴ درصد مربوط به منطقه دوزدوزان است. براساس میانگین کشور متوسط راندمان سامانه‌های آبیاری تحت فشار و سطحی به ترتیب حدود ۶۶/۶ و ۵۳/۶ درصد است. مقایسه راندمان آبیاری حوضه با مقدار متوسط کشور بیانگر پایین بودن راندمان آبیاری در این حوضه می‌باشد. ازاین‌رو استفاده از روش‌های آبیاری نوین با راندمان بالاتر مانند توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار می‌تواند به‌عنوان راهکاری جهت مقابله با تغییر اقلیم موثر واقع شود. بر این اساس، سناریو بهبود راندمان آبیاری در تمامی مناطق کشاورزی به‌عنوان یک استراتژی تطبیقی برای کاهش آثار تغییر اقلیم انتخاب شد.

جدول ۲- مقادیر شاخص پایداری کشاورزی مناطق کشاورزی در حالت پایه

آبخوان	راندمان آبیاری	آب در دسترس (میلیون مترمکعب)	Rel	Res	Vul	ASI
سراب	۴۱	۱۳۲/۵۷	۰/۹۳	۰/۸۶	۰/۰۶	۰/۹
اسبفروشان ۱	۴۱	۶۶/۶	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۰۵	۰/۹
اسبفروشان ۲	۴۱	۲۱/۹	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۱۱	۰/۷۸
دوزدوزان	۴۴	۴۵/۶	۰/۸۳	۰/۸۱	۰/۰۹	۰/۸۴
مهربان ۱	۴۳	۳۴/۴۳	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۰۸	۰/۸۸
میانگین	۵۲	۶۰/۲۲	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۰۷۸	۰/۸۶

در گام بعد اثر سناریوهای مدیریت منابع آب بر سود کشاورزان منطقه بدست آمد. شکل ۲ درصد تغییرات شاخص سود کشاورزان در اثر تغییر اقلیم (S0) و همین سناریوهای مدیریت منابع آب را نشان می‌دهد. مقدار شاخص سود در حالت پایه ۱۰۰ در نظر گرفته شده و تغییرات شاخص در سناریوهای مورد مطالعه نسبت به آن سنجیده می‌شود. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود با اعمال سناریو کاهش سهم آب بخش کشاورزی (S1) و افزایش قیمت آب آبیاری (S3)، شاخص سود در هر یک از مناطق کمتر از ۱۰۰ بوده که بیانگر کاهش سود کشاورزان نسبت به سال پایه می‌باشد. بیشترین میزان کاهش سود مربوط به سناریو کاهش سهم آب بخش کشاورزی همراه سناریو انتشار A2 می‌باشد. به عنوان مثال سود منطقه کشاورزی دوزدوزان با اجرای سناریو کاهش سهم آب بخش کشاورزی حدود ۴۲/۵ درصد نسبت به حالت پایه کاهش می‌یابد. بیشترین میزان کاهش سود ناشی از اجرای این سناریو مربوط به منطقه اسبفروشان ۲ با ۵۸/۱ درصد کاهش نسبت به پایه می‌باشد. در کلیه زیرحوضه‌های تحت بررسی با افزایش راندمان آبیاری (سناریو S2) میزان سود آن زیرحوضه افزایش یافته است. در منطقه کشاورزی اسبفروشان ۱ مقدار سود به اندازه ۸/۱ درصد نسبت به حالت پایه افزایش نشان می‌دهد. بیشترین میزان افزایش سود در این سناریو مربوط به مهربان با ۱۴/۱ درصد و کمترین آن مربوط به اسبفروشان ۲ با ۱/۸ درصد بوده است. از این‌رو با افزایش راندمان آبیاری رفاه کشاورزان هر یک از مناطق با توجه به سود مناسب‌تر، حفظ خواهد شد.

معیارهای اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری برای حوضه‌های کشاورزی طی دوره آتی (۲۰۱۹-۲۰۵۰) تحت سناریوهای انتشار و سیاست مدیریت منابع آب از جمله کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی، افزایش ۳۵ درصدی راندمان آب آبیاری و افزایش ۴۰ درصدی قیمت آب آبیاری در جدول ۳ ارائه



شکل ۲- شاخص سود کشاورزان منطقه تحت سناریوهای اقلیمی و مدیریت منابع آب

شده است. مقادیر درصد اطمینان‌پذیری سیستم در برآورد تقاضای هر کدام از آبخوان‌ها طی سناریو تغییر اقلیم (A2) نشان می‌دهد چنانچه در تمام سال‌های پیش-رو در یک افق بلندمدت مقدار آب موجود در اثر کاهش بارندگی و افزایش دما کاهش داشته باشد، احتمال اینکه تقاضای آبخوان سراب به طور کامل تامین شود ۷۴ درصد است. همچنین با احتمال ۷۶ درصد تقاضا در منطقه کشاورزی اسبفروشان ۱ تامین خواهد شد. این نتیجه حاکی از پایین بودن احتمال تامین آب در بخش کشاورزی می‌باشد و تایید می‌کند که در اثر تغییر اقلیم شدید بیشترین فشار بر بخش کشاورزی وارد خواهد شد. معیار برگشت‌پذیری به معنای احتمال رخ دادن یک دوره عدم شکست پس از یک دوره شکست می‌باشد. بنابراین؛ مقدار هر چه بیشتر این معیار بیانگر وقوع شکست‌های متوالی کمتر در سیستم بهره‌برداری است. مطابق جدول ۳، با اتخاذ سناریوهای مدیریت آب معیار برگشت‌پذیری نسبت به سناریو تغییر اقلیم افزایش یافته است و بیشترین میزان افزایش این معیار مربوط به سناریو افزایش راندمان آب آبیاری می‌باشد. معیار آسیب‌پذیری تحت سناریوهای مدیریتی کاهش یافته است، بدین معنا که با اجرای این سناریوها میانگین شکست یا کمبود در طول دوره بهره‌برداری کاهش می-یابد. میزان این معیار تحت سناریو A1B و در منطقه مهربان از ۰/۱۲ به ۰/۰۹ تحت سناریو S1 رسیده است. مقایسه این معیار نیز نشان می‌دهد بیشترین میزان کاهش آسیب‌پذیری مربوط به سناریو افزایش راندمان آب آبیاری می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که احتمال وقوع شکست‌های متوالی و میانگین شکست در اثر تغییر اقلیم در سناریو S2 کمتر از سایر سناریوهای مدیریتی می‌باشد. از این‌رو سناریو S2 به عنوان یک سناریو موفق باعث سهولت در تصمیم‌گیری و تهیه نظام بهره‌برداری از منابع آب، برای نهادهای ذیربط می‌شود. چراکه با استفاده از این نتایج می‌توان با مدیریت تخصیص‌ها و به‌کار گیری سناریوی موفق، کمبودها را در اثر وقوع تغییر اقلیم به حداقل ممکن رساند. کمترین میزان معیارهای اطمینان‌پذیری و برگشت‌پذیری مربوط به منطقه اسبفروشان ۲ بوده است، لذا می‌توان گفت که این منطقه یک منطقه آسیب‌پذیر در اثر وقوع تغییر اقلیم خواهد بود.

به منظور ارزیابی وضعیت منطقه به لحاظ پایداری، دو شاخص پایداری کشاورزی و کمبود آب آبیاری[1] (تقاضای برآورد نشده) برای دوره زمانی مورد مطالعه ۲۰۵۰-۲۰۱۹ در نظر گرفته شد. شاخص پایداری کشاورزی (ASI) بین صفر و یک متغیر بوده و مقادیر آن زمانی مناسب است که به عدد یک متمایل گردد. مطابق جدول ۴ مقدار شاخص پایداری کشاورزی تحت

[1] Irrigation Water Deficit (IWD)

سناریوهای تغییر اقلیم کمتر از یک بوده که بیانگر آن است که همه مناطق کشاورزی با تنش روبرو می‌شوند. بیشتر میزان کاهش شاخص پایداری در اثر تغییر اقلیم مربوط به سناریوی انتشار A2 است، چراکه این سناریو به عنوان وخیم‌ترین سناریوی تغییر اقلیم شناخته شد. بهبود ASI تحت سیاست‌های مختلف می‌تواند بدست آید. مقدار ASI برای تمام سناریوهای مدیریتی در نظر گرفته شده افزایش نشان می‌دهد، اما بیشترین میزان افزایش شاخص پایداری کشاورزی مربوط به سناریو افزایش راندمان آب آبیاری تحت سناریوی انتشار B1 است. با توجه به اینکه منطقه اسبفروشان ۲ به علت راندمان آبیاری پایین پتانسیل بیشتری برای بهبود پایداری دارد، در این منطقه افزایش مقدار ASI بیشتر می‌باشد؛ به‌طوری که از ۰/۶۱ تحت سناریو A1، به ۰/۷۱ تحت سناریو افزایش راندمان آب آبیاری می‌رسد که حدود ۱۷ درصد افزایش را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴ تحت سناریوهای اقلیمی، مقادیر کمبود آب آبیاری (IWD) یا تقاضای برآورد نشده برای تمامی مناطق کشاورزی در حد قابل توجهی می‌باشد. این کمبود در بسیاری از مناطق می‌تواند باعث کاهش عملکرد و کاهش درآمد کشاورز گردد. میانگین شاخص کمبود آبیاری (IWD) در سناریو انتشار A2 برابر ۱۰/۴۳ بوده که بیانگر آن است که در اثر تغییر اقلیم حدود ۱۰/۴۳ میلیون مترمکعب از تقاضای کشاورزی تامین نمی‌گردد اما با راهکارهای پیشنهاد شده (سناریوهای S1 تا S3) می‌توان مقدار IWD را تا

جدول ۳- معیارهای اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری برای مناطق کشاورزی

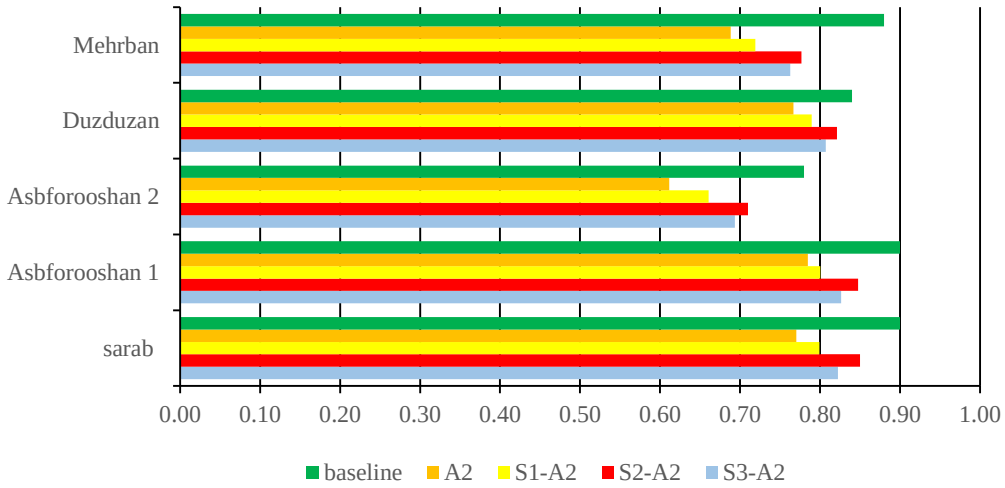
سناریوها	تغییر اقلیم (S0)			سناریو کاهش سهم آب کشاورزی (S1)			سناریو افزایش راندمان آب آبیاری (S2)			سناریو افزایش قیمت آب آبیاری (S3)		
	Rel	Res	Vul	Rel	Res	Vul	Rel	Res	Vul	Rel	Res	Vul
A2												
سراب	۰/۷۴	۰/۶۹	۰/۱۱	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۰۹	۰/۸۵	۰/۷۷	۰/۰۷	۰/۸۱	۰/۷۴	۰/۰۸
اسبفروشان ۱	۰/۷۶	۰/۷۱	۰/۱۱	۰/۷۹	۰/۷۳	۰/۱۱	۰/۸۴	۰/۷۸	۰/۰۸	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۰۹
اسبفروشان ۲	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۲۴	۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۱۹	۰/۶۷	۰/۶۲	۰/۱۵	۰/۶۶	۰/۶	۰/۱۷
دوزدوزان	۰/۷۵	۰/۷۰	۰/۱۵	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۱۳	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۱۱	۰/۷۹	۰/۷۵	۰/۱۲
مهربان	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۱۳	۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۱۲	۰/۷۵	۰/۶۹	۰/۱	۰/۷۲	۰/۶۸	۰/۱۱
B1												
سراب	۰/۷۹	۰/۷۱	۰/۰۸	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۰۷	۰/۸۸	۰/۸	۰/۰۶	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۰۶
اسبفروشان ۱	۰/۸۱	۰/۷۴	۰/۰۸	۰/۸۴	۰/۷۶	۰/۰۷	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۰۵	۰/۸۵	۰/۸	۰/۰۶
اسبفروشان ۲	۰/۶۴	۰/۶۰	۰/۱۸	۰/۶۸	۰/۶۵	۰/۱۴	۰/۷	۰/۶۹	۰/۱۱	۰/۷	۰/۶۸	۱۲/۳۲
دوزدوزان	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۱	۰/۸۲	۰/۷۹	۰/۱	۰/۸۴	۰/۸۱	۰/۰۸	۰/۸۳	۰/۸	۰/۰۹
مهربان	۰/۷	۰/۶۵	۰/۰۹	۰/۷۳	۰/۶۸	۰/۰۸	۰/۷۸	۰/۷۳	۰/۰۷	۰/۷۵	۷۲/۲۱	۰/۰۸
A1B												
سراب	۰/۷۶	۰/۷	۰/۰۹	۰/۸۱	۰/۷۴	۰/۰۸	۰/۸۶	۰/۷۹	۰/۰۷	۰/۸۴	۰/۷۹	۰/۰۷
اسبفروشان ۱	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۱	۰/۸۳	۰/۷۵	۰/۰۹	۰/۸۵	۰/۸	۰/۰۷	۰/۸۴	۰/۷۹	۰/۰۸
اسبفروشان ۲	۰/۶	۰/۵۸	۰/۲	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۱۸	۰/۶۸	۰/۶۵	۰/۱۳	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۱۴
دوزدوزان	۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۱۳	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۱۲	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۱	۰/۸	۰/۷۸	۰/۱۱
مهربان	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۱۲	۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۰۹	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۰۸	۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۰۹

حدود زیادی بهبود بخشید. در میان سناریوی اقلیمی کمترین میزان IWD مربوط به سناریوی B1 که تحت این سناریو ۸/۹ میلیون مترمکعب از تقاضا تامین نخواهد شد. با توجه به جدول مقدار IWD در سناریو S1 به ۷/۶۵ میلیون مترمکعب خواهد رسید که حدود ۲۶/۶ درصد نسبت به سناریو تغییر اقلیم (A2) بهبود می‌یابد. بیشترین بهبود برای IWD مربوط به سناریوی افزایش راندمان آب آبیاری می‌باشد که طی آن تقاضای برآورد نشده به

۶/۷۴ میلیون مترمکعب خواهد رسید که کاهش ۳۵/۳ درصدی نسبت به سناریو تغییر اقلیم A2 را نشان می‌دهد و بیانگر بهبود وضعیت پایداری منابع نسبت به تغییر اقلیم می‌باشد. شکل ۳ به مقایسه شاخص پایداری کشاورزی تحت سناریو اقلیمی A2 و سناریوهای مدیریت منابع آب نسبت به حالت پایه می‌پردازد. بررسی مقادیر شاخص پایداری کشاورزی برای مناطق کشاورزی مورد مطالعه در حالت پایه حاکی از شرایط ناپایدار در این مناطق می‌باشد. کمترین میزان شاخص پایداری کشاورزی در سناریوهای تغییر اقلیم مربوط به منطقه اسبفرشان ۲ می‌باشد. در واقع قرار گرفتن ناحیه کشاورزی اسبفروشان ۲ در پایین‌دست حوضه آبریز آجی‌چای، موجب تشدید اثرات تغییر اقلیم بر پایداری منابع آب منطقه شده است. همچنین اسبفروشان یک به علت وابستگی شدید به منابع آبی بالادست و راندمان آبیاری کمتر، پتانسیل بیشتری برای بهبود پایداری داشته و لذا مقدار افزایش ASI در این منطقه زیادتر است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که در میان سناریوهای مدیریتی درنظر گرفته شده جهت سازگاری با تغییر اقلیم، بیشترین مقدار ASI برای تمامی حوضه‌های مورد مطالعه مربوط به سناریو افزایش راندمان آب آبیاری (A2-S2) می‌باشد. نتایج فوق نشان می‌دهد که می‌توان با اتخاذ راهکارهای مدیریتی مناسب پایداری کشاورزی و کمبود آب آبیاری در اثر تغییر اقلیم را بهبود داد. نتایج مطالعه بریم‌نژاد و یزدانی (۲۰۰۴)، بیلماز و هارمانسیگولو (۲۰۱۰)، مهتا و همکاران (۲۰۱۳) و ریچتر و همکاران (۲۰۱۷) همسو با یافته‌های پژوهش نشان داد که بهبود راندمان آب آبیاری سبب افزایش پایداری کشاورزی و صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود.

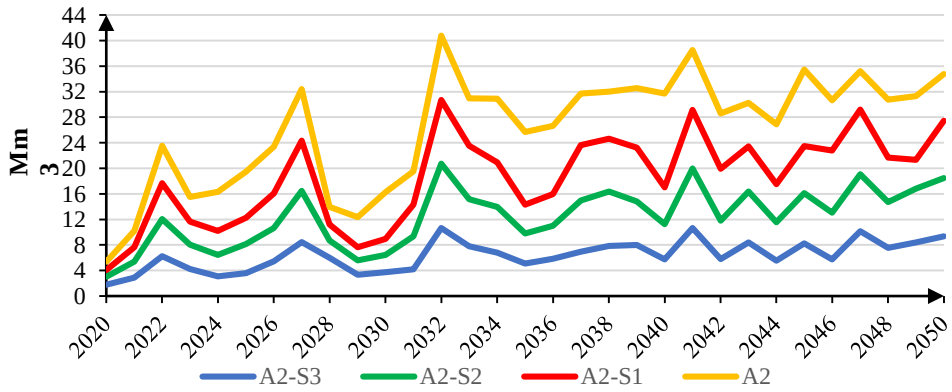
جدول ۴- ارزیابی شاخص پایداری کشاورزی و کمبود آب آبیاری برای مناطق کشاورزی

سناریوها	ASI				IWD			
	S0	S1	S2	S3	S0	S1	S2	S3
A2								
سراب	۰/۷۷	۰/۸۰	۰/۸۵	۰/۸۲	۲۵/۱۸	۱۶/۴	۱۴/۶	۱۷/۹
اسبفروشان ۱	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۸۳	۹/۸	۸/۴۵	۷/۳۱	۸/۸۹
اسبفروشان ۲	۰/۶۱	۰/۶۶	۰/۷۱	۰/۶۹	۶/۵	۵/۱	۴/۳	۵/۴
دوزدوزان	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۱	۵/۸	۴/۶	۴/۲	۵/۱
مهربان	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۷۸	۰/۷۶	۴/۹	۳/۷۳	۳/۳۱	۴/۵۴
میانگین	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۸	۰/۷۸	۱۰/۴۳	۷/۶۵	۶/۷۴	۸/۳۶
B1								
سراب	۰/۸۰	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۷	۲۱/۳	۱۴/۷۸	۱۳/۴۲	۱۶/۳
اسبفروشان ۱	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۸۷	۰/۸۶	۸/۳۴	۷/۵۶	۶/۸۵	۷/۹۳
اسبفروشان ۲	۰/۶۸	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۷۵	۵/۹۱	۴/۸۳	۴/۱	۵/۰۵
دوزدوزان	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۸۵	۵/۱۱	۴/۲۵	۳/۷۷	۴/۷۷
مهربان	۰/۷۵	۰/۷۷	۰/۸۱	۰/۷۹	۴/۲	۳/۲۱	۳/۰۳	۳/۵۴
میانگین	۰/۷۷	۰/۸	۰/۸۳	۰/۸۲	۸/۹	۶/۹	۶/۲	۷/۵
A1B								
سراب	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۸۵	۲۳/۳	۱۵/۶	۱۳/۷۶	۱۶/۶۳
اسبفروشان ۱	۰/۸۰	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۷۹	۸/۹۵	۷/۹۶	۷/۱۱	۸/۱۱
اسبفروشان ۲	۰/۶۵	۰/۷	۰/۷۳	۰/۷۲	۶/۲۲	۵/۰۶	۴/۱۹	۵/۴۳
دوزدوزان	۰/۸	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۸۲	۵/۴۳	۴/۳۳	۳/۹۵	۴/۸۵
مهربان	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۷۹	۰/۷۷	۴/۴۴	۳/۶	۳/۲	۳/۷۸
میانگین	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۷۹	۹/۶	۷/۳	۶/۴	۷/۷



شکل ۳- مقایسه شاخص پایداری کشاورزی تحت سناریوهای اقلیمی و مدیریت منابع آب

کمبود آب آبیاری (IWD) یا تقاضای برآورد نشده یک شاخص ارزشمند برای ارزیابی پایداری منابع آب می‌باشد. با توجه به شکل ۴ در سناریو تغییر اقلیم (A2)، مقادیر IWD برای تمامی مناطق کشاورزی درخور توجه است، چرا که در اثر وقوع تغییر اقلیم و عدم اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب در سال ۲۰۳۲ حدود ۴۰ میلیون مترمکعب از تقاضا، برآورده نخواهد شد. با توجه به شکل ۴ مقادیر این شاخص نشان می‌دهد که تقاضای آبیاری منطقه طی دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۹ به طور کامل تامین نشده است. این مسئله بیانگر این است که در دوره مورد مطالعه همه مناطق آبیاری با کمبود آب مواجه بوده و تحت تنش آبی بوده‌اند. این کمبود سبب کاهش عملکرد و کاهش درآمد کشاورز می‌شود، اما با توجه به سناریوهای مدیریتی درنظر گرفته شده می‌توان مقدار IWD را تا حدودی بهبود بخشید. طبق شکل ۴ سناریوهای مدیریت منابع آب (S1 تا S3) در دوره آتی مقدار IWD را بهبود داده و منجر به کاهش تقاضا و افزایش عرضه آب می‌گردد. از میان سناریوهای مدیریتی، افزایش راندمان آب آبیاری بیشتر از سایر سناریوها تقاضای برآورد نشده را کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر پایداری منابع آب می‌گردد. نتایج مطالعه احمدآلی و همکاران (۲۰۱۹) نیز این امر را تایید می‌کند. آنان به این نتیجه رسیدند که افزایش راندمان آبیاری بیشتر از سایر سناریوها، کمبود آب آبیاری را کاهش می‌دهد.



شکل ۴- اثر سناریوهای مدیریت منابع آب بر شاخص کمبود آب آبیاری تحت تغییر اقلیم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه شاخص پایداری کشاورزی با استفاده از معیارهای اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب-پذیری در اثر تغییر اقلیم بررسی شد. همچنین شاخص کمبود آب آبیاری نیز برای مناطق کشاورزی مورد تحلیل قرار گرفت. میانگین شاخص پایداری کشاورزی در شهرستان سراب تحت سناریوهای انتشار A2، B1 و A1B به ترتیب برابر ۰/۷۲، ۰/۷۷ و ۰/۷۵ بدست آمد. از آنجایی که مقادیر ASI نزدیک به یک دلالت بر عملکرد خوب دارد، بنابراین همه مناطق کشاورزی در اثر تغییر اقلیم با تنش روبرو بوده و با اتخاذ سیاستهای مناسب، ASI می‌تواند بهبود یابد. یافته‌ها نشان داد که در سناریوهای مدیریتی S1، S2 و S3 میزان ASI به ترتیب ۴/۱، ۱۱/۱ و ۸/۳ درصد نسبت به سناریو تغییر اقلیم (A2) افزایش یافته است. در این شرایط بیش‌ترین میزان افزایش مربوط به سناریوی S2 است که بیشترین بهبودی در وضعیت پایداری کشاورزی منطقه را ایجاد می‌کند. همچنین در اثر تغییر اقلیم شاخص کمبود آب آبیاری (IWD) تحت سناریوهای انتشار A2، B1 و A1B افزایش یافته و بیشتر از آستانه پایداری می‌باشد. بیشترین میزان IWD مربوط به سناریوی A2 با ۱۰/۴۳ میلیون مترمکعب می‌باشد که بدترین حالت را داشته و حاکی از ناپایداری منابع آبی و نشان‌دهنده تشدید بهره-برداری ناپایدار در صورت عدم اتخاذ سیاست مدیریتی مناسب در دوره زمانی ۲۰۵۰-۲۰۱۹ می‌باشد. اعمال سناریوهای مدیریتی باعث کاهش میزان IWD گردیده و اجرای سناریوهای S1، S2 و S3 به ترتیب ۲۶/۶، ۳۵/۳ و ۱۹/۸ درصد از تقاضای برآورد نشده را کاهش می‌دهند.

مقایسه میزان اثربخشی هر یک از سناریوهای مدیریت منابع آب نشان می‌دهد که اتخاذ سناریوی افزایش راندمان آب آبیاری نسبت به سناریوهای دیگر در این منطقه کاراتر است. سناریوی افزایش راندمان آب آبیاری ضمن آنکه باعث افزایش شاخص پایداری کشاورزی و کاهش تقاضای برآورد نشده آب می‌شود، بازده اقتصادی آن نسبت به سناریوهای دیگر بیشتر بوده است. نتایج بررسی‌های برینگار و وارد (۲۰۰۹)، نیکویی و زیبایی (۲۰۱۲) و وارد (۲۰۱۴) نیز این امر را تایید می‌کند. یعنی توسعه سیستم‌های آبیاری و افزایش راندمان آن یکی از روش‌های مدیریت منابع آبی جهت مصرف بهینه منابع آبی می‌باشد. با توجه به اثربخشی بیشتر سناریوی افزایش راندمان آب آبیاری نسبت به دو سناریوی دیگر، پیشنهاد می‌شود با بالا بردن راندمان آبیاری که با تغییر تکنولوژی آبیاری همراه می‌باشد، می-توان به کاهش شاخص کمبود آب و افزایش شاخص پایداری کشاورزی کمک کرد. با توجه به آسیب‌پذیری بالای منطقه اسبفروشان ۲ نسبت به تغییر اقلیم، پیشنهاد می‌شود که منابع مالی پیش‌بینی‌شده برای بهبود راندمان آبیاری بخش کشاورزی به‌گونه‌ای تخصیص داده شوند که این منطقه از اولویت بالاتری نسبت به سایر مناطق برخوردار باشند.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی به شماره ۰۰۲-TU-۱۳۹۹ است که با حمایت ستاد احیای دریاچه ارومیه از رساله دکتری انجام شده است. نویسندگان مقاله از ستاد احیای دریاچه ارومیه سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

Abbasi A, Delavar M and Bigdeli Naalbandan R. 2020. Evaluation of the effects of climate change on water resource sustainability in basins using water footprint scarcity indicators. Iran-Water Resources Research, 15(4): 229-272. (In Persian).

Agriculture Jihad Organization of East Azarbaijan. 2018. Agricultural statistics and the information center, Tabriz, Iran. (In Persian).

Ahmadaali J, Barani GA, Qaderi K and Hessari B. 2017. Calibration and validation of model WEAP21 for Zarrinehrud and Siminehrud river basins. Iranian Journal of Soil and Water Research, 48(4): 823-839. (In Persian).

Ahmadaali J, Barani GH, Qaderi K and Hessari B. 2019. Assessment of water management scenarios and the impact of climate change on environmental and agricultural sustainability (case study: Zarrinehrud and Siminehrud River Basins). Eco Hydrology, 5(4): 1203-1217. (In Persian).

Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome. 300(9): D05109.

Amin A, Iqbal J, Asghar A and Ribbe L. 2018. Analysis of current and future water demands in the upper Indus Basin under IPCC Climate and socio-economic scenarios using a hydro-economic WEAP model. Water, 10(5): 1-20.

Amini Fasakhodi S and Nouri H. 2011. Sustainability Assessment and cropping pattern determination in farming systems based on the optimization of soil and water resources utilization using non-linear mathematical programming models. Journal of Water and Soil Science, 15(55): 99-111. (In Persian).

Amirzaeh Moradabadi S, Ziaee S, Mehrabi Boshrabadi H and Keykha AA. 2019. Agricultural sustainability assessment in Iran by using sustainability composite index. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 49(4): 661-674. (In Persian).

Blanco- Gutiérrez I, Varela-Ortega C and Purkey D. 2013. Integrated assessment of policy interventions for promoting sustainable irrigation in semi-arid environments: a hydro-economic modeling approach. Journal of Environmental Management, 128:144–160.

Borimnezhad V and Yazdani S. 2004. Sustainability analysis in water resources management in agricultural sector using fractional programming, case study: Kerman province. Pajouhesh- Va- Sazandegi, 17(2): 2-16. (In Persian).

Brinegar HR and Ward FA. 2009. Basin impacts of irrigation water conservation policy. Ecological Economics, 69 (2): 414–426.

Cai X, McKinney DC and Rosegrant MW. 2003. Sustainability analysis for irrigation water management in the Aral Sea region. Agricultural systems, 76(3): 1043-1066.

Cetinkaya, CP and Gunacti MC. 2018. Multi-Criteria analysis of water allocation scenarios in a water scarce basin. Journal of Water Resources Management, 32(8): 2867-2884.

Dillon JL and Hardaker JB. 1980. Farm management research for small farmer development. FAO, Rome.

Divakar L, Babel MS, Perret SR and Gupta AD. 2011. Optimal allocation of bulk water supplies to competing use sectors based on economic criterion- an application to the Chao Phraya River Basin. Journal of Hydrology, 401: 22-35.

East Azerbaijan Province Agricultural Jihad Organization. 2018. Available at https://eaj.ir.

Esmaeilzadeh J, Asgharipour MR, Dahmardeh M, Sirousmehr A Dabbagh Mohammadi Nassab A. 2020. Evaluation of Agro-ecosystems sustainability in Coastal Lake Urmia (Case study: Azarshahr). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(2): 303-318. (In Persian).

Esteve P, Varela-Ortega C, Blanco-Gutiérrez H and Downing TE. 2015. A Hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. Ecological Economics, 120: 49-58.

Farajzadeh Asl M and Beigam Hosseini A. 2007. Analysis of water crisis in Nishabor plain. The Journal of Spatial Planning, 11 :215-238. (In Persian).

Fowler HJ, Blenkinsop S and Tebaldi C. 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. International Journal of Climatology, 27(12): 1547-1578.

Harou J, Pulido-Vela´ zquez M, Rosenberg DE, Medellı´n-Azuara J, Lund JR and Howitt RE. 2009. Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects. Journal of Hydrology, 375: 627–643.

Hazell PB and Norton RD. 1986. Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture. Macmillan, New York.

Ingol-Blanco E and McKinney DC. 2011. Analysis of scenarios to adapt to climate change impacts in the Rio Conchos Basin. World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability.

Karamouz M and Mohamadpour P. 2017. Water balance-based sustainability analysis of supply and demand, towards developing a hybrid index (case study: Ahar chay Watershed) Iran-Water Resources Research, 12(4), 1-11. (In Persian).

Locks DP. 1997. Quantifying trends in system sustainability. Hydrological Science Journal, 42(4): 513-530.

Mehta VK, Haden VR, Joyce BA, Purkey DR and Jackson LE. 2013. Irrigation demand and supply, given projections of climate and land-use change, in Yolo County, California. Agricultural Water Management, 1170: 70-82.

Nayak PC, Wardlaw R and Kharya AK. 2015. Water balance approach to study the effect of climate change on groundwater storage for Sirhind command area in India. International Journal of River Basin Management, 13(2):243-261.

Nikouei A and Zibaei M. 2012. Water resources management and food security in Zayandeh Rud basin: an integrated river basin analysis. Agricultural Economics and Development, 26(3): 183-196. (In Persian).

Pourzand F and Bakhshoudeh M. 2012. Evaluating agricultural sustainability of Fars province with compromise programming approach. Agricultural Economics Research, 4(13)1-26. (In Persian).

Rao PK. 2000. Sustainable development: economics and policy. Blackwell Publishers.

Richter BD, Brown JD, DiBenedetto R, Gorsky A, Keenan E, Madray C, Morris M, Rowell D and Ryu S. 2017. Opportunities for saving and reallocating agricultural water to alleviate water scarcity. Water Policy, 19(5):886-907.

Sandoval-Solis S, McKinney DC and Loucks DP. 2011. Sustainability index for water resources planning and management. Journal of Water Resources Planning and Management, 137(5): 381-390.

Santikayasa IP, Babel MS and Shrestha S. 2015. Assessment of the impact of climate change on water availability in the Citarum River basin, Indonesia: The use of statistical downscaling and water planning tools. Managing Water Resources under Climate Uncertainty, Springer, 45–64.

Santikayasa IP, Babel MS, Shrestha S, Jourdain D and Clemente RS. 2014. Evaluation of water use sustainability under future climate and irrigation management scenarios in Citarum River Basin, Indonesia. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 21(2): 181-194.

Sieber J and Purkey D. 2011. User guide for WEAP21 (water evaluation and planning system). Stockholm Environment Institute. Available online from: www. weap21.org.

UNWWAP (United Nations World Water Assessment Programmer). 2015. Facing the challenges. Case studies and indicators. Paris, UNESCO.

Urmia Lake Restoration National Committee. 2018. Available at www. http://www.ulrp.ir.

Ward FA. 2014. Economic impacts on irrigated agriculture of water conservation programs in drought. Journal of Hydrology, 508: 114-127.

Yilmaz B and Harmancioglu NB. 2010. An indicator-based assessment for water resources management in Gediz river basin, Turkey. Water Resources Management, 24(15): 4359-4379.