

Assessment of Sustainable Management Alternatives of Jamishan Watershed in the Climate Scenarios

E. Panahi¹, A. Bafkar^{2*} and M. Hafezparast³

Abstract

In this study, changes in temperature and precipitation is calculated in two periods of 2020-2039 and 2040-2059 with the composition of the weighted average of seven climate model output under three emission scenarios. Then, discharge into the Jamishan dam was predicted in IHACRES daily model under the effect of climate change. Based on the results of the simulation scenarios of status quo and climate scenarios in WEAP model, applicable management alternatives to the region in each scenario were simulated again. In regard of maintaining the sustainability of the basin, social, economic, and environmental criteria were considered and to assess each criterion a number of indicators were calculated. In order to prevent the effect of personal opinions the numerical objective weighting methods were used to reach the preferred alternative. Finally three dimensional matrix of scenario- alternative-index was solved by Multi-criteria decision making methods. In overall, the results of the climate change showed that the annual precipitation and temperature are decreased and increased, respectively. The results of multi- criteria decision making showed that in S1 scenario the alternatives 6 and 2 were the best. In the period of 2020-2039 and under all three scenarios the alternatives 4 and 6 were the best. In the period of 2040-2059 the alternatives 4 and 2 in scenarios A1B and A2 and alternatives 4 and 6 in scenario B1 were the best.

Keywords: Climate scenarios, Watershed Sustainability, IHACRES, WEAP, Management Alternative, Multi-criteria decision making.

Received: May 18, 2016
Accepted: October 13, 2016

ارزیابی گزینه‌های مدیریت پایدار حوضه سد جامیشان در سناریوهای اقلیمی

الهه پناهی^۱، علی بافکار^{۲*} و مریم حافظ پرست^۳

چکیده

در این پژوهش تغییرات پارامترهای اقلیمی دما و بارش در دو دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۹ و ۲۰۴۰-۲۰۵۹ با مدل ترکیبی حاصل از میانگین وزنی خروجی هفت مدل اقلیمی تحت سه سناریو انتشار محاسبه شد. سپس آبدهی ورودی به سد جامیشان با خروجی مدل تغییر اقلیم در مدل روزانه IHACRES پیش‌بینی گردید. بر اساس نتایج شبیه‌سازی سناریوهای ادامه وضع موجود و سناریوهای اقلیمی، در مدل WEAP، گزینه‌های مدیریتی قابل اجرا برای منطقه در هر سناریو مجدداً شبیه‌سازی گردید. در این راستا به منظور حفظ پایداری حوضه آبریز، معیارهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی در نظر گرفته شد و برای ارزیابی هر معیار تعدادی شاخص محاسبه شد. به منظور جلوگیری از اعمال نظر شخصی در انتخاب گزینه برتر از روش‌های وزن‌دهی عددی برای شاخص‌ها استفاده شد. در نهایت حل ماتریس سه بعدی سناریو-گزینه-شاخص، با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره انجام گرفت. نتایج بررسی تغییر اقلیم به صورت کلی نشان‌دهنده کاهش بارش و افزایش دمای سالانه است. نتایج تصمیم‌گیری چند معیاره نشان‌داد تحت سناریو S1، گزینه ۶ و ۲ بهترین گزینه خواهند بود. در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹، تحت هر سه سناریو گزینه ۴ و ۶ بهترین گزینه و در دوره ۲۰۴۰-۲۰۵۹، تحت سناریوهای A1B و A2، گزینه‌های ۴ و ۲ و تحت سناریو B1 گزینه‌های ۴ و ۶ بهترین گزینه هستند.

کلمات کلیدی: سناریوهای اقلیمی، پایداری حوضه آبریز، IHACRES، WEAP، گزینه مدیریتی، تصمیم‌گیری چندمعیاره.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۲/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۷/۲۲

1-MSc. Graduated of Water Resources Management, Razi University, Kermanshah, Iran.

2-Assistant Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: a.bafkar@razi.ac.ir

3-Assistant Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد منابع آب دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه رازی.

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه رازی.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

مدیریت منابع آب برای پاسخگویی به تقاضاهای آینده در این منطقه ارائه شد. (Aghaei et al. (2014) در مطالعه‌ای با بکارگیری مدل WEAP برای حوضه آبریز دشت مشهد، منابع و مصارف آن را مورد ارزیابی قرار داده و گزینه‌های مدیریتی از جمله افزایش راندمان کشاورزی، توسعه و یا ثابت نگه‌داشتن سطح زیر کشت، و گزینه‌های ترکیبی جهت کاهش تقاضای آب مطرح شد و اثرات آن بر روی منابع آب حوضه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به کارگیری همزمان راهبردهای مختلف مدیریت مصرف آب، بهتر از حالت استفاده منفرد از هر کدام از آن‌ها می‌تواند برداشت آب از منابع مختلف را کاهش دهد. (Hafezparast et al. (2015) در پژوهشی، مدیریت یکپارچه منابع آب بر اساس محاسبه شاخص‌های پایداری در معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در قالب رویکرد DPSIR را بررسی کردند و براساس نتایج شبیه‌سازی در مدل MIKE BASIN، و ارزیابی اثرات اجرای هر گزینه مدیریتی با محاسبه شاخص‌ها، در روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس وضعیت پایداری حوضه را به شکل رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها در نقشه نشان دادند. با توجه به مطالعات صورت گرفته جهت مدیریت یکپارچه و توسعه پایدار سیستم‌های منابع آب، توجه همزمان به پایداری معیارهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی امری ضروری است. مراحل انجام پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲- روش پژوهش

۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

حوضه آبریز جامیشان با مساحت ۵۲۴ کیلومتر مربع، از شمال به حوضه آبریز گاوهرود، از شرق به حوضه آبریز خرم‌رود، از جنوب به حوضه آبریز رودخانه مریم‌نگار و از غرب به زیرحوضه‌های عالی‌سیاه و گاوهرود منتهی می‌شود. این حوضه در مختصات جغرافیایی 30° و 33° الی 34° و 53° عرض شمالی و 47° و 22° تا 47° طول شرقی در قلمرو تراست زاگرس واقع گردیده است. این محدوده در تقسیمات کشوری در استان کرمانشاه واقع می‌باشد (شکل ۲).

۲-۲- بررسی اثر تغییر اقلیم بر آینده رودخانه جامیشان

به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه، از مدل ترکیبی حاصل از وزندهی خروجی ۷ مدل اقلیمی شامل CGCM3، CNRMCM3، ECHO-G، ECHOM، HadGEM، HadCM3 و CSRIOK تحت سه سناریو انتشار A1B، A2 و B1 برای دو دوره آتی ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۵۹، استفاده شد.

گسترش پدیده تغییر اقلیم به سراسر جهان و تاثیر آن بر منابع آب، کشاورزی و پارامترهای اقلیمی در کشوری چون ایران که با توزیع نامناسب مکانی و زمانی آب، رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی و توسعه بخش‌های کشاورزی و صنعت مواجه است و انتظار می‌رود وقوع پدیده تغییر اقلیم باعث محدودیت بیشتر منابع آب موجود شود، مدیریت منابع آب موجود برای جلوگیری از مواجهه با بحران آب الزامی است. در مطالعات جامع مدیریت منابع آب شناخت مؤلفه‌ها و عدم قطعیت‌های آن‌ها، مشخص و روشن نمودن ارتباطات بین مؤلفه‌ها و اثرات مستقیم و غیرمستقیم بین مؤلفه‌ها دارای اهمیت می‌باشد. ایجاد سیستمی که ضمن ارتباط دادن متقابل مدیریت منابع آب با محیط‌زیست و توسعه اجتماعی و اقتصادی، از انعکاس و بازخورد آن‌ها بهره‌مند گردیده و در نهایت با مشارکت بخش‌های مختلف، تصمیم‌گیری‌های تخصیص و توسعه منابع آب صورت گیرد، از جمله اهداف مدیریت جامع منابع آب در سطح حوضه آبریز است. مدیریت یکپارچه منابع آب در شرایط تغییر اقلیم و ارزیابی پایداری حوضه آبریز توسط محققانی زیادی انجام گرفته است، از جمله: (Yilmaz and Harmancioglu (2010) شاخص‌های کمی که از خروجی مدل برنامه‌ریزی منابع آب WEAP حاصل شده است و گزینه‌های مدیریتی را با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوضه آبریز گدیز در کشور ترکیه رتبه‌بندی کرده‌اند. (Hollermann et al. (2010) در مطالعه‌ای به منظور تجزیه و تحلیل آینده آب در کشور بنین^۱، تحت سناریوهای مختلف توسعه اقتصادی اجتماعی و تغییر اقلیم تا سال ۲۰۲۵، با استفاده از مدل WEAP به مدل‌سازی بیان آب در حوضه کویمی بونو پرداختند. نتایج نشان داد که تنش بر روی منابع آب بنین در آینده افزایش می‌یابد و گزینه‌های مدیریتی برای کاهش بحران ضروری است. (Hamlet et al. (2012) در مطالعه‌ای با به کارگیری مدل WEAP، به بررسی و تجزیه و تحلیل بیان آب موجود و سناریوهای مورد انتظار مدیریت منابع آب در حوضه آبخیز غربی الجزایر در آینده، سیاست‌های مختلف در حال اجرا و پارامترهایی که ممکن بود بر تقاضا در آینده اثرگذار باشند را تا سال ۲۰۳۰ در نظر گرفتند و نشان دادند با در نظر گرفتن سناریوهای مورد انتظار، نیازهای بخش داخلی می‌توانند برآورده شوند. (Li et al. (2015) وضعیت آب آینده در منطقه Binhai را با در نظر گرفتن حالات مختلف توسعه اجتماعی و شهرنشینی تا سال ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که فشار بر منابع آب منطقه در آینده افزایش خواهد یافت، لذا چند پیشنهاد برای کمک به تصمیم‌گیرندگان در برنامه‌ریزی و

منظور کوچک مقیاس کردن داده‌ها به لحاظ مکانی از روش تناسبی که در آن متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط AOGCM از اطلاعات مربوط به سلولی استخراج می‌شود که منطقه مورد نظر در آن قرار می‌گیرد، استفاده شده است. همچنین از روش عامل تغییر (معادلات ۱ تا ۴) برای ریزمقیاس‌نمایی زمانی داده‌ها استفاده شد.

$$\Delta T_i = \bar{T}_{AOGCM,Fut,i} - \bar{T}_{AOGCM,Base,i} \quad (1)$$

$$\Delta P_i = \left(\frac{\bar{P}_{AOGCM,Fut,i}}{\bar{P}_{AOGCM,Base,i}} \right) \quad (2)$$

$$T = T_{Obs} + \Delta T \quad (3)$$

$$P = P_{Obs} \times \Delta P \quad (4)$$

در رابطه (۱) ΔT_i سناریو تغییر اقلیم مربوط به دما برای متوسط دراز مدت ۲۰ ساله برای هرماه، $\bar{T}_{AOGCM,Fut,i}$ متوسط دمای ۲۰ ساله شبیه‌سازی شده توسط هر مدل AOGCM در دوره آبی برای هرماه، $\bar{T}_{AOGCM,Base,i}$ متوسط دمای شبیه‌سازی شده توسط هر مدل AOGCM در دوره مشاهداتی برای هرماه. در رابطه (۲)، برای بارندگی موارد فوق برقرار است. در رابطه (۳)، سری زمانی حاصل از سناریو اقلیمی دما برای دوره آبی، T_{Obs} سری زمانی دمای مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۹۴-۲۰۱۲)، و ΔT سناریو تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده می‌باشد. برای بارندگی نیز موارد ذکر شده در رابطه (۴) برقرار است. پس از ریزمقیاس‌سازی پارامترهای بارش و دما این پارامترها برای تعیین تغییرات دبی رودخانه در دوره‌های آبی به مدل IHACRES کالیبره و صحت‌سنجی شده وارد شد.

۲-۳- شبیه‌سازی منابع و مصارف حوضه آبریز سد جامیشان

منابع آب این حوضه آبریز شامل منابع آب زیرزمینی جامیشان و نازلان با حداکثر برداشت مجاز ۲۴ و ۸ میلیون مترمکعب در سال و منبع آب سطحی سد مخزنی جامیشان با ظرفیت ۶۲/۸ میلیون مترمکعب بر روی رودخانه جامیشان می‌باشد. مصارف آبی حوضه شامل شبکه آبیاری جامیشان شبکه آبیاری نازلان، صنعت با نیاز سالانه ۶ میلیون مترمکعب در سال و زیست‌محیطی با نیاز ۱/۲۶ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. اولویت تأمین برای نیاز کشاورزی جامیشان به ترتیب از آب زیرزمینی و سد جامیشان، برای نیاز کشاورزی نازلان به ترتیب از آب زیرزمینی، سد جامیشان و آب برگشتی شبکه جامیشان، و برای نیازهای صنعت و زیست‌محیطی از سد جامیشان می‌باشد. اولویت تأمین به ترتیب مربوط به نیاز زیست‌محیطی، صنعت، شبکه نازلان و سپس شبکه جامیشان است. شماتیک منابع و مصارف حوضه جامیشان در شکل ۳ نشان داده شده‌است. سامانه منابع و مصارف سد جامیشان در مدل WEAP کالیبره و شبیه‌سازی شد.

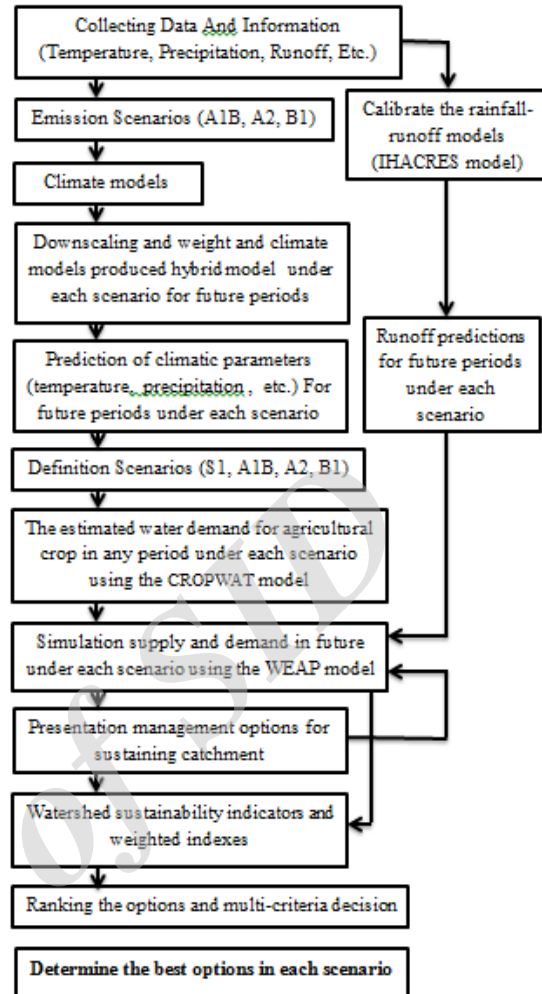


Fig. 1. Main steps of research
شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

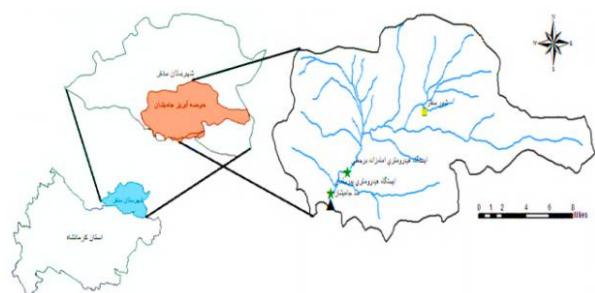


Fig (2) The geographical location of the study area
شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

خروجی مدل‌های اقلیمی دقت تجزیه مکانی و زمانی مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیکی را ندارد، لذا لازم است که خروجی مدل‌های اقلیمی برای منطقه مورد نظر ریزمقیاس شود که در این پژوهش به

۳-۳-۲- تعیین گزینه‌های مدیریت بهره‌برداری

انتخاب گزینه‌های مناسب بستگی به هدف مطالعات و پروژه‌های مورد نظر دارد. برای تعیین گزینه‌های بهره‌برداری در مدیریت منابع آب باید از کارشناسان، دست اندرکاران منطقه، و ذینفعان کمک گرفت تا با استفاده از مطالعات انجام‌گرفته و تجارب مدیریتی و یا احتیاجات و کمبودهای ذینفعان، گزینه‌های مطلوب معرفی و در مدل پیش‌بینی گردد. در طرح‌ها، گزینه‌های مختلفی چون افزایش یا کاهش سطح زیرکشت، تغییر در الگوی کشت، افزایش راندمان و ... را می‌توان اعمال نمود. به‌طوری که با پتانسیل و محدودیت‌های منطقه مورد مطالعه سازگاری داشته‌باشد و در راستای سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های آن بخش باشد (Shafaeianfard et al. (2014). در این مطالعه به منظور انتخاب بهترین راهکار مدیریتی برای آینده منطقه که تحت تأثیر تغییر اقلیم می‌باشد، با در نظر گرفتن امکان کاهش تلفات کانال‌های انتقال آب، تغییر الگوی کشت و اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار، ۶ گزینه بعنوان راهکارهای پیشنهادی قابل اجرا در منطقه ارائه شده‌است. الگوهای کشت مدنظر در این مطالعه شامل الگوی وضع موجود (C1)، الگوی کشت با بیش‌ترین درآمد به ازای هر هکتار (C2) و الگوی کشت با کمترین میزان مصرف آب در هکتار (C3) می‌باشد. با انتخاب هر الگوی کشت امکان استفاده از دو نوع سیستم آبیاری، تحت فشار با راندمان ۵۰ درصد یا سیستم آبیاری سطحی، با راندمان ۳۰ درصد وجود دارد. با توجه به مطالب فوق، با ترکیب الگوی کشت و روش آبیاری راهکارها در قالب شش گزینه مختلف ارائه شده‌است. لازم به ذکر است که ۲۰۰۰ هکتار اراضی شبکه جامیشان هم‌اکنون دارای سیستم آبیاری تحت فشار می‌باشد که در تمام گزینه‌ها این شرط لحاظ شده‌است. با در نظر گرفتن سناریو ادامه وضع موجود، در شرایط بعد از بهره‌برداری سد جامیشان (ثابت ماندن نیاز آبی محصولات و ادامه روند آبدی تاریخی رودخانه جامیشان)، براساس میزان کمبود مجاز برای هر نیاز، امکان توسعه اراضی نیز در شبکه جامیشان، در صورت اجرای هر یک از گزینه‌های پیشنهادی بررسی شد و این میزان توسعه، در سناریوهای تغییر اقلیم لحاظ شد. جدول ۲ شرح گزینه‌های پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۳-۳-۲- شاخص‌های پایداری حوضه آبریز

با توجه به گزینه‌های پیشنهادی، ۷ شاخص براساس پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی مطابق جدول ۳ در نظر گرفته شد. ابتدا مدل شبیه‌سازی WEAP اجرا شده و سپس شاخص‌ها محاسبه می‌شود.

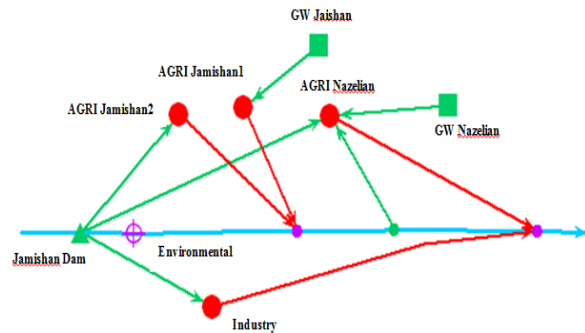


Fig (3) Schematic of water sources and uses of basin
شکل ۳- شماتیک منابع و مصارف حوضه

۳-۳-۱- تعریف سناریوها

سناریو آینده احتمالی است که وقوع آن خارج از حیطه اختیاری انسان است. در این پژوهش بنابر تغییرات اقلیمی، چهار سناریو شامل سناریو ادامه وضع موجود (S1) و سناریوهای اقلیمی برای دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۲۰) و (۲۰۵۹-۲۰۴۰) و سناریوهای انتشار A2، A1B و A2، در نظر گرفته شده‌است. در سناریو ادامه وضع موجود (S1)، داده‌های اقلیمی دوره مشاهداتی و داده‌های ماهانه جریان رودخانه ۳۰ سال مشاهداتی، از سال ۱۹۸۲-۲۰۱۱، برای شبیه‌سازی دوره ۲۰ ساله آبی در نظر گرفته شده و میزان تقاضای آب در بخش کشاورزی و صنعت مطابق وضع موجود سیستم فرض شده‌است. در سناریوهای آبی تقاضاهای کشاورزی با مدل CROPWAT و بر اساس خروجی تغییر اقلیم و الگوی کشت منطقه شبیه‌سازی گردید.

۳-۳-۲- مدل CROPWAT

این برنامه جهت محاسبه نیاز آبی گیاه بر مبنای نوع خاک، دما و داده‌های گیاهی می‌باشد. این نرم‌افزار برای محاسبه نیاز آبی از روش پنمن مانتیس استفاده می‌کند. از آنجایی که تغییر پارامترهای اقلیمی علاوه بر تغییر مقدار منابع آب در دسترس سبب تغییر در نیاز آبی گیاهان نیز خواهد شد لذا در هر دوره و تحت هر سناریو نیاز آبی محصولات زراعی منطقه برآورد گردیده‌است. به این منظور پارامترهای مربوط به نوع محصول (تاریخ کاشت و برداشت، و ضریب گیاهی) و داده‌های خاک مانند دوره مشاهداتی فرض شده و سایر پارامترهای اقلیمی (دما حداقل و حداکثر، سرعت باد و رطوبت نسبی) براساس میانگین‌گیری وزنی مدل‌های اقلیمی ریز مقیاس شده تحت هر سناریو برآورد گردید.

Table (1) Current and proposed cropping patterns
جدول ۱- درصد کشت هر محصول در الگوهای کشت پیشنهادی منطقه

Crops	C1 (current situation)	C2 (Minimum Water requirements)	C3 (The highest income)
Wheat	25	30	15
Barley	25	25	15
Maize	6.7	4	4.1
Corn forage	0.7	2	0.4
Alfalfa	4.3	3	2.6
Soya	9.4	0	5.6
Rapeseed	0	10	0
Kitchen garden (watermelon)	3.2	5	10
Beet	13.5	6	15
Pea	3.2	5	3.2
Orchards	5	5	15
Grape	4	5	14.1
Summer Vegetables	0	0	15

Table (2) Description of the proposed options
جدول ۲- شرح گزینه‌های پیشنهادی

Options	Crop pattern	Possible development land (ha)	Land area with pressurized irrigation system (ha)	Land area with surface irrigation system (ha)
1	C1	0	2000	3050
2	C1	1300	6350	0
3	C2	0	2000	3050
4	C2	0	5050	0
5	C3	500	2000	3550
6	C3	2000	7050	0

۲-۴- تحلیل تصمیم‌گیری چندشاخصه و رتبه‌بندی گزینه‌های مدیریتی

تصمیم‌گیری شامل بیان درست اهداف، تعیین راه‌حلهای مختلف و ممکن، ارزیابی امکان‌پذیری آنها، ارزیابی عواقب و نتایج ناشی از اجرای هر یک از راه‌حل‌ها و بالاخره انتخاب و اجرای آن می‌باشد. در اکثر موارد تصمیم‌گیری‌ها وقتی مطلوب و مورد رضایت تصمیم‌گیرنده است که تصمیم‌گیری براساس چندین شاخص یا معیار مورد بررسی قرار گرفته‌باشد. معیارها (شاخص‌ها) ممکن است کمی یا کیفی باشند. در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره که در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌است به جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی از چند معیار برای سنجش استفاده می‌شود. اجزای فرآیند تصمیم‌گیری شامل ماتریس ارزیابی، وزن‌دهی به شاخص‌ها و معیارها و استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حل ماتریس سه‌بعدی، معیارها، گزینه‌ها و سناریوهاست. ماتریس ارزیابی، ماتریسی است که

روش محاسبه شاخص‌ها براساس دو رویکرد انجام شده‌است. رویکرد اول استفاده از مقدارمیانگین سالانه سری‌های زمانی در دوره شبیه‌سازی مانند: شاخص عدالت در تخصیص آب، شاخص کمبود آب برای اراضی کشاورزی و شاخص WER. شاخص سود به هزینه (B/C)، از تقسیم کل سود (درآمد حاصل از کشت) به کل هزینه (کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری) بدست می‌آید. رویکرد دوم شامل ارزیابی همبستگی زمانی سری زمانی شاخص‌ها با اندازه‌گیری عملکرد اطمینان‌پذیری است. اطمینان‌پذیری (RE) احتمال اینکه مقدار C_t در محدوده قابل قبول واقع شود به صورت رابطه (۵) محاسبه می‌شود. به عبارتی تعداد دفعاتی که نسبت تأمین به تقاضا برای نیازهای کشاورزی بین ۰/۶ و ۱، برای نیازهای صنعت و زیست‌محیطی برابر با ۱ باشد تقسیم بر کل دوره شبیه‌سازی شاخص اطمینان‌پذیری است (ASCE, 1998).

$$RE(C) = \frac{\text{(number of satisfactory } C_t \text{ values)}}{\text{(total number of simulator periods)}} \quad (5)$$

و تاپسیس^۸ برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شده‌است که روابط آن در (Hafezparast and Araghejad (2015) آمده‌است.

ستون‌های آن نشان‌دهنده معیارها، و ردیف‌های آن نشان‌دهنده گزینه‌ها است.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad (۶)$$

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- نتایج سناریوهای تغییر اقلیم

بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی بارش و دما و پارامتر رواناب تحت هر سناریو برای دو دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۵۹ در مقایسه با داده‌های دوره مشاهداتی (۱۹۹۹-۲۰۱۲) که همان داده‌های سناریو S1 است در شکل‌های ۴ تا ۹ آورده شده‌است. جدول ۴ پارامترهای کالیبره شده مدل بارش-رواناب IHACRES را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ کاهش بارش سالانه تحت سه سناریو A1B، A2 و B1 به ترتیب ۶/۵، ۳/۷ و ۴/۶ میلیمتر است. همچنین تحت هر سه سناریو A1B و A2 و B1 افزایش دمای سالانه به میزان ۲، ۳ و ۱/۳ درجه سانتی‌گراد مورد انتظار است. تغییرات دبی رودخانه تحت سناریوهای مختلف در هرفصل متفاوت است بطوری که بیش‌ترین کاهش مربوط به سناریو A1B در فصل تابستان و بیش‌ترین افزایش مربوط به سناریو B1 به ترتیب حدود ۷/۷+ و ۹/۵- درصد است. در دوره ۲۰۴۰-۲۰۵۹ میزان کاهش بارش سالانه تحت سه سناریو A1B، A2 و B1 به ترتیب ۷/۴، ۱/۹ و ۶/۸ میلیمتر است. همچنین تحت هر سه سناریو A1B و A2 و B1 افزایش دمای سالانه به میزان ۲، ۳ و ۱/۳ درجه سانتی‌گراد مورد انتظار است. در این دوره نیز تغییرات دبی رودخانه تحت سناریوهای مختلف در هرفصل متفاوت است.

۲-۴-۱- وزن‌دهی به معیارها

روش‌های وزن‌دهی شامل (۱) روش وزن‌دهی ذهنی^۲: که کاملاً به نظر شخصی تصمیم‌گیرندگان بستگی دارد و با اولویت‌های ذهنی آن‌ها تعیین می‌شود و (۲) روش وزن‌دهی عینی^۳: که در آن وزن معیارها بطور مستقل از اولویت‌های شخصی تصمیم‌گیرندگان بدست می‌آید. این رتبه‌ها در ماتریس ارزیابی ارائه‌کننده منبع اطلاعات فراهم شده برای تصمیم‌گیرندگان است. در این پژوهش روش‌های وزن‌دهی اینتروپی^۴ و روش میانگین وزنی^۵ و وزن‌دهی براساس انحراف معیار برای وزن‌دهی به معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی و اقتصادی تعیین شده است. (Yilmaz and Harmancioglu (2010)).

۲-۴-۲- مدل‌های تصمیم‌گیری

آخرین گام در تصمیم‌گیری چند شاخصه انتخاب یک مدل تصمیم‌گیری به منظور اولویت‌بندی و یا انتخاب گزینه برتر است. در این پژوهش از روش‌های میانگین وزنی ساده^۶، برنامه‌ریزی سازشی^۷

Table (3) Indicators of sustainability assessment

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی پایداری

Criterion	Index	Definition
Social	Water allocation equity index (CV)	Indicates coefficient of variation of the ratio of supply to demand in all agricultural applications
	Indicator of water scarcity for agriculture (IWD)	Indicates amount of annual water scarcity in agriculture (million cubic meters) that shows dissatisfaction of farmers
	Reliability of agriculture (RE (Agri))	The number of times the ratio of supply to demand for agricultural demands is between 0.6 and 1 divided by the total time steps of simulation period (ASCE, 1998)
	Reliability of industry (RE (Ind))	The number of times the ratio of supply to demand to the needs of industry is equal to 1 divided by the total time steps of simulation period (ASCE, 1998)
Environmental	Environmental reliability (RE (Env))	The number of times the ratio of supply to demand to the needs of environmental is equal to 1 divided by the total time steps in simulation period (ASCE, 1998)
	WER Indicator	Ratio of surface water allocated to agricultural land to available surface water sources based on the average annual volume
Economic	Benefit-cost ratio (B/C)	Represents the ratio of total income (income from cultivation) to the total cost (total cost of investment and operation and maintenance)

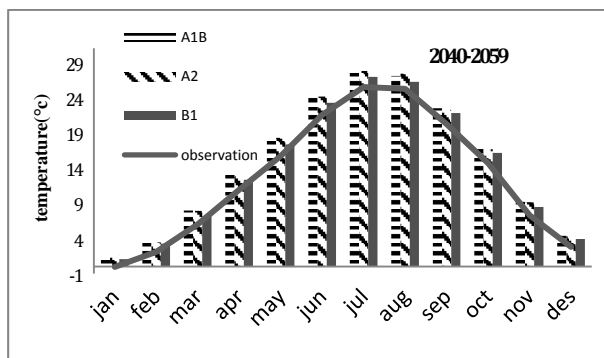


Fig (7) Temperature changes in each scenario 2040-2059

شکل ۷- تغییرات دما در هر سناریو ۲۰۴۰-۲۰۵۹

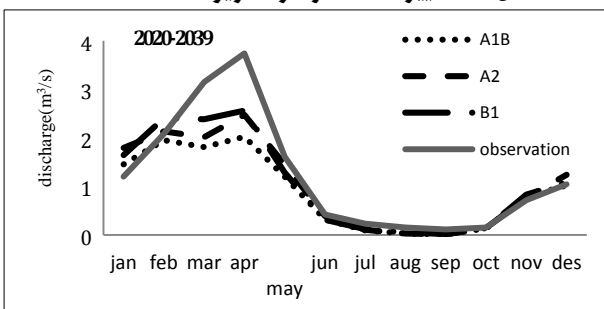


Fig (8) Discharge changes in each scenario 2020-2039

شکل ۸- تغییرات دبی در هر سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹

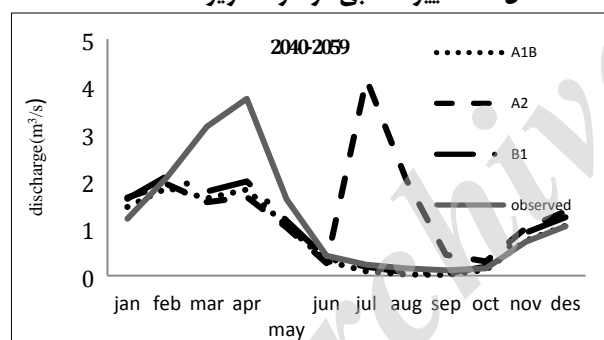


Fig (9) Discharge changes in each scenario 2040-2059

شکل ۹- تغییرات دبی در هر سناریو ۲۰۴۰-۲۰۵۹

چنانچه ملاحظه می‌شود در هر دو دوره تحت سناریوهای A1B و B1 میزان نیاز آبیاری نسبت به دوره مشاهداتی در هر سه الگوی کشت افزایش نشان می‌دهد. اما تحت سناریو A2 بسته به الگوی کشت و راندمان آبیاری (سیستم آبیاری) در برخی حالات کاهش و در برخی افزایش نیاز آبیاری دیده می‌شود.

بیشترین کاهش مربوط به سناریو A1B در فصل تابستان به میزان ۷۸ درصد و بیشترین افزایش دبی مربوط به سناریو A2 در فصل تابستان است که با توجه به افزایش بارندگی در ماه ژانویه قابل توجه است.

۲-۳- نتایج محاسبه نیاز آبیاری

نتایج محاسبه نیاز آبیاری سالانه الگوهای کشت مورد نظر در دوره‌های آبی تحت هر سناریو، خروجی از مدل CROPWAT در جدول ۵ آورده شده است.

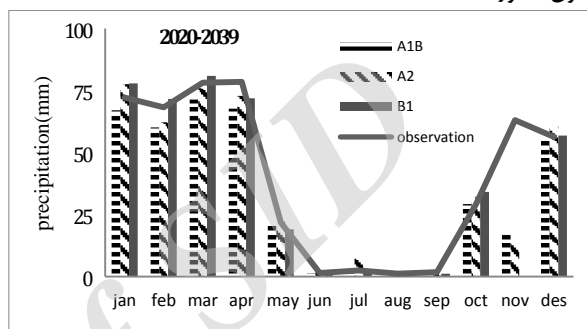


Fig (4) Precipitation changes in each scenario 2020-2039

شکل ۴- تغییرات بارش در هر سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹

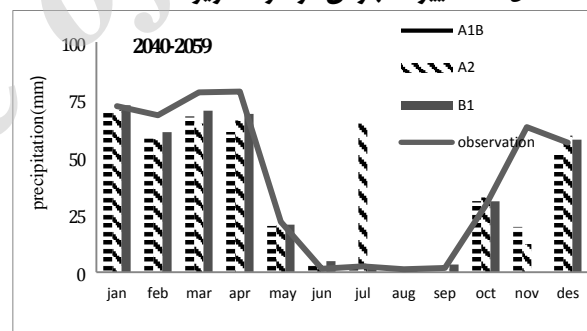


Fig (5) Precipitation changes in each scenario 2040-2059

شکل ۵- تغییرات بارش در هر سناریو ۲۰۴۰-۲۰۵۹

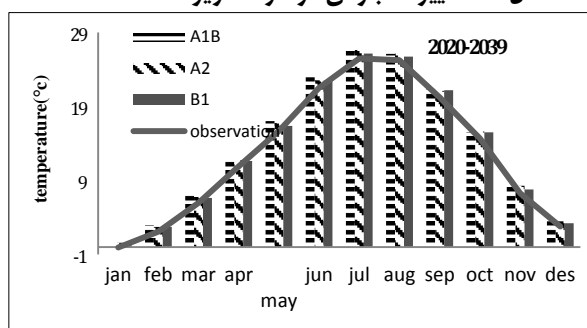


Fig (6) Temperature changes in each scenario 2020-2039

شکل ۶- تغییرات دما در هر سناریو ۲۰۲۰-۲۰۳۹

Table (4) Calibrated parameter values in IHACRES model

جدول ۴- مقادیر کالیبره شده پارامترهای مدل IHACRES

T(w) (Basin constant drying time)	F (Temperature adjustment)	R (Reference temperature)	L (Humidity threshold for runoff)	P (Soil moisture)
55	0	20	0	1

Table (5) Requires irrigation cropping patterns in each scenario for each period (thousand cubic meters per hectare)

جدول ۵- میزان نیاز آبیاری الگوهای کشت به ازای هر سناریو در هر دوره (هزار مترمکعب در هکتار)

Crop pattern	Irrigation systems and irrigation efficiency	Base Period	Priod 2020-2039			Period 2040-2059		
			A1B	A2	B1	A1B	A2	B1
C1 (current situation)	Pressurized irrigation system efficiency of 50%	7.3	7.8	7.2	8.3	9.3	7.9	8.9
	Surface irrigation systems efficiency 30%	12.2	13.0	12.0	13.8	15.5	13.1	14.8
C2 (Minimum water requirements)	Pressurized irrigation system efficiency of 50%	11.9	12.4	11.5	12.9	13.1	11.7	13.4
	Surface irrigation systems efficiency 30%	19.9	20.6	19.2	21.5	21.9	19.4	22.4
C3 (highest income)	Pressurized irrigation system efficiency 50%	8.9	9.3	8.7	9.9	10.6	9.1	10.4
	Surface irrigation systems efficiency 30%	14.8	15.6	14.4	16.4	17.6	15.2	17.3

اقتصادی در ماتریس ارزیابی برای هر سناریو ارائه شده است. لازم به ذکر است شاخص‌های رنگ شده شاخص‌هایی هستند که حداقل شدن آن‌ها مطلوب است.

نتایج تحلیل شاخص‌ها در سناریو S1، حاکی از آن است که شاخص اطمینان‌پذیری زیست‌محیطی (RE(env)) و شاخص‌های عدالت در تخصیص آب (CV) و شاخص اطمینان‌پذیری کشاورزی (RE(agri)) در گزینه دو مطلوب‌ترین مقدار را دارا می‌باشند، شاخص استفاده از آب سطحی (WER) و شاخص کمبود آب برای اراضی کشاورزی (IWD) و اطمینان‌پذیری صنعت (RE(ind)) در گزینه شش مقدار مناسب‌تری دارند و شاخص اقتصادی سود به هزینه (B/C) در گزینه چهار مقدار بیش‌تری دارد.

۳-۳- نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌ها

شاخص‌های در نظر گرفته شده از نظر ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی شامل هفت شاخص است که خروجی محاسبه شاخص‌ها به ازای هر سناریو در جدول ۶ تا ۸ ارائه شده است. سناریو S1 (ادامه وضع موجود) و سه سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 برای سالهای ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۵۹ برای دوره‌های آینده مدنظر قرار گرفته است که تغییرات شرایط اقلیمی، نیاز کشاورزی و آبدی رودخانه را در پی دارد. شش گزینه برای هر سناریو در نظر گرفته شده است که بیانگر الگوهای مختلف کشت (سه الگو کشت) و روش‌های مختلف آبیاری (سطحی و تحت فشار) و کاهش تلفات انتقال آب از کانال می‌باشد. به ازای هر گزینه، هفت شاخص شامل دو شاخص زیست‌محیطی، چهار شاخص اجتماعی و یک شاخص

Fig (6) Results obtained from the index in S1 scenario

جدول ۶- نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌ها در سناریو S1

Option	Environmental indicators			Social indicators			Economic indicator	
	RE(env)	WER	IWD (MCM)	CV	RE(ind)	RE(agri)	B/C	
Continuation of current situation	1	0.88	0.67	23.36	0.16	0.88	0.92	0.71
	2	0.90	0.61	3.65	0.12	0.88	0.96	0.76
	3	0.83	0.75	41.28	0.24	0.78	0.85	1.25
	4	0.88	0.68	8.47	0.16	0.83	0.93	1.43
	5	0.85	0.67	4.71	0.15	0.88	0.94	0.69
	6	0.90	0.60	3.01	0.14	0.89	0.88	0.84

به همین ترتیب مقادیر شاخص‌ها در سایر سناریوها، وضعیت حوضه اجتماعی و اقتصادی ارائه شده است. نتایج محاسبه شاخص‌ها در دو دوره آبی تحت هر سناریو در جداول ۷ و ۸ ارائه شده است. در شرایط اجرای هرگزینه براساس معیارهای زیست‌محیطی و

Table (7) The results of each scenario in the period 2020-2039

جدول ۷- نتایج محاسبه شاخص‌ها در هر سناریو در دوره ۲۰۳۹-۲۰۲۰

	Option	Environmental indicators			Social indicators			Economic indicator
		RE(env)	WER	IWD (MCM)	CV	RE(ind)	RE(agri)	B/C
A1B	1	0.63	0.73	21.52	0.28	0.64	0.73	0.57
	2	0.65	0.69	16.42	0.24	0.65	0.84	0.69
	3	0.66	0.75	37.13	0.34	0.66	0.67	1.00
	4	0.73	0.65	14.37	0.20	0.73	0.92	1.43
	5	0.60	0.76	19.77	0.28	0.60	0.75	0.57
	6	0.60	0.71	14.82	0.23	0.60	0.91	0.74
A2	1	0.71	0.71	15.63	0.24	0.68	0.80	0.61
	2	0.74	0.67	11.39	0.20	0.71	0.91	0.76
	3	0.72	0.75	29.19	0.30	0.70	0.75	1.11
	4	0.79	0.64	8.88	0.16	0.77	1.00	1.43
	5	0.67	0.74	13.59	0.23	0.65	0.83	0.62
	6	0.69	0.68	10.01	0.20	0.67	1.00	0.74
B1	1	0.69	0.76	22.69	0.28	0.66	0.74	0.57
	2	0.770	0.70	17.96	0.25	0.67	0.75	0.62
	3	0.70	0.77	37.00	0.33	0.68	0.73	1.09
	4	0.78	0.68	13.46	0.19	0.75	0.85	1.31
	5	0.63	0.80	18.71	0.26	0.60	0.78	0.59
	6	0.65	0.74	13.85	0.22	0.61	1.00	0.74

Table (8) The results of each scenario in the period 2040-2059

جدول ۸- نتایج محاسبه شاخص‌ها در هر سناریو در دوره ۲۰۵۹-۲۰۴۰

	option	Environmental indicators			Social indicators			Economic indicator
		RE(env)	WER	IWD(MCM)	CV	RE(ind)	RE(agri)	B/C
A1B	1	0.63	0.78	28.14	0.29	0.60	0.68	0.53
	2	0.64	0.73	22.12	0.25	0.60	0.79	0.65
	3	0.66	0.77	43.63	0.36	0.63	0.64	0.96
	4	0.71	0.69	18.82	0.22	0.67	0.84	1.30
	5	0.65	0.79	29.42	0.31	0.58	0.65	0.50
	6	0.63	0.76	22.64	0.26	0.58	0.88	0.70
A2	1	0.68	0.58	18.53	0.26	0.63	0.83	0.64
	2	0.71	0.54	13.92	0.22	0.66	0.85	0.70
	3	0.70	0.60	30.67	0.31	0.67	0.70	1.04
	4	0.78	0.50	10.47	0.18	0.75	0.93	1.43
	5	0.65	0.59	18.71	0.26	0.61	0.77	0.58
	6	0.66	0.55	14.02	0.23	0.62	0.91	0.74
B1	1	0.65	0.81	24.93	0.29	0.61	0.72	0.56
	2	0.68	0.76	19.29	0.24	0.63	0.85	0.70
	3	0.69	0.80	43.52	0.35	0.65	0.68	0.75
	4	0.77	0.70	18.53	0.22	0.72	0.84	1.30
	5	0.64	0.84	24.19	0.29	0.59	0.72	0.55
	6	0.64	0.79	18.30	0.24	0.59	0.90	0.74

Table (9) Weights obtained by weighting methods for each scenario

جدول ۹- وزن های بدست آمده از روش های وزن دهی به ازای هر سناریو

Sustainability criteria	Weighting methods	Environmental indicators			Social indicators			Economic indicator	
		RE(env)	WER	IWD(mcm)	CV	RE(ind)	RE(agri)	B/C	
Continuation of current situation	Entropy	0.00	0.01	0.80	0.06	0.00	0.00	0.13	
	MW	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	
	SDW	0.00	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	0.02	
2020-2039	A1B	Entropy	0.02	0.01	0.31	0.11	0.02	0.05	0.48
		MW	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
		SDW	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
	A2	Entropy	0.01	0.01	0.41	0.13	0.01	0.04	0.38
		MW	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
		SDW	0.01	0.01	0.93	0.01	0.01	0.01	0.04
	B1	Entropy	0.02	0.01	0.36	0.12	0.02	0.05	0.42
		MW	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
		SDW	0.01	0.01	0.93	0.01	0.01	0.01	0.03
2040-2059	A1B	Entropy	0.01	0.01	0.27	0.11	0.01	0.07	0.52
		MW	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
		SDW	0.00	0.00	0.94	0.01	0.00	0.01	0.03
	A2	Entropy	0.01	0.02	0.38	0.11	0.02	0.03	0.43
		MW	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
		SDW	0.01	0.01	0.92	0.01	0.01	0.01	0.04
	B1	Entropy	0.02	0.01	0.33	0.11	0.02	0.05	0.45
		MW	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
		SDW	0.01	0.01	0.95	0.01	0.01	0.01	0.03

۴-۳- نتایج وزن دهی به شاخص ها

نتایج وزن دهی شاخص ها که در جدول ۹ ارائه شده است نشان دهنده تأثیر آن شاخص در فرآیند تصمیم گیری چندمعیاره است که از سه روش اینترپوی، انحراف معیار و وزن دهی یکسان بدست آمده اند.

سپس تعیین رتبه گزینه ها با روش های مختلف انجام می شود. با شمارش تکرارهای هر گزینه در هر رتبه، در روش های مختلف وزن دهی و تصمیم گیری در هر سناریو، می توان گزینه برتر را تعیین کرد. بر همین اساس نتایج نشان می دهد، تحت سناریو S1، گزینه های شش (الگوی کشت کم مصرف، اراضی توسعه ۲۰۰۰ هکتار و اراضی با سیستم تحت فشار ۷۰۵۰ هکتار) و گزینه دو (الگوی کشت وضع موجود، اراضی توسعه ۱۳۰۰ هکتار، اراضی با سیستم تحت فشار ۶۳۵۰ هکتار) به ترتیب بالاترین رتبه و گزینه های سه (الگوی کشت پردرآمد، اراضی تحت فشار ۲۰۰۰ هکتار و اراضی با سامانه آبیاری سطحی ۳۰۵۰ هکتار) و گزینه یک (الگوی کشت وضع موجود، اراضی تحت فشار ۲۰۰۰ و اراضی با آبیاری سطحی ۳۰۵۰) به ترتیب پایین ترین رتبه را دارند.

۵-۳- تصمیم گیری چندمعیاره

در این بخش با استفاده از روش های SAW، CP و TOPSIS نتایج حاصل از رتبه بندی گزینه ها در هر سناریو در جداول ۱۰ تا ۱۲ برای هر روش وزن دهی ارائه شده است. در صورت اجرای هر یک از گزینه ها مقادیر شاخص های پایداری تغییر خواهند نمود. مقادیر این شاخص ها دارای واحدهای مختلفی است به همین دلیل در استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره نرمال نمودن ماتریس ارزیابی و

Table (10) Ranking of the proposed options based on the weights and decision-making methods (S1 scenario)

جدول ۱۰- رتبه بندی گزینه های پیشنهادی براساس وزن ها و روش های تصمیم گیری (سناریو S1)

Scenario	Rank	Entropy			MW			SDW		
		SAW	CP	Topsis	SAW	CP	Topsis	SAW	CP	Topsis
Continuation of current situation	1	Option6	Option6	Option6	Option6	Option6	Option6	Option6	Option6	Option6
	2	Option2	Option4	Option2	Option2	Option4	Option2	Option2	Option2	Option2
	3	Option5	Option2	Option5	Option4	Option6	Option5	Option5	Option5	Option5
	4	Option4	Option5	Option4	Option5	Option1	Option4	Option4	Option4	Option4
	5	Option1	Option1	Option1	Option1	Option5	Option1	Option1	Option1	Option1
	6	Option3	Option3	Option3	Option3	Option3	Option3	Option3	Option3	Option3

Table (11) Ranking of the proposed options based on the weights and decision-making methods (2020-2039 period)

جدول ۱۱- رتبه‌بندی گزینه‌های پیشنهادی براساس وزن‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری (دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹)

2020-2039		Entropy			MW			SDW		
Scenario	Rank	SAW	CP	Topsis	SAW	CP	Topsis	SAW	CP	Topsis
A1B	1	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4
	2	Option6	Option6	Option6	Option6	Option2	Option6	Option6	Option6	Option6
	3	Option2	Option3	Option2	Option2	Option6	Option2	Option2	Option2	Option2
	4	Option3	Option2	Option5	Option1	Option1	Option5	Option5	Option5	Option5
	5	Option5	Option5	Option1	Option5	Option3	Option1	Option1	Option1	Option1
	6	Option1	Option1	Option3	Option3	Option5	Option3	Option3	Option3	Option3
A2	1	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4
	2	Option6	Option2	Option6	Option6	Option2	Option6	Option6	Option6	Option6
	3	Option2	Option6	Option2	Option2	Option6	Option2	Option2	Option2	Option2
	4	Option5	Option5	Option5	Option5	Option1	Option5	Option5	Option5	Option5
	5	Option3	Option1	Option1	Option1	Option5	Option1	Option1	Option1	Option1
	6	Option1	Option3	Option3	Option3	Option3	Option3	Option3	Option3	Option3
B1	1	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4
	2	Option6	Option6	Option6	Option6	Option2	Option6	Option6	Option6	Option6
	3	Option2	Option3	Option2	Option2	Option6	Option2	Option2	Option2	Option2
	4	Option3	Option2	Option5	Option3	Option1	Option5	Option5	Option5	Option5
	5	Option5	Option5	Option1	Option5	Option3	Option1	Option1	Option1	Option1
	6	Option1	Option1	Option3	Option1	Option5	Option3	Option3	Option3	Option3

Table (12) Ranking of the proposed options based on the weights and decision-making methods (2040-2059 period)

جدول ۱۲- رتبه‌بندی گزینه‌های پیشنهادی براساس وزن‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری (دوره ۲۰۴۰-۲۰۵۹)

2040-2059		Entropy			MW			SDW		
Scenario	Rank	SAW	CP	Topsis	SAW	CP	Topsis	SAW	CP	Topsis
A1B	1	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option1
	2	Option2	Option3	Option2	Option2	Option2	Option2	Option2	Option2	Option2
	3	Option6	Option2	Option6	Option6	Option6	Option6	Option6	Option6	Option3
	4	Option3	Option6	Option1	Option3	Option3	Option1	Option1	Option1	Option4
	5	Option1	Option1	Option5	Option1	Option1	Option5	Option5	Option5	Option5
	6	Option5	Option5	Option3	Option5	Option5	Option3	Option3	Option3	Option6
A2	1	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4
	2	Option6	Option6	Option2	Option2	Option2	Option2	Option2	Option2	Option2
	3	Option2	Option2	Option6	Option6	Option6	Option6	Option6	Option6	Option6
	4	Option3	Option1	Option1	Option1	Option1	Option1	Option1	Option1	Option1
	5	Option1	Option3	Option5	Option3	Option5	Option5	Option5	Option5	Option5
	6	Option5	Option5	Option3	Option5	Option3	Option3	Option3	Option3	Option3
B1	1	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option4	Option6
	2	Option6	Option6	Option6	Option2	Option2	Option6	Option6	Option6	Option4
	3	Option2	Option2	Option2	Option6	Option6	Option2	Option2	Option2	Option2
	4	Option5	Option1	Option5	Option1	Option1	Option5	Option5	Option5	Option5
	5	Option1	Option5	Option1	Option5	Option3	Option1	Option1	Option1	Option1
	6	Option3	Option3	Option3	Option3	Option5	Option3	Option3	Option3	Option3

۴- خلاصه و جمع‌بندی

دوره‌های آتی تحت هر سناریو، با داشتن سه الگوی کشت متفاوت، دو روش آبیاری (آبیاری سطحی با راندمان ۳۰ درصد و آبیاری تحت فشار با راندمان ۵۰ درصد) و دو راندمان انتقال و توزیع آب، شش گزینه مختلف برای منطقه پیشنهاد شد. پس از آن هفت شاخص پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی محاسبه شده و به منظور رتبه‌بندی گزینه‌ها و انتخاب گزینه برتر، شاخص‌ها با استفاده از سه روش اینترپوی، روش میانگین وزنی و روش انحراف معیار وزن‌دهی شده و در نهایت با استفاده از سه روش تصمیم‌گیری

در این پژوهش ابتدا منابع و مصارف آبی حوضه مورد بررسی قرار گرفته و سپس به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم در حوضه با استفاده از ریزمقیاس‌سازی مدل ترکیبی حاصل از وزندهی خروجی‌های ۷ مدل اقلیمی تحت سه سناریو انتشار طی دو دوره، تاثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی بارش و دما و به تبع آن تاثیر بر رواناب حوضه سنجیده شد. برای مدیریت منابع آب، در

چندمعیاره میانگین وزنی ساده، برنامه‌ریزی سازشی و روش تاپسیس گزینه‌ها رتبه‌بندی شده و در هر سناریو گزینه برتر انتخاب شد. نتایج بررسی تغییر اقلیم نشان داد تغییرات بارش، دما و به تبع آن میزان دبی رودخانه طی دو دوره مورد نظر و تحت سناریوهای سه گانه با هم متفاوت است اما آنچه مشترک است افزایش ۱ تا ۲ درجه سانتی گراد دمای سالانه است. در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ بارش سالانه تحت سه سناریو A1B، A2 و B1 به ترتیب حدود ۱۶، ۹ و ۱۲ درصد کاهش خواهد یافت. متوسط دبی رودخانه نیز در این دوره با توجه به کاهش بارندگی و افزایش دما به ازای سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب به میزان ۲۰، ۳۰ و ۲۰ درصد کاهش نشان می‌دهد که بیشترین کاهش دبی تحت هر سه سناریو مربوط به فصل تابستان است. در دوره ۲۰۴۰-۲۰۵۹، بارش سالانه تحت سناریوهای A1B و B1 به ترتیب ۱۹ و ۱۲ درصد کاهش دارد اما تحت سناریو A2 شاهد افزایش ۱۴ درصدی بارش سالانه خواهیم بود. متوسط دبی سالانه رودخانه طی این دوره تحت سناریوهای A1B و B1 مطابق با کاهش بارش و افزایش دما، کاهشی به میزان ۳۴ و ۱۴ درصد خواهد داشت که همانند دوره قبل بیشترین کاهش مربوط به فصل تابستان است، تحت سناریو A2 از آنجایی که بارش سالانه به خصوص در فصل تابستان افزایش نشان می‌دهد. متوسط دبی سالانه نیز افزایش خواهد یافت. شبیه‌سازی گزینه‌های مختلف در مدل WEAP و محاسبه شاخص‌های پایداری و وزن‌دهی این شاخص‌ها و تصمیم‌گیری براساس این معیارها نشان داد که تحت سناریو S1 (سناریو ادامه وضع موجود)، گزینه شش (الگو کشت با کمترین مصرف آب در هکتار، توسعه اراضی به میزان ۲۰۰۰ هکتار و کلیه اراضی دارای سیستم آبیاری تحت فشار) و گزینه دو (الگو کشت وضع موجود، توسعه اراضی به میزان ۱۳۰۰ هکتار، و کلیه اراضی دارای سیستم آبیاری تحت فشار) بهترین و گزینه سه (الگو کشت با بیشترین درآمد در هکتار، بدون توسعه اراضی و سیستم آبیاری تحت فشار و سطحی) و گزینه یک (الگو کشت ادامه وضع موجود، بدون توسعه اراضی و سیستم آبیاری تحت فشار و سطحی) به ترتیب پایین‌ترین رتبه را دارند. در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹، تحت هر سه سناریو گزینه چهار (الگو کشت با بیشترین درآمد در هکتار، بدون توسعه اراضی و کلیه اراضی دارای سیستم آبیاری تحت فشار) و شش بهترین گزینه و گزینه‌های سه و یک بدترین گزینه می‌باشند. در دوره ۲۰۴۰-۲۰۵۹، تحت سناریوهای A1B و A2، گزینه‌های چهار و دو بالاترین و گزینه‌های پنج (الگو کشت با کمترین مصرف آب در هکتار، توسعه اراضی به میزان ۵۰۰ هکتار و کلیه اراضی سیستم آبیاری تحت فشار) و سه پایین‌ترین رتبه را دارا هستند. تحت سناریو B1 گزینه‌های چهار و شش بهترین و سه و پنج بدترین گزینه هستند. بطور کلی در شرایط

تغییر اقلیم گزینه چهار (الگو کشت با بیشترین درآمد در هکتار و اجرای آبیاری تحت فشار برای کلیه اراضی و بدون توسعه اراضی) برای هر دو دوره و تحت هر سه سناریو گزینه برتر می‌باشد. جمع‌بندی ماتریس ارزیابی و حل آن توسط روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نشان داد که:

● روش‌های وزن‌دهی اینترپوی، میانگین وزنی و انحراف معیار و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره میانگین وزنی ساده، برنامه‌ریزی سازشی و تاپسیس در رتبه‌دهی گزینه‌ها، سه اولویت اول و سه اولویت آخر را چندان جابجا نمی‌کند و تغییر اولویت گزینه‌های بدتر و بهتر در حد یک یا دو رتبه است.

● استفاده از چندین روش وزن‌دهی و چندین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره علی‌رغم بالابردن حجم محاسبات، آنالیز حساسیتی برای تعیین دقیق اولویت‌بندی گزینه‌ها ارائه می‌دهد.

در این پژوهش اثرات مستقیم تغییر اقلیم بر آبدی و نیازهای کشاورزی و شبیه‌سازی سامانه در هر مورد به طور کامل انجام شده که نسبت به پژوهش‌های Hafezparast and Araghinejad (2015) و (Yilmaz and Harmancioglu 2010) با در نظر گرفتن شرایط واقعی تغییر اقلیم کامل‌تر و جامع‌تر به مدیریت پایدار حوضه آبریز و بررسی شاخص‌های پایداری در راستای معیارهای پایداری پرداخته است. زیرا در پژوهش‌های نام برده فرضیاتی در مورد میزان تغییر آبدی رودخانه به صورت خوشبینانه و بدبینانه در نظر گرفته شده است. محدودیت این پژوهش تنها استفاده از سناریوهای چهارم IPCC است که بهتر است در پژوهش‌های بعدی این روش برای حوضه‌های آبریز مختلف، با استفاده از سناریوهای اقلیمی جدید IPCC که شامل سناریوهای پنجم و ششم هستند و نیز محاسبه شاخص‌های پایداری متعدد و نیز شبیه‌سازی گزینه‌های مدیریتی قابل اجرا در هر منطقه در شرایط کنونی ایران استفاده شود و به حفظ حوضه‌های آبریز در برابر اثرات خشکسالی کمک کند.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Benin
- 2- Subjective
- 3- Objective
- 4- Entropy Method (EM)
- 5- Mean Weight (MW)
- 6- Simple Additive Weighting (SAW)
- 7- Compromise Programming (CP)
- 8- Topsis

- Hollerman B, Giertz, S & Diekkruger B (2010) Bennin 2025: balancing future water availability and demand using the WEAP water evaluation and planning system. *Water Resource Management* 24(13):3591-3613
- Li Xue, Yue Zh, Chunli ShI, Jian Sh, Zhong L, and Yuqiu W (2015) Application of water evaluation and planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China. *Jornal of Ocean & Coastal Management* 106 (2015):97-109
- Shafaiianfard D, Koohianafzal F, Yakhkeshi MA (2014) Options determine the best utilization of water resources using WEAP model and analysis Multiple Attribute Decision Making (Case Study: Zaringol basin). *Journal of Watershed Management* 5(9):29-45
- Yilmaz B, Harmancioglu NB (2010) An indicator based assessment for water resources management in Gediz River Basin, Turkey. *Water Resources Management* 24(15) 4359-4379
- Zarghami M, Abdi A, Babaeian I, Hassanzadeh Y & Kanani R (2011) Impact of climate change on runoffs in East Azarbaijan, Iran. *Global and Planetary Change* 18(3):137-146
- Aghaii S, fardhosayni A, alizade A, gazerani H (2014) The impact of management scenarios on water resources of Mashhad sycamore using WEAP. The Fifth Conference of Iran Water Resources Management (In Persian)
- American Society of Civil Engineers (ASCE) (1998) Sustainability criteria for water resources systems. Task Committee on Sustainability Criteria, Water Resources Planning and Management Division.
- Hafezparast M, Araghinezhad SH (2015) Basin water resources decision support system based on indices calculated (Case Study: Watershed Aras River). *Journal of Water Research* 9(2):101-110 (In Persian)
- Hafezparast M, Araghinezhad SH, Sharifazari S (2015) Sustainability criteria in assessment of integrated water resources management in the Aras Basin based on DPSIR approach. *Journal of Soil and Water Conservation* 22(2):61-77 (In Persian)
- Hamlat A, Errih M, Guidoum A (2012) Simulation of water resource management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. *Arab Journal of Geosci.* 6(7):2225-2236