



Assessing Environmental Flow Regime in Kor River: A Holistic Approach Using System Dynamics Modeling

A. Davari¹, A. Bagheri^{2*}, and J. Mohammad Vali Samani³

Abstract

In recent decades, the unprecedented lack of water resources, contamination and ecosystem degradation in many parts of the world have forced researchers and policy makers to devote more efforts to maintain and restore the health of water associated systems to achieve a balance between human and nature. Human efforts to maintain full natural flows have had implications on the functions and biodiversity of river systems. Lake Bakhtegan and Kor River have been degrading in recent years due to the lack of environmental protection efforts. The purpose of this paper is to provide a comprehensive top-down methodology for assessing the environmental flow of Kor River. Adopting the methodology based on the system dynamics approach, the paper will estimate the environmental flow requirement of the river under different scenarios and explores its consequences on the socio-economic part of the basin. It was observed that by supplying the water needed by the natural system, the resources available for economic development would decrease, impacting particularly the level of agricultural development. The current trends which are dominating the basin will result in deterioration of water resources and complete destruction of ecosystems.

Keywords: Environmental Flow Requirement, System Dynamics, Kor River, Holistic Approach.

Received: April 4, 2018
Accepted: August 16, 2019

ارزیابی جریان زیست محیطی در رودخانه کر: رویکردی جامع با استفاده از روش مدل سازی پویاشناسی سیستمها

علیرضا داوری^۱، علی باقری^{۲*} و جمال محمدولی سامانی^۳

چکیده

در دهه های اخیر، کمبود بی سابقه منابع آب، آلودگی و تخریب اکوسیستمها در بسیاری از نقاط جهان، محققان و سیاست گذاران را وادار به تلاش بیشتر در راستای حفظ و احیای سلامت سامانه های آبی کرده تا به توازن میان بشر و طبیعت دست یابند. تلاش بشر برای بهره برداری از جریان های طبیعی پیامدهایی را برای عملکردها و تنوع زیستی سامانه های رودخانه ها به دنبال داشته است. تالاب بختگان و رودخانه کر در سال های اخیر به دلیل عدم تأمین نیاز آبی زیست محیطی مورد نیاز، با مشکل مواجه بوده اند. هدف این مقاله، ارائه یک روش شناسی جامع بالا به پایین برای تخمین نیاز جریان زیست محیطی رودخانه کر می باشد که با بهره گیری از رویکرد سیستمیک و پویاشناسی سامانه ها، علاوه بر تعیین نیاز زیست محیطی آبزیان در این رودخانه، تأثیرات تغییرات اجتماعی-اقتصادی و گزینه های سیاستی ممکن بر رژیم جریان رودخانه، تحت سناریوهای اقلیمی مختلف، مورد بررسی قرار می گیرند. مشاهده شد که به منظور دستیابی به آب مورد نیاز سیستم طبیعی و همچنین مصرف پایدار منابع آب تجدیدپذیر، از منابع در دسترس برای توسعه اقتصادی کاسته خواهد شد که این امر به ویژه بر سطح زیرکشت و توسعه بخش کشاورزی اثر خواهد داشت. ادامه روند کنونی و حفظ الگوی نامناسب مصرف منجر به زوال منابع آب و تخریب کامل اکوسیستمها می شود.

کلمات کلیدی: نیاز جریان زیست محیطی، پویاشناسی سیستمها، رودخانه کر، رویکرد جامع.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱/۱۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۵/۲۵

1- M.Sc. Graduate in Hydraulic Structures, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Tarbiat Modares University, Department of Water Resources Engineering, Tehran, Iran. Email: ali.bagheri@modares.ac.ir

3- Professor, Tarbiat Modares University, Department of Hydraulic Structures, Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- استاد گروه سازه های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

اکوسیستم را نیز در برمی‌گیرد. بعد از این که ارزیابی اکوسیستم هزاره توجهات را به سمت "کالا و خدمات" اکوسیستم‌ها جلب کرد (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)، مبحث جریان زیست‌محیطی مباحث نیاز جریان برای رفاه و نیازهای اجتماعی-فرهنگی جوامع پایین دست را نیز در بر گرفت. به این ترتیب سؤالاتی درباره شرایط مطلوب و قابل قبول اکوسیستم رودخانه‌ها و منافع حاصل از تخصیص آب به آن‌ها شکل گرفت. نتایج این وقایع این شد که شرایط قابل قبول رودخانه به صورت "یک تصمیم توافقی اجتماعی-سیاسی تعریف شد که از طریق نظرسنجی عمومی به دست می‌آید؛ اما برای پیاده‌سازی و عملی کردن این تصمیم نیاز به عزم و حمایت سیاسی است. قابل ذکر است که با وجود توسعه‌ی روش‌های مختلف برای ارزیابی جریان زیست‌محیطی، مدیران آب، سیاست‌گذاران و حتی محقق‌ها در برخی مناطق (مانند آسیا) هم چنان بر "جریان حداقل" تأکید دارند.

۱-۲- روش‌های ارزیابی جریان‌های زیست‌محیطی

به دلیل تنوع و گستردگی رودخانه‌ها، بسترها و زمینه‌های اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی آن‌ها نیز برای هر مورد متفاوت است که منجر به پیدایش روش‌شناسی‌های متنوع و زیادی برای ارزیابی جریان‌های زیست‌محیطی شده است. در حال حاضر بیش از ۲۰۰ روش متفاوت برای تعیین جریان مورد نیاز اکوسیستم‌های رودخانه‌ای وجود دارد. بسیاری از روش‌ها به طریق‌های مختلف دسته‌بندی شده‌اند. در ادامه چهار دسته‌بندی کلی صورت گرفته برای جریان‌های زیست‌محیطی مورد اشاره قرار می‌گیرند (Overton et al., 2014).

– **رویکرد هیدرولوژیکی:** این رویکرد شامل ارزیابی تخصصی بر پایه دانش هیدرولوژی، ویژگی‌های رودخانه و گونه‌های مهم ماهی و میزان جریانی است که اکوسیستم رودخانه را در شرایط مطلوب حفظ می‌کند (Tharme, 2003).

– **رویکرد هیدرولیکی:** با وجود این که روش‌های هیدرولوژیکی روابط بین رژیم جریان و مطلوبیت زیستگاه گونه زنده جانوری یا گیاهی رودخانه را مشخص می‌کردند، اما تنها روش‌های سنج هیدرولیکی (اصطلاحی که توسط Loar et al. (1986) معرفی شد) رابطه بین دبی و ویژگی‌های هیدرولیکی مقطع عرضی جریان را به‌عنوان نماینده فاکتورهای زیستگاهی بیان می‌کنند (Tharme, 2003).

– **رویکرد شبیه‌سازی زیستگاه:** این رویکردها، شکل توسعه‌یافته رویکردهای سنج‌های هیدرولیکی هستند که از مدل‌های مختلفی

مفهوم جریان‌های زیست‌محیطی همراه با گسترش سریع سدسازی مدرن در نیمه اول قرن بیستم مطرح شد (World Commission on Dams, 2000). به علت افزایش ساخت سدها، اثرات منفی این سازه‌ها بر اکوسیستم رودخانه‌ای بیشتر مورد توجه و نگرانی قرار گرفت (Richter et al., 1996). در همین راستا پیشرفت در درک علمی و توسعه ابزار فنی همراه با تغییر در انتظارات اجتماعی و حفاظتی از چگونگی طراحی و بهره‌برداری بهتر از سدها به خدمت کاهش اثرات مضر اکولوژیکی درآمد (Acreman et al., 2014; Griggs et al., 2013; Poff and Matthews, 2013).

تا قبل از دهه ۱۹۸۰، جریان زیست‌محیطی به صورت "تقلیل‌گرایانه" و با هدف تأمین حداقل جریان برای چند گونه آبی (معمولاً یک گونه ماهی با ارزش) در پایین دست سدهای بزرگ، که اغلب در ایالات متحده و غرب اروپا قرار داشتند، تعیین و اجرا می‌شد. در آن زمان، علم اکولوژی اهمیت تغییرات هیدرولوژیکی در حفاظت از ساختار و عملکرد اکوسیستم و جایگاه هر یک از گونه‌های آبی در تعاملات و شرایط زیست‌محیطی را به مدیریت منابع آب وارد کرد (Acreman and Dunbar, 2004).

در اوایل دهه ۱۹۹۰، بحث درباره جریان‌های رودخانه به مسأله‌ی جامع و بزرگ‌تر مدیریت پایدار منابع آب گسترش یافت. در دهمین نشست رودخانه‌های Brisbane، که بیش از ۸۰۰ تن از مهندسان، محققان، مدیران منابع، اقتصاددان‌ها و سیاست‌گذاران را از ۵۷ کشور گرد هم آورده بود، بیانیه (Brisbane 2007) در مورد اصول جریان‌های زیست‌محیطی به تصویب رسید. این بیانیه به علت اتصال پایداری اکولوژیکی به رفاه اجتماعی، ارزشمند تلقی می‌شود؛ بنابراین موضوع جریان‌های زیست‌محیطی از یک برنامه حفاظتی جزئی به یک چشم‌انداز پایداری اکولوژیکی-اجتماعی گسترده، که می‌تواند در دامنه حکومتی نیز به کار گرفته شود، ارتقا یافت (Acreman et al., 2000). در بیانیه (Brisbane 2007) جریان زیست‌محیطی این چنین تعریف شد: "جریان زیست‌محیطی کمیت، کیفیت و تداومی از جریان آب مورد نیاز برای حفظ و بقای اکوسیستم‌های آب شیرین و رفاه و معیشت انسان‌های وابسته به آن اکوسیستم‌ها می‌باشد".

تمرکز مطالعات بر جریان رودخانه از ماهی‌ها فراتر رفت و به نگرانی درباره دیگر استفاده‌های درون رودخانه‌ای (Stalnaker and Arnette, 1976) تبدیل شد به طوری که این مطالعات اکنون تنوع زیستی زیستگاه، دیگر اجزای تنوع زیستی، کیفیت آب و عملکردهای

جریان در رودخانه؛ ب) منابع اطلاعاتی در دسترس و هزینه‌ی قابل تحمل برای ارزیابی؛ پ) اهمیت اقتصادی و زیست محیطی رودخانه؛ ت) مشکلات پیش روی پیاده‌سازی و اعمال جریان زیست‌محیطی.

اگرچه بیشتر توجه در بحث‌های حال حاضر مربوط به جریان‌های زیست‌محیطی، به اثرات ناشی از سدها و دیگر زیرساخت‌های آبی بر جریان‌های پایین‌دست معطوف شده است، دیگر فعالیت‌های توسعه، به خصوص تغییرات کاربری مانند تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی و مناطق شهری یا جنگل‌زدایی و دیگر فعالیت‌ها در مقیاس بزرگ، نیز می‌توانند بر دسترسی به آب برای مصارف پایین‌دست مؤثر باشند (Hirji and Davis, 2009). با این وجود این فعالیت‌ها در ارزیابی‌های جریان‌های زیست‌محیطی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

با توجه به موارد بالا، هدف این تحقیق ارائه یک روش‌شناسی جامع بالا به پایین برای ارزیابی جریان زیست محیطی می‌باشد که برای این منظور رودخانه کر در حوضه دریاچه‌ی بختگان به عنوان مطالعه‌ی موردی در نظر گرفته شده است. در این روش‌شناسی با بهره‌گیری از رویکرد سیستمیک و پویاشناسی سامانه‌ها، علاوه بر تعیین نیاز زیست‌محیطی آبریزان هدف در رودخانه، تأثیرات تغییرات اجتماعی-اقتصادی نیز بر رژیم جریان مورد نیاز و گزینه‌های ممکن به منظور تأمین جریان‌های زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به این ترتیب، می‌توان با شناخت از سیستم حوضه بختگان، راهکارها و عواقب و تغییرات لازم را به منظور دستیابی به تعادل بین سیستم‌های طبیعی و انسانی به دست آورد. به این منظور پس از توسعه مدل جامع حوضه رودخانه کر، گزینه‌های سیاستی با هدف تأمین جریان زیست محیطی رودخانه کر از دو منظر: الف) تغییر در الگو و سهم مصارف بخش‌های دیگر حوضه؛ و ب) تغییر در رژیم جریان رودخانه با تغییر در بهره‌برداری از سدها، مورد توجه قرار گرفتند. گزینه‌های سیاستی به دست آمده راه‌های تأمین نیاز زیست‌محیطی رودخانه کر و دریاچه بختگان و عواقب اقتصادی و اجتماعی آن‌ها را مشخص می‌کنند.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه بختگان به‌عنوان یکی از منابع آبی مهم کشور از نظر توسعه تولید انرژی برقی و کشاورزی، از چندین دهه پیش برای احداث طرح‌های سدسازی مورد توجه بوده است. حوضه دریاچه بختگان با مساحت ۲۷۳۸۵ کیلومتر مربع بخش وسیعی از استان فارس را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). در حوضه آبریز بختگان، رودخانه کر، رودخانه اصلی دائمی بوده و بزرگ‌ترین شاخه آن، رودخانه سیوند است.

برای ایجاد روابط بین رژیم جریان و کیفیت زیستگاه فیزیکی برای گونه‌های مختلف و همچنین با جنبه‌های زیست‌محیطی مدنظر مانند انتقال رسوب، کیفیت آب و گذرگاه ماهی استفاده می‌کنند (Stalnaker and Arnette, 1976; Tharme, 1996). تا به حال بیش از ۲۰۰ روش (رویکرد) مختلف شبیه‌سازی زیستگاه توسعه داده شده است. برخی از آن‌ها تبدیل به مدل‌های کامل‌تر و پیچیده‌تر شده‌اند، مانند IFIM (Instream Flow Incremental Methodology) که به طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند (King and Tharme, 1993).

- **رویکرد جامع:** اصطلاح جامع به روش‌شناسی‌هایی اطلاق می‌شود که کل اکوسیستم رودخانه را در نظر می‌گیرند. از منظر مفهوم به این معنی است که نیاز جریان زیست‌محیطی برای تمام اجزای موجودات زنده در اکوسیستم رودخانه، از جمله تالاب‌های مرتبط، آب زیرزمینی و خلیج، ارزیابی می‌شود (Arthington and Zalucki, 1998; King et al., 2000). طبق بررسی King and Tharme (2008)، مبنای رویکرد جامع، ساخت سامان‌مند یک رژیم جریان اصلاح شده، از طریق فرآیند پایین به بالا یا بالا به پایین است. در فرآیند پایین به بالا، یک رژیم جریان اصلاح شده، از جریان‌های ماهانه و جزء به جزء ساخته می‌شود. هر جزء نماینده یک ویژگی خاص از رژیم جریان است که برای دستیابی به اهداف اکولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، کیفیت آب، اجتماعی یا دیگر تعیین شده است (Tharme, 2003). از طرف دیگر، فرآیند بالا به پایین، جریان زیست‌محیطی را به شکل درجات قابل قبول بازگشت به رژیم جریان طبیعی تعریف می‌کند؛ بنابراین از سناریوهای مختلفی استفاده می‌نماید. این روش‌ها بر مبنای استفاده از متخصص در زمینه‌های مختلف برای ایجاد یک دید اجتماعی از جریان‌های مناسب مورد نیاز برای برآورد اهداف زیست‌محیطی، یا شرح پیامدهای سطوح مختلف دست‌کاری رژیم جریان، توسعه یافته‌اند. این دسته از رویکردها به علت قدرت و امکان استفاده آن‌ها متناسب با اهداف و سطوح مختلف داده‌ها و بهره‌گیری از اعتبار و تخصص در زمینه‌های مختلف، در دهه ابتدایی قرن بیست و یک کاربرد زیادی داشتند (King and Tharme, 2008).

ارزیابی‌ها می‌توانند سال‌ها به طول انجامند و هزینه زیادی داشته باشند، یا می‌توانند در طی چند ساعت و با روش‌های برون‌یابی یا قیاسی انجام شوند. عموماً اگر هزینه و زمان کافی صرف شود، می‌توان به ارزیابی با اطمینان بالا، روشنگر و قابل دفاع دست پیدا کرد؛ یا می‌توان یک ارزیابی سریع و آسان، کم‌هزینه، و با اطمینان پایین داشت که نیاز به پایش و تصحیح خواهد داشت (Hirji and Davis, 2009). بنابراین تصمیم‌گیری درباره نوع، پیچیدگی و مدت ارزیابی به متغیرهای زیادی بستگی دارد که عبارتند از: الف) اولویت منابع و زمان برای برقراری

حوضه‌ای، افزایش جمعیت و تقاضای بیشتر آب (شکل ۳) و گسترش شهرنشینی موجب فشار روزافزون بر منابع آب موجود در منطقه گردیده است. با کاهش آب سطحی تخصیص یافته به پایین دست بخشی از اراضی کشاورزی رها شده و کاهش کیفیت آب زیرزمینی (شکل ۴) به ویژه در سالیان اخیر در پایین دست حوضه، وضعیت معیشت و اقتصاد خانوارهای ساکن را شدیداً در معرض خطر قرار داده است به طوری که بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی، بیکاری در پایین دست حوضه گسترش یافته و مهاجرت‌های فصلی افزایش داشته است. وابستگی اقتصادی خانوارهای ساکن به کشاورزی و عدم رونق این بخش (شکل ۵) در سال‌های اخیر سطح درآمد مردم را در این مناطق کاهش داده و باعث گسترش مشکلات اقتصادی خانوارها شده است. به همین دلیل تعدادی از ساکنین روستاهای پایین دست برای حل بحران‌های اقتصادی روی داده اقدام به مهاجرت‌های انفرادی یا خانواری نموده‌اند که این مسأله باعث تشدید روند مهاجرت و کاهش جمعیت سکونتگاه‌های روستایی و حتی متروک شدن روستاهای پایین دست شده است.

با کاهش منابع آب موجود، افزایش تقاضا برای منابع آب بیشتر، و تنش موجود بر منابع آبی ناشی از برداشت‌های بی‌رویه افزایش یافته است (شکل ۶)؛ شدت گرفتن مناقشه میان مصرف‌کنندگان مختلف آب، تأمین حقایق زیست‌محیطی تالاب‌های طشک و بختگان، رودخانه کر و مناطق پایین دست حوضه را دچار مشکلات اساسی کرده است که آسیب‌ها و تخریب‌های جبران ناپذیری به محیط زیست، منابع طبیعی و زیست‌بوم حوضه وارد آورده است.

مهم‌ترین سدهای در حال بهره‌برداری حوضه آبریز بختگان شامل سدهای درودزن، سیوند و ملاصدرا (تنگ براق) است. در پایین دست سدهای مزبور توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و ورود جریان‌های برگشتی از اراضی کشاورزی و پساب صنایع باعث افت کیفیت آب در رودخانه و به تبع آن بروز اختلافات کمی و کیفی در پایین دست این سدها شده است. از طرفی، رودخانه کر در پایین دست سدهای فوق به تالاب بختگان منتهی می‌شود که از مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی کشور ایران می‌باشد. اما در سالهای اخیر هزاران پرنده در بستر خشک و نمکین آن گرفتار شده و جان سپرده‌اند. در مرداد ماه ۱۳۸۶ بخش عظیمی از تالاب خشک شد و متعاقب آن ۲۰۰۰ جوجه فلامینگو که هنوز قادر به پرواز نبودند در بستر خشک و نمکین تالاب تلف شدند. رسوبات نمکی تالاب که پس از خشک شدن آن پدیدار شده‌اند، در اثر وزش باد به صورت گرد و غبار بتدریج روی اراضی کشاورزی پخش و باعث شور شدن خاک می‌شوند و آثار منفی روی محصولات کشاورزی منطقه (انجیر) و سلامت افراد بومی دارند. در سال‌های اخیر، به دلیل عدم تخصیص نیاز آبی زیست‌محیطی برای حفظ اکوسیستم آبی تالاب بختگان، روزبه‌روز از وسعت آن کاسته شده است. از طرف دیگر، بر اساس طرح توسعه اراضی کشاورزی و نیاز به تأمین آب شرب و صنعتی در پایین دست سدهای ملاصدرا، درودزن و سیوند، بروز مشکلات کمی و کیفی آب در این حوضه قابل پیش‌بینی خواهد بود.

تغییر و تحول در سیستم تخصیص آب ذخیره‌شده پشت سدها، کشت‌های با نیاز آبی بالا و افزایش مصارف آب کشاورزی در بالادست حوضه، رخداد پدیده خشک‌سالی (شکل ۲)، افزایش انتقال آب بین

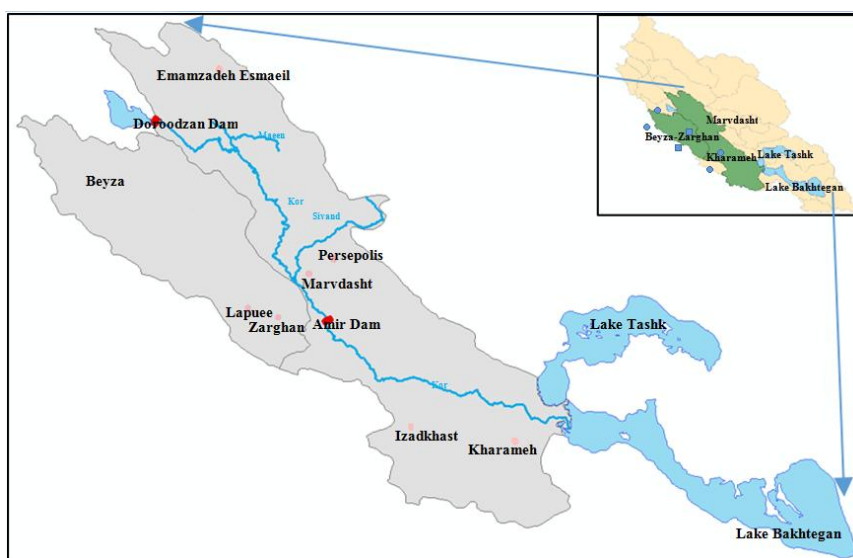


Fig. 1- Kor River Basin
شکل ۱- حوضه رودخانه کر

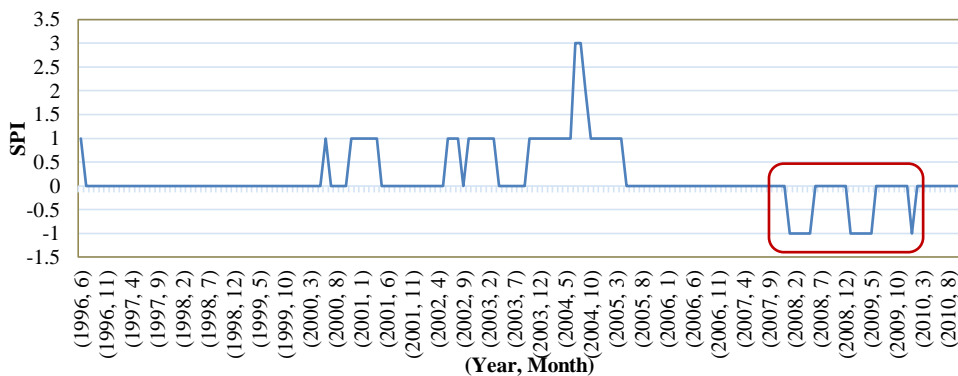


Fig. 2- Basin Drought Index; 2008, the most severe drought incident in the last 20 years in the basin, which has had a significant impact on utilization of groundwater resources and land use change

شکل ۲- شاخص خشک‌سالی حوضه (در ایستگاه جهان‌آباد در پایین دست حوضه)؛ سال ۱۳۸۷ شدیدترین پدیده خشک‌سالی در ۲۰ سال اخیر در حوضه به وقوع پیوست که تأثیر به‌سزایی بر بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، تغییر کاربری اراضی از مرتع به زراعی و همچنین شوره‌زار شدن اراضی تالابی داشت

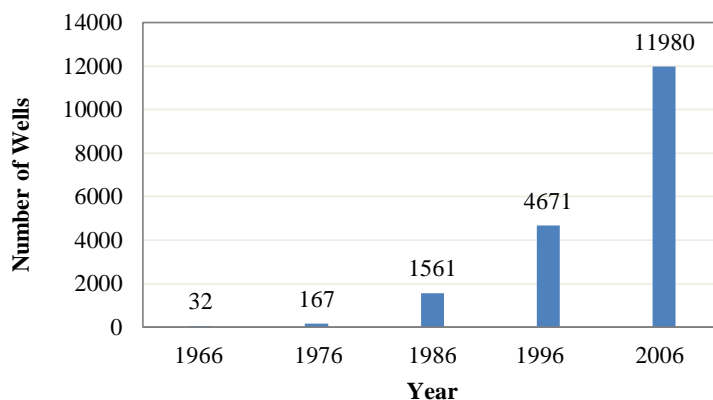


Fig. 3- Increased exploitation of the basin groundwater resource (Fars Regional Water Authority)

شکل ۳- افزایش بهره‌برداری از آب زیرزمینی (سازمان آب منطقه‌ای فارس)

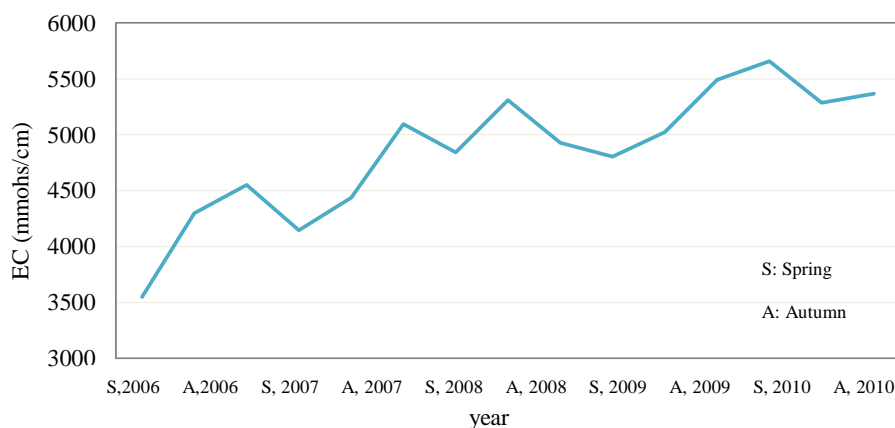


Fig. 4- Increasing the salinity of groundwater (Farsab Sanat Consultant Eng. Co., 2016)

شکل ۴- افزایش شوری آبهای زیرزمینی (Farsab Sanat Consultant Eng. Co., 2016)

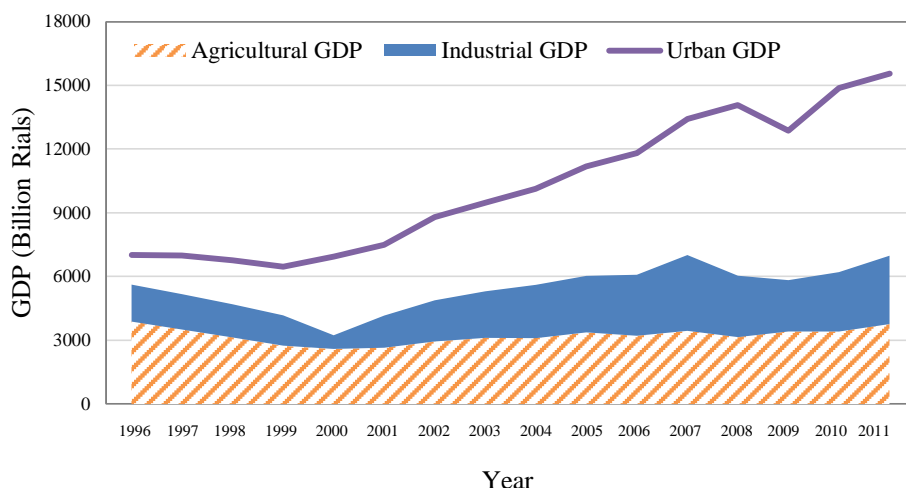


Fig. 5- GDP in different sectors of the basin; Low share of agricultural sector in GDP despite the consumption of more than 95% of available water resources

شکل ۵- تولید ناخالص داخلی بخش‌های مختلف حوضه؛ پایین بودن سهم بخش کشاورزی در تولید ناخالص داخلی باوجود مصرف بیش از ۹۵ درصدی منابع آب موجود می‌باشد.

و مناطق مسکونی به جریان‌های سطحی، می‌تواند کیفیت و شرایط مساعد زیستگاه‌های آبی را دچار تنزل کند و موجب کاهش چشمگیر تعداد جانداران وابسته به این اکوسیستم‌ها و منابع مورد بهره‌برداری انسانی شود.

تالاب‌های طشک و بختگان که در منتهی‌الیه مسیر رودخانه کر و سیوند واقع شده‌اند نیز با کم‌آبی روبه‌رو گردیده و ورود زه‌آب‌های کشاورزی و فاضلاب شهری و صنعتی از طریق کارخانه و مجتمع‌هایی نظیر مجتمع پتروشیمی، پساب‌های کشاورزی ورودی از زهکش آهوچر، فاضلاب‌های شهری مرودشت و زرقان به رودخانه کر و نهایتاً

از نگاهی دیگر، به دنبال برداشت، انحراف و انسداد جریان آب و تغییر کاربری اراضی (شکل ۷) به همراه مصارف گسترده منابع آب در منطقه و کاهش ناگزیر حجم آب جریانات سطحی در مقاطع مختلف، امکان جریان افت کیفیت آب به واسطه ویژگی خودپالایی رودخانه نیز کاهش می‌یابد؛ و اثرات دیگری نیز بر سیستم رودخانه، از جمله تغییر در رژیم جریان، ساختار زیستگاه، کیفیت آب، منابع غذا و ارتباط متقابل بین موجودات زنده، خواهد داشت.

در نگاه کلی هر چه به سمت مناطق پایین‌دست جریانات سطحی پیش رویم، میزان شوری آب افزایش می‌یابد. این مسأله با توجه به ورود روزافزون مواد آلاینده شیمیایی ناشی از پساب‌های کشاورزی، صنعتی

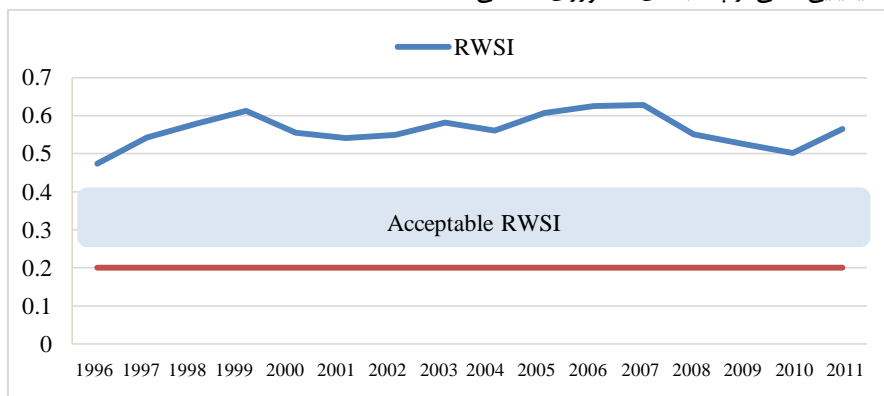


Fig. 6- The relative water stress index (RWSI); the high value of the calculated index indicates that the volume of exploitation of the water resources in the basin is much higher than its renewable annual capacity

شکل ۶- شاخص تنش آبی نسبی (RWSI)؛ مقدار بالای شاخص محاسبه‌شده بیان‌گر این است که حجم بهره‌برداری از منابع آب موجود در حوضه بسیار بیشتر از ظرفیت قابل تجدید سالانه آن می‌باشد

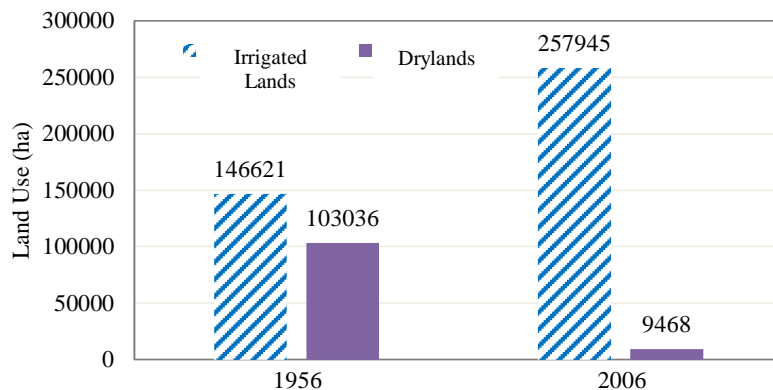


Fig. 7- Land Use Change from drylands to irrigated lands

شکل ۷- تغییر کاربری اراضی کشاورزی از دیم به آبی

۲-۲- چارچوبی جامع برای ارزیابی جریان زیست محیطی
 برای درک بهتر مراحل انجام تحقیق و همچنین ساختار مدل مفهومی آن، فلوجارتی مطابق شکل ۹ آورده شده است. این نمودار شامل دو جزء اصلی مدل دینامیک سیستم منابع آب، اجتماعی و اقتصادی، و مدل هیدرولیکی جریان رودخانه می‌باشد.

۳-۲- مدل هیدرولیکی- شبیه‌سازی رژیم جریان رودخانه
 به‌منظور تعیین نیاز جریان زیست‌محیطی در رودخانه دو مؤلفه در نظر گرفته شد. مؤلفه اول به حجم کلی آب مورد نیاز در بیلان یک ساله حوضه مربوط می‌شود. مؤلفه دوم به حفظ شرایط هیدرولیکی لازم در طول بازه‌های مختلف رودخانه به منظور تأمین عمق لازم برای زیستگاه گونه‌های شاخص از آبزیان مربوط می‌شود.

دریاچه‌های طشک و بختگان و سایر منابع آلاینده موجبات تخریب کیفیت آب این دریاچه‌ها را فراهم ساخته است. کیفیت آب رودخانه‌های کر و سیوند با تخلیه زهاب‌های شور کشاورزی و صنعتی و آلاینده‌های انسانی (شهرهای مرودشت، زرقان و روستاهای حومه) و کاهش آورد سالانه (شکل ۸) در سالیان اخیر کاهش چشمگیری داشته است. ورود زه‌آب‌های کشاورزی و ورود زهکش‌ها به رودخانه کر و سیوند موجبات آلودگی منابع آب را فراهم ساخته و در تعداد و تنوع گونه‌های ماهیان بومی این رودخانه تأثیرگذار بوده است. کمبود آب در پایین دریاچه و پایین بودن کیفیت آب آن باعث از بین رفتن اکثر گونه‌ها به‌جز گونه‌های مقاوم شده است. امروزه به دلیل دخالت‌های انسانی بسیاری از ماهیان رودخانه کر به‌خصوص ماهی‌های بومی از زیستگاه‌های خود فاصله گرفته‌اند. با احداث هر سه سد درودزن، سیوند و ملاصدرا بدون احداث معبر ماهی‌ها (fish way) مهاجرت ماهی‌ها از قسمت‌های انتهایی به سمت سرشاخه‌های رود کر مختل شد.

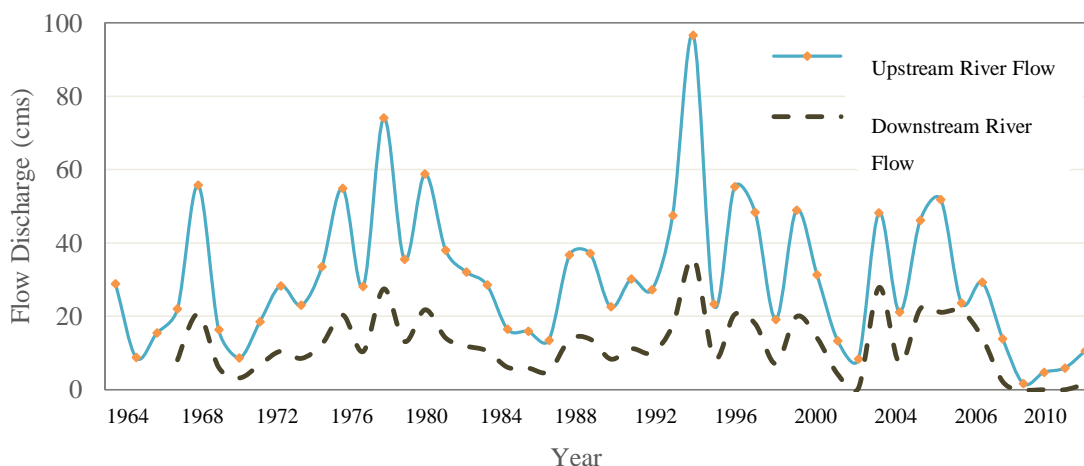


Fig. 8- Reduction in the surface water flow of Kor River (Source: Fars Regional Water Authority)

شکل ۸- کاهش آورد سطحی رودخانه کر (مأخذ: سازمان آب منطقه‌ای فارس)

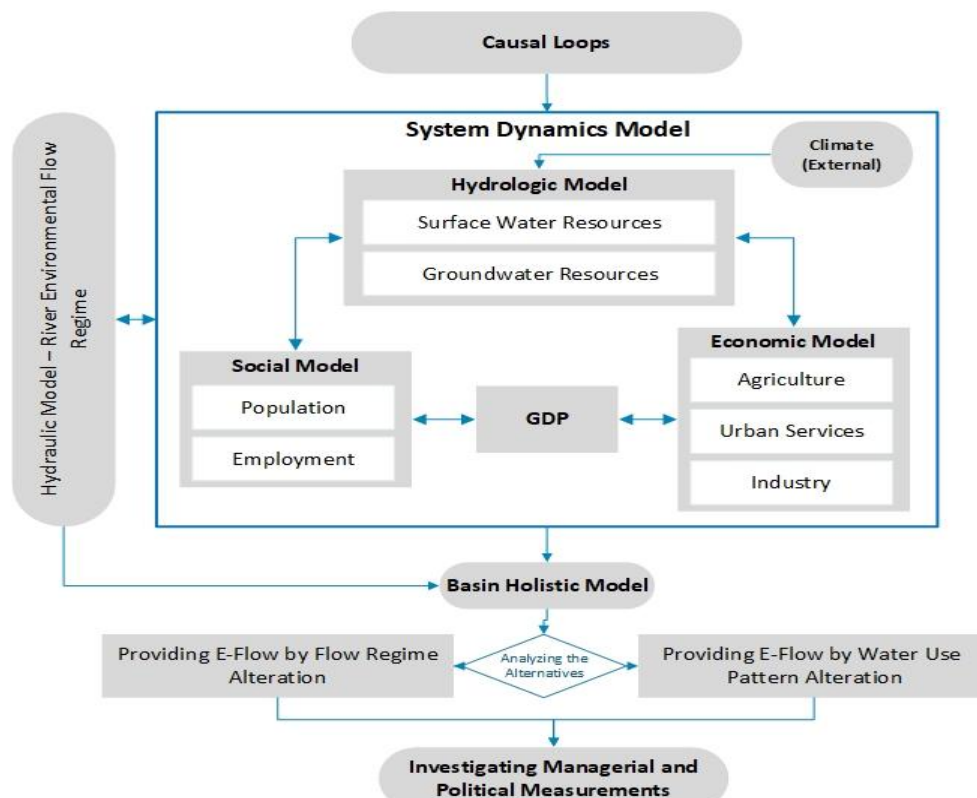


Fig. 9- Research Methodology Flowchart

شکل ۹- فلوجارت روش شناسی تحقیق

گونه‌های ماهی، شرایط هیدرولیکی موجود رودخانه در مدل HEC-RAS شبیه‌سازی شد. به‌منظور شبیه‌سازی رودخانه در نرم‌افزار، اطلاعات هندسی مقاطع رودخانه، زبری مسیل، نقاط آبگیری و پمپاژ، شاخه‌های فرعی رودخانه، نقاط ورودی زهکش‌ها، شرایط مرزی و اولیه تعریف و مدل برای شرایط هیدرولیکی ماندگار و در ماه‌های مختلف سال اجرا شد.

۲-۴- مدل‌سازی با رویکرد پویایی سامانه‌ها

جامع‌نگری زیرسیستم‌ها و بخش‌های مختلف یک حوضه نیازمند درک روابط و اثرات متقابل آن‌ها به عنوان یک سیستم می‌باشد. برنامه‌ریزی منابع آب با رویکرد یکپارچه و اعمال مدیریت به هم پیوسته منابع آب نیازمند به کارگیری یک نگرش سیستمیک و به هم پیوسته، و در نظر گرفتن تمام کنش‌ها و واکنش‌های بین سیستم‌ها می‌باشد.

مؤلفه‌ی مهم دیگر در تعیین نیاز آبی زیست‌محیطی در رودخانه کر، حجم آب مورد نیازی است که سالانه باید به دریاچه‌ی بختگان وارد شود. تأمین این حجم از آب با مصارفی که در حال حاضر از آب این رودخانه در بخش کشاورزی به عمل می‌آید در تعارض قرار می‌گیرد.

با توجه به مقیاس مکانی مطالعه، داده‌های موجود، گام زمانی ارزیابی و ظرفیت‌های فنی و مالی، روش جریان پایه آبریزان مورد استفاده قرار گرفت. این روش برای تعیین نیاز آبی رودخانه‌های دارای کارکردهای ضعیف‌تر از نظر اکولوژیکی و عاری از ماهیان با ارزش یا در شرایط فقدان شاخص‌های اکولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش ابتدا فون ماهیان محدوده شناسایی می‌شوند. گونه‌های غیربومی معرفی شده به دلیل اقدامات سازه‌ای و تغییرات ایجاد شده شناسایی شده و از اهداف اکولوژیکی جریان زیست‌محیطی حذف می‌شوند. سپس با توجه به فاکتورهای مختلف از جمله اقلیم، هیدرولوژی، هیدرولیک و دخالت‌های انسانی پراکنش ماهیان مشخص شده و از بین آن‌ها ماهیان مورد نظر که دارای اهمیت تولید مثلی و کارکرد اکولوژیکی هستند انتخاب می‌شوند. از نظر فون ماهیان براساس بررسی منابع (Ebrahimi and Taherianfard, 2010, 2010b; Pazooki et al., 2010)، مشخص شد تعداد ۲۵ گونه ماهی در سطح حوضه آبریز کر و سیوند وجود دارند. از بین گونه‌های موجود گونه‌های باربوس (Barbus Spp) به‌عنوان گونه شاخص از نظر حفاظتی در نظر گرفته شد. در بین گونه‌های تولید مثل کننده، گونه‌های سیاه ماهی (Capoeta Damascins) به‌عنوان گونه‌های تولیدمثل کننده در نظر گرفته شده است (جدول ۱). پس از تعیین حداقل عمق مطلوب

Table 1- The Minimum Environmental Flow Requirement Corresponding to the Important Fish Species in Kor River (Ebrahimi and Taherianfard, 2010)

جدول ۱- حداقل نیاز آبی ماهیان پراهمیت رودخانه کر (Ebrahimi and Taherianfard, 2010)

	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.
Significant Reproductive Species						150	150	150				
Depth of spawning (cm)												
Black fish												
Barbus					150	150	150					

مدل یکپارچه و پویای مدیریت حوضه رود کر دارای سه بخش و هفت زیر مدل می باشد (شکل ۱۰). هر زیر مدل بر اساس نمودارهای علیتی معرفی شده بر مبنای ارزیابی صورت گرفته از منطقه، بنا شده است و روابط بین متغیرهای مختلف را شبیه سازی می کند. اجزای این مدل به دلیل یکپارچگی و جامعیت آن ها و اثرات متقابل بر یکدیگر، کاملاً به یکدیگر وابسته و درهم تنیده می باشند و قابلیت تفکیک ندارند. این اجزا عبارتند از: (۱) متغیرهای برونزا مانند شرایط محیطی، تغییر در بارندگی و تبخیر؛ (۲) زیرسیستم اجتماعی که شامل افزایش جمعیت، تغییر الگوی مصرف، نیاز به اشتغال، افزایش فعالیت در بخش اقتصادی، و برداشت از منابع آب است (شکل ۱۱-الف)؛ (۳) زیرسیستم اقتصادی به سه بخش کشاورزی، خدمات و صنعت (شکل ۱۱-الف) تقسیم شد. در بخش کشاورزی این افزایش فعالیت با افزایش سطح زیر کشت کشاورزی و تقاضا برای نیروی کار همراه است (شکل ۱۱-ب).

از این رو، باید به دینامیک هایی توجه کرد که مصارف آب را در کنترل خود دارند. پس از شناخت دینامیک های حاکم بر سیستم، نیاز به آنالیز عددی و شبیه سازی پدیده های شناخته شده می باشد. بنابراین مدل پویای سیستم منابع آب و اقتصادی حوضه در محیط نرم افزار Simulink/Matlab توسعه داده شد.

برای مدل سازی زیرسیستم ها استفاده از مدل مفهومی به منظور ارزیابی سیستم حوضه رود کر- سیوند الزامی است. به بیانی دیگر مدل سازی مبتنی بر مکانیسم ها و ساختارهای تبیین شده صورت می پذیرد. مدل مفهومی این حوضه در شکل ۱۰ به نمایش درآمده است. این مدل شامل مؤلفه های سه بخش اجتماعی، اقتصادی و منابع آبی، اثرگذار در حل مسئله است. هر کدام از این مؤلفه ها به نحوی تأثیر متقابل با دیگر اجزای سیستم دارد.

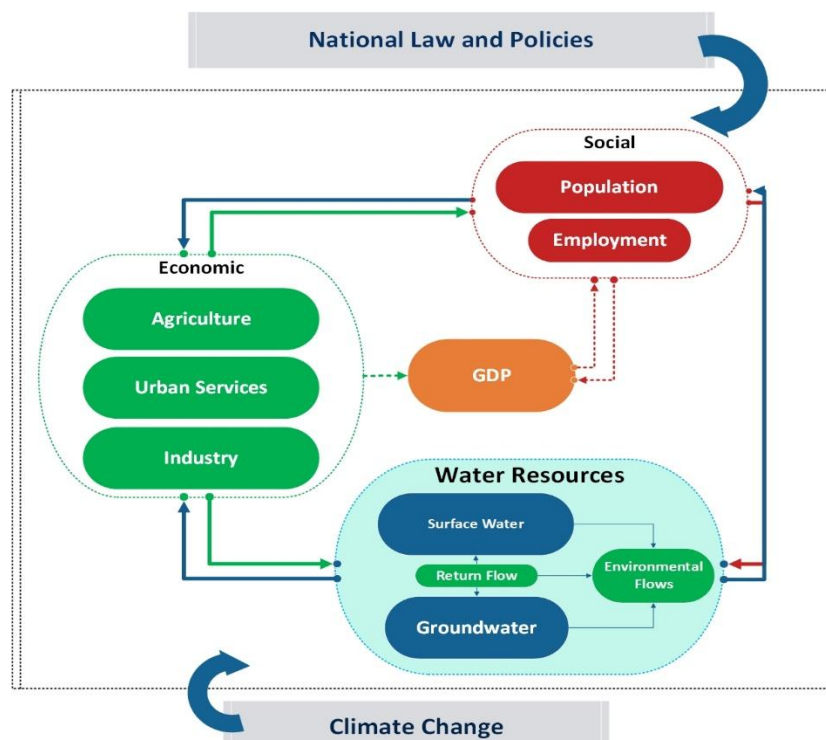


Fig. 10- Kor-Sivand River Conceptual Model

شکل ۱۰- مدل مفهومی حوضه رود کر- سیوند

حوضه رود کر-سیوند می‌شود که متغیر آن در مدل وارد شده است. جریان آب سطحی به صورت طبیعی از حوضه‌های اطراف وارد می‌شود. پساب‌ها (آب برگشتی) به آبخوان و آب سطحی برگشت دارند. خروجی‌های منابع آب زیرزمینی نیز شامل جریان خروجی زیرزمینی به حوضه‌های مجاور، تبخیر از سفره‌های کم‌عمق، و برداشت‌های بخش‌های اقتصادی و اجتماعی می‌باشد. جریان زیرزمینی خروجی به صورت ضریبی از کل حجم منابع آب در نظر گرفته شده است؛

۵) زیر مدل سطح زیر کشت و میزان تولید کشاورزی برای گیاه معادل در نظر گرفته شد. منظور از گیاه معادل، گیاهی فرضی است که سطح زیر کشت آن به نسبت نیاز آبی سایر محصولات به نیاز آبی گیاه معادل ضرب در سطح زیر کشت سایر محصولات به دست می‌آید. در این تحقیق "گندم" به عنوان گیاه معادل فرض شده است. افزایش و کاهش سطح زیر کشت کشاورزی با توجه به سطح زیر کشت مطلوب کشاورزی در محدوده محاسبه می‌شود. سطح زیر کشت مطلوب نیز با توجه به میزان آب در دسترس و GDP کشاورزی محاسبه می‌گردد. براساس مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب (Jamab, 2013a) کل سطح قابل کشت کشاورزی در حوضه ۳۷۶۰۰۰ هکتار می‌باشد که از این میزان ۲۲۰۰۰۰ هکتار در سال ۱۳۸۵ زیر کشت بود؛

۶) زیر مدل خدمات این منطقه شامل مؤلفه‌های خدمات، نیاز آبی بخش خدمات، درآمد خدمات و اشتغال این بخش می‌باشد (شکل ۱۱-الف). جمعیت مؤثر بر خدمات، کل جمعیت منطقه و شاغلین خدمات در نظر گرفته شده است. در این بخش مقدار آب مصرفی بخش‌های شرب و خدمات باهم در نظر گرفته شده است. در مرحله بعد با محاسبه GDP خدمات از کل درآمد ناخالص محدوده، شاغلین مورد انتظار بخش خدمات محاسبه و سپس با شاغلین واقعی آن مقایسه می‌شود و منجر به جذب یا کاهش نیروی کار در گام زمانی بعد می‌شود و متغیر حالت شاغلین بخش خدمات را شبیه‌سازی می‌کند.

۲-۵- صحت‌سنجی مدل- سناریوها و گزینه‌های سیاستی اعمال شده در شبیه‌سازی

پس از توسعه مدل، صحت‌سنجی مدل برای داده‌های سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ و اعتبارسنجی مدل با داده‌های سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ صورت گرفت. علاوه بر این، آزمون‌های ارزیابی ساختار و شرایط حدی نیز روی مدل انجام شد. شکل‌های ۱۲ مربوط به رفتار برخی متغیرهای اصلی مدل در بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰ می‌باشد. با بررسی داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که مدل شبیه‌سازی را صحیح انجام داده است. برای این‌که تأثیر شرایط موجود و اعمال

تولید ناخالص داخلی این بخش بر اساس اشتغال و سطح زیر کشت در سال‌های مختلف محاسبه می‌شود. همان‌طور که در بخش اولویت‌بندی تخصیص نیز شرح داده شد عرضه آب به بخش کشاورزی اولویت آخر تخصیص در این مدل می‌باشد و بر اساس حداقل نیاز و تقاضای این بخش و میزان عرضه آب برای کشاورزی می‌باشد که این میزان خود متأثر از تقاضای آب در دیگر بخش‌های محیط‌زیست، اقتصاد و همچنین جمعیت می‌باشد و بر پویایی و رشد بخش کشاورزی مؤثر است؛

۴) زیرسیستم منابع آب تشریح‌کننده شرایط و خصوصیات اقلیمی و هیدرولوژیکی، تقاضا و ارتباط بین بخش‌های مختلف آب‌های سطحی (رواناب) (شکل ۱۱-پ) و زیرزمینی (نفوذ، برداشت‌ها، جریان برگشتی و غیره) (شکل ۱۱-ت) می‌باشد. هدف اصلی از این بخش برقراری ارتباط بین موجودی آب منطقه و زیر مدل اقتصادی-اجتماعی به منظور تأمین نیازهای آبی می‌باشد. این زیر مدل بر اساس معادله بیلان کل منابع آب سطحی و زیرزمینی در محدوده ساخته شده است. سایر فرضیات به کار رفته در این زیر مدل به شرح زیر است:

زیر مدل منابع آب سطحی: رواناب ناشی از بارندگی (۱۲ درصد) براساس مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب (Jamab, 2013a)، جریان ورودی رودخانه‌ها از حوضه‌های مجاور (رودخانه سیوند)، جریان برگشتی از بخش‌های مختلف (کشاورزی، شهر-خدمات، صنعت و محیط‌زیست) و جریان تنظیمی سد (خروجی سد درودزن به رودخانه کر) از جمله عوامل تغذیه منابع آب سطحی در حوضه هستند. همچنین جریان‌های خروجی موجود در بیلان آب سطحی نیز شامل مصارف بخش‌های مختلف، خروجی رودخانه به دریاچه بختگان نیز در مدل در نظر گرفته شده‌اند. رواناب با توجه به میزان بارندگی، ضریب رواناب و مساحت حوضه محاسبه و به مدل وارد شد. ضریبی که برای تعیین میزان پساب‌های مصرفی به کار برده می‌شود با توجه به شرایط متفاوت از جمله شیوه‌ی آبیاری، نحوه‌ی دفع پساب‌ها و نفوذپذیری آبرفت برای محدوده‌های مختلف متفاوت می‌باشد. آب برگشتی هر بخش برابر میزان برداشت آن بخش در ضریب پساب آن می‌باشد.

زیر مدل منابع آب زیرزمینی: بخش اعظم از مقدار بارندگی که وارد منطقه می‌شود براساس مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب (Jamab, 2013b) به نفوذ (۴۳ درصد) تبدیل شده و بخشی دیگر آن به رواناب (۱۲ درصد) و بخار (۴۵ درصد) تبدیل می‌شود. همچنین نفوذ به آب زیرزمینی در محدوده متغیری از میزان بارش و ضریب نفوذ و سطح محدوده می‌باشد. از طرفی جریان آب زیرزمینی با توجه به ارتباط هیدروژئولوژیکی دشت‌های حوضه با دشت‌های بالادست، وارد آبخوان

برای سیستم موردنظر پردازد. سناریوها بیان کننده تغییرات مؤلفه‌های بیرون از سیستم می‌باشند که بر سیستم اثرگذار بوده و از سیستم اثر نمی‌پذیرند. درحالی‌که سیاست‌ها، نحوه تغییرات مؤلفه‌های درون سیستم را در آینده نشان می‌دهند.

سیاست‌ها در طولانی‌مدت و نیز طی سال‌های آتی در سیستم موردنظر مشخص شود، مدل برای سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۴۱۰ اجرا شده است. در طول سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۱۰ می‌باید مدل مبتنی بر سناریوهای موجود در منطقه به تحلیل آثار ناشی از اعمال سیاست‌های تأمین نیازهای زیست‌محیطی و استخراج نتایج حاصل از شبیه‌سازی آن‌ها

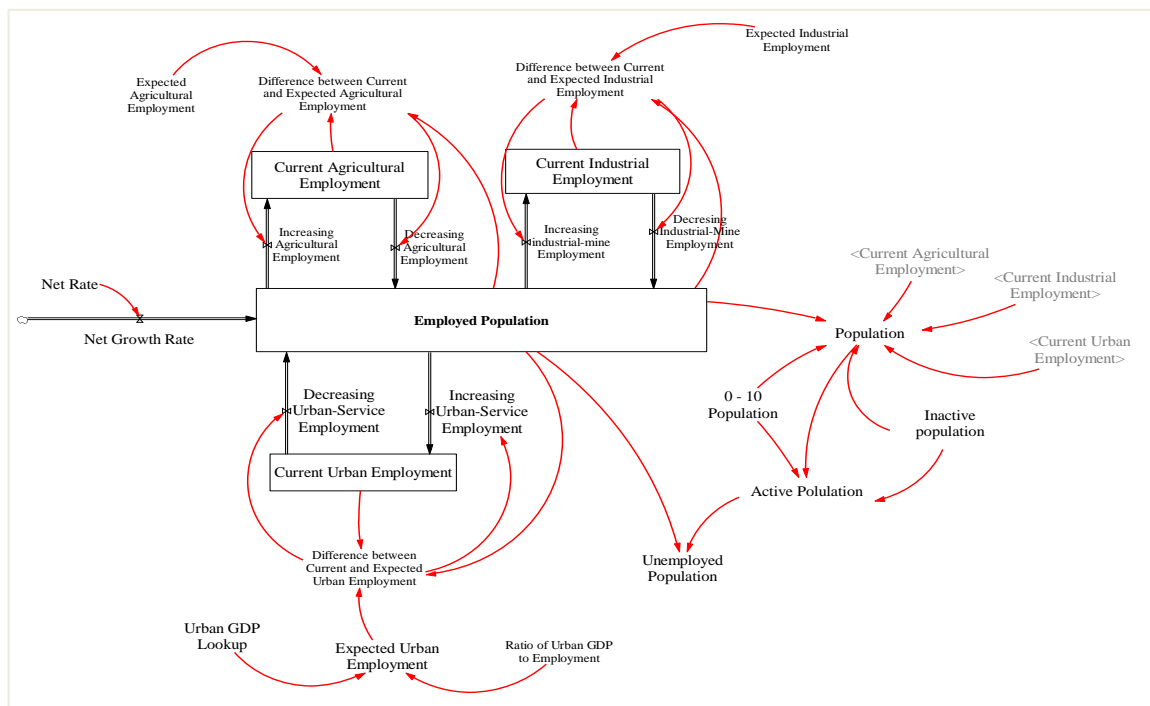


Fig. 11(a)- The socio-economic sub-model
شکل ۱۱- الف- زیرمدل اجتماعی-اقتصادی

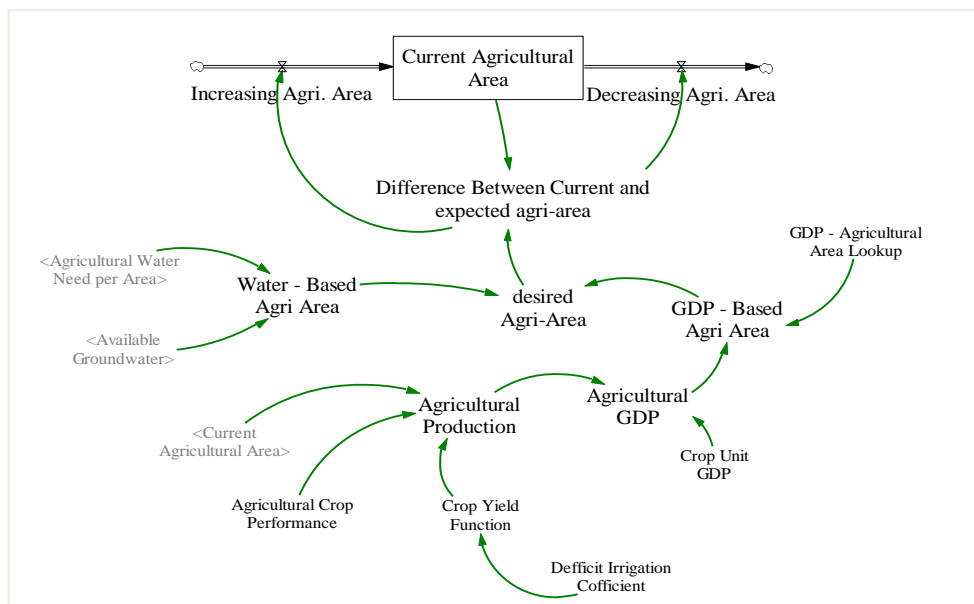


Fig. 11(b)- The agriculture and cultivated area sub-model
شکل ۱۱- ب- زیرمدل کشاورزی، سطح زیرکشت

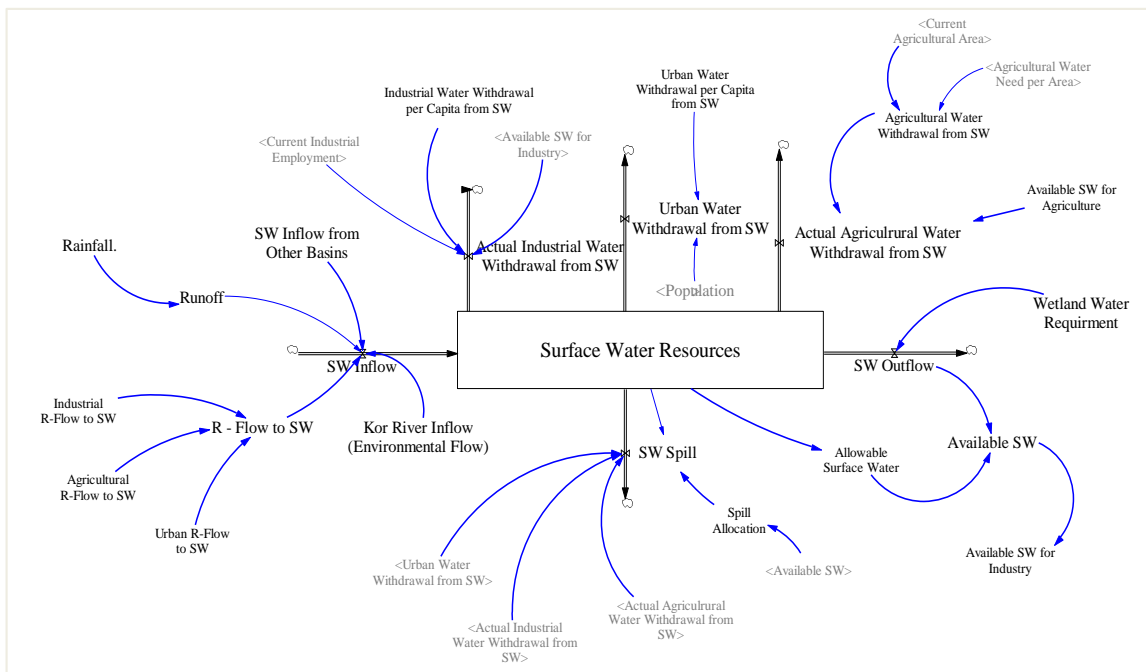


Fig. 11(c)- The surface water sub-model

شکل ۱۱- پ- زیرمدل منابع آب سطحی

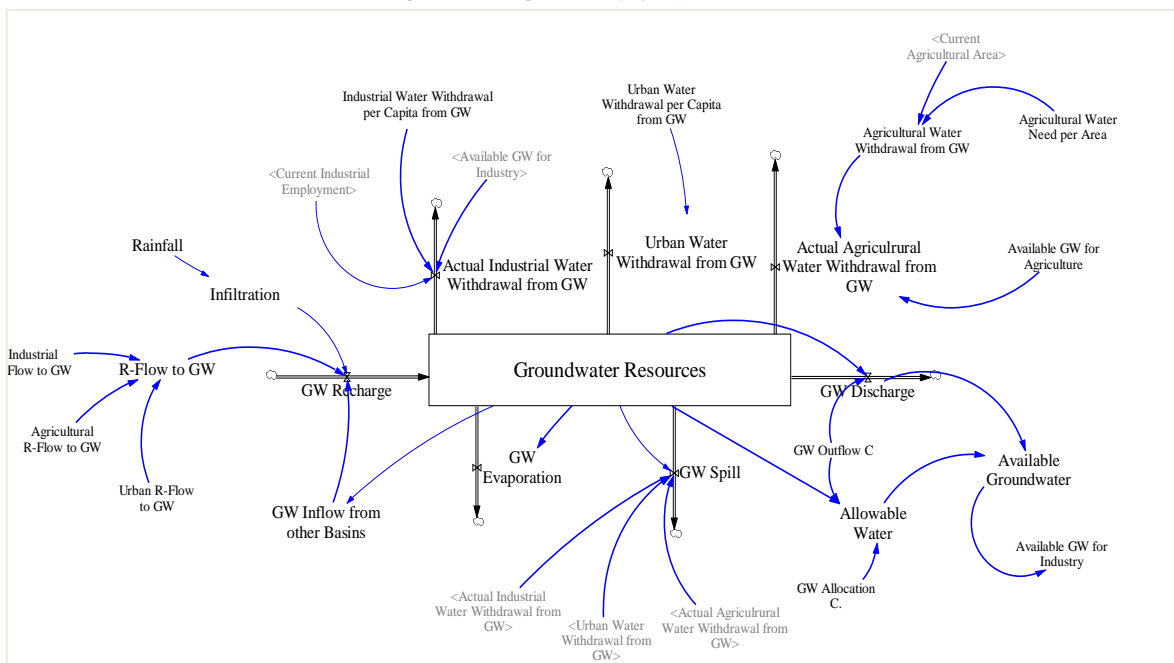


Fig. 11(d)- The groundwater sub-model

شکل ۱۱- ت- زیرمدل منابع آب زیرزمینی

سناریو می‌باشد. گزینه‌های سیاستی موجود شامل اقدامات مدیریتی می‌باشد که هر کدام تا سطوح مشخصی تأمین‌کننده نیاز زیست‌محیطی رودخانه کر و دریاچه بختگان خواهند بود.

بررسی سیاست‌ها نحوه تغییرات مؤلفه‌های درون سیستم را بر اساس تغییر در یک یا چند مؤلفه درون‌زای سیستم تحلیل می‌کند و اثر یک سیاست را در زیر بخش مدنظر بر متغیرهای زیر بخش‌های دیگر نیز نمایش می‌دهد. در این تحقیق اقدام به تولید دو سناریوی محیطی تحت شرایط نرمال و خشک‌سالی شده است. شکل ۱۳ بیانگر هر

Table 2- Restoration objectives for Lake Bakhtegan corresponding to one year water requirement in wet and dry periods (Bagheri, 2016)

جدول ۲- اهداف احیای دریاچه بختگان برای دوره یکساله در شرایط ترسالی و خشکسالی و نیاز آبی آنها (Bagheri, 2016)

Restoration Objective	No. of Felamingos - f	Figs production (Ton) - t	Climatic condition	Water requirement (MCM/yr)	
				Felamingos Population	Figs production
1	f= 0	t ≤ 9,000	Wet	0	Q ≤ 16
			Dry	0	Q ≤ 25
2	20,000 ≤ f ≤ 35,000	9,000 ≤ t ≤ 11,000	Wet	169 ≤ Q ≤ 223	16 ≤ Q ≤ 31
			Dry	192 ≤ Q ≤ 246	25 ≤ Q ≤ 35
3	35,000 ≤ f ≤ 55,000	11,000 ≤ t ≤ 13,000	Wet	223 ≤ Q ≤ 351	31 ≤ Q ≤ 39
			Dry	246 ≤ Q ≤ 374	35 ≤ Q ≤ 46
4	55,000 ≤ f ≤ 65,000	13,000 ≤ t ≤ 15,000	Wet	351 ≤ Q ≤ 448	39 ≤ Q ≤ 54
			Dry	374 ≤ Q ≤ 471	46 ≤ Q ≤ 56
5	65,000 ≤ f ≤ 75,327	15,000 ≤ t ≤ 17,242	Wet	448 ≤ Q ≤ 552	54 ≤ Q ≤ 65
			Dry	-	-

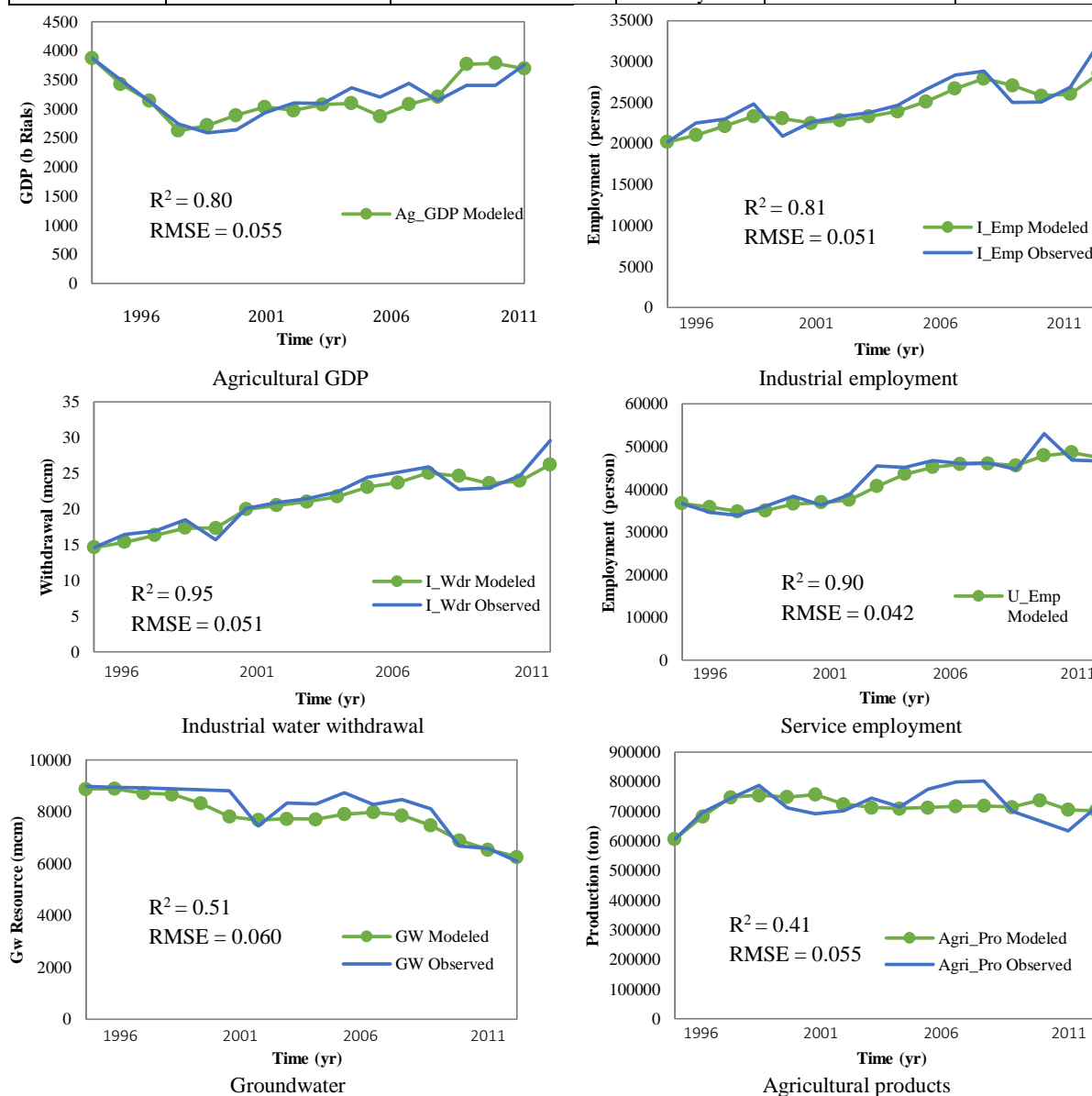


Fig. 12- Behavioural reproduction test

شکل ۱۲- نتایج آزمون تکرار رفتار بر روی مدل دینامیکی

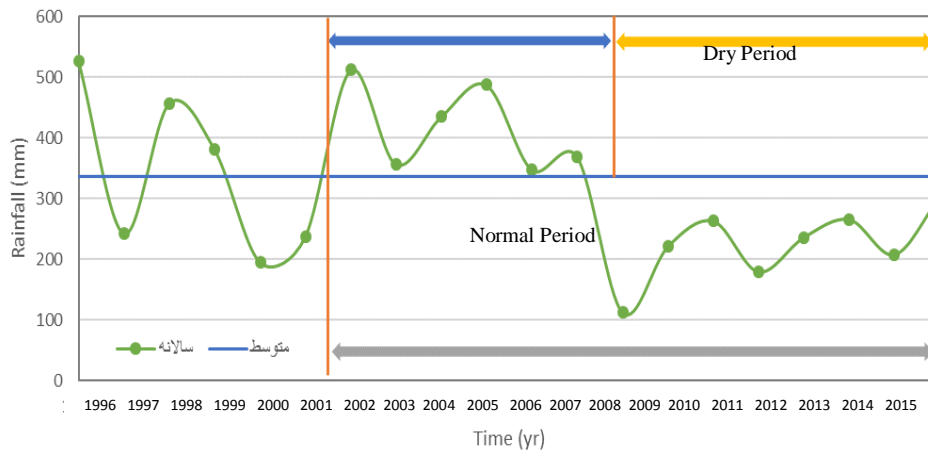


Fig. 13- Dry and Normal Scenarios
شکل ۱۳ - سناریوهای نرمال و خشک‌سالی

روی مدل اعمال شده است. بنابراین سناریوها و گزینه‌های مدیریتی مورد استفاده دارای اجزای زیر می‌باشند:
 سناریوهای اقلیمی: سناریوی اقلیمی نرمال با ادامه روند بارندگی موجود (شکل ۱۳) تا سال ۱۴۱۰ و سناریوی اقلیمی خشک با تکرار و تداوم دوره کم بارندگی از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۴ در آینده سیستم تا سال ۱۴۱۰.

گزینه‌های مدیریتی برای تامین جریان زیست محیطی با مدیریت مصارف و رژیم جریان رودخانه:

- بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی: دو حالت شامل عدم مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، و اعمال مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به صورت محدود کردن تخصیص آب به ۷۵ درصد از منابع آب زیرزمینی تجدیدپذیر،
- جریان زیست محیطی رودخانه کر: شامل چهار حالت عدم تامین نیاز زیست محیطی و ادامه روند موجود، تامین ۵۰ درصد نیاز زیست محیطی، تامین ۹۰ درصد نیاز زیست محیطی، تامین ۱۰۰ درصد درصد نیاز زیست محیطی رودخانه کر،
- نیاز زیست محیطی دریاچه بختگان: شامل چهار حالت عدم تامین نیاز زیست محیطی و ادامه روند موجود، تامین ۵۰ درصد نیاز زیست محیطی، تامین ۹۰ درصد نیاز زیست محیطی، تامین ۱۰۰ درصد نیاز زیست محیطی دریاچه بختگان.

با ترکیب این سیاست‌ها و سناریوها می‌توان به بسته‌های تصمیم‌گیری و مدیریتی مختلف رسید. پس از ترکیب این گزینه‌ها و اعمال آن‌ها در مدل توسعه داده شده برای حوضه در نهایت بسته‌های نشان داده شده در جدول ۳ انتخاب و تأثیر آن‌ها بر سیستم در آینده انتخاب شدند:

نیاز زیست محیطی رودخانه با توجه به نیاز زیست محیطی برآورد شده توسط تحلیل هیدرولیکی تعریف شده است. در مورد سطح احیای دریاچه بختگان و تأثیر آن بر کارکردهای اکولوژیکی آن، از نتایج به‌دست آمده از تحقیق (Bagheri (2015) استفاده شد. طبق مطالعات و نتایج این تحقیق، تامین حجم‌های مختلف نیاز زیست محیطی دریاچه بختگان، کارکردهای اکولوژیکی مختلف دریاچه را در سطوح مختلف احیا می‌کند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مهاجرت پرندگان به دریاچه و هم‌چنین افزایش عملکرد انجیر دیم در اطراف دریاچه اشاره کرد (جدول ۲). نیازهای آبی که براساس روابط جدول ۲ و متناظر با سطوح مختلف از احیای کارکردهای دریاچه به دست می‌آیند به عنوان شرط مرزی پایین دست رودخانه در محاسبه نیاز آبی کل رودخانه در محاسبات در نظر گرفته شده‌اند. این سیاست‌ها بسته به اهداف مختلف زیست محیطی، منابع آبی، و اقتصادی تعریف می‌شوند. تامین سطوح مختلف نیاز زیست محیطی منجر به کاهش منابع آب موجود در دیگر بخش‌ها شده، که این امر می‌تواند منجر به کاهش درآمد منطقه‌ای شود. از طرفی دیگر عدم اعمال محدودیت بر منابع آب زیرزمینی در کنار افزایش تقاضا و برداشت می‌تواند منجر به زوال بیشتر این منابع و عواقبی هم چون نشست زمین شود. بنابر هدف تحقیق، گزینه‌های سیاستی بررسی شده باهدف تامین نیاز زیست محیطی است به طوری که تامین سطوح مختلف نیاز زیست محیطی چه میزان از کارکردهای رودخانه و دریاچه را بازمی‌گرداند و در ازای آن چه مقدار محدودیت بر سیستم اجتماعی-اقتصادی حوضه وارد می‌شود. در این تحقیق به‌طور خاص بر اثر کاهش آب در عملکرد بخش کشاورزی تمرکز شده است. در نهایت سیاست‌های در نظر گرفته شده، ترکیبی از راهکارهای پیشنهادی گرداران و نظرات کارشناسی با توجه به مطالعات کتابخانه‌ای است که

Table 3- Policy options for managing the environmental flow of Kor River

جدول ۳- بسته‌های سیاستی برای مدیریت جریان زیست‌محیطی رودخانه کر

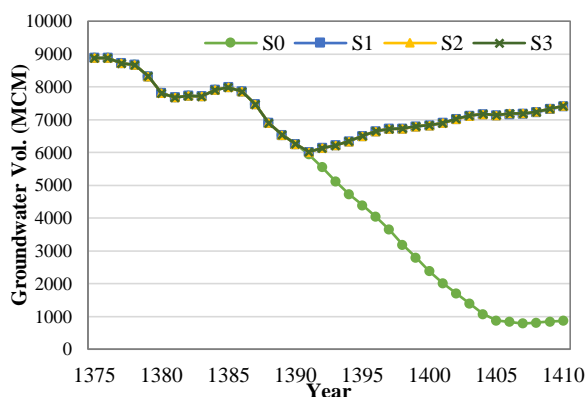
بسته سیاستی	توضیحات (سناریوی اقلیمی، سیاست‌های تخصیص آب مدیریتی و زیست‌محیطی)
C1-S0	وضع موجود: شرایط نرمال اقلیمی و هیچ کاری روی سیستم انجام نگیرد
C2-S0	وضع موجود: شرایط خشک‌سالی اقلیمی و هیچ کاری روی سیستم انجام نگیرد
C1-S1	شرایط نرمال اقلیمی، سطح ۵۰ درصد جریان زیست‌محیطی رودخانه، تأمین ۳۳۰ میلیون مترمکعب نیاز آبی دریاچه بختگان، اعمال مدیریت بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی (محدود به ۷۵ درصد منابع تجدید پذیر)،
C2-S1	شرایط خشک‌سالی اقلیمی، سطح ۵۰ درصد جریان زیست‌محیطی رودخانه، تأمین ۳۳۰ میلیون مترمکعب نیاز آبی دریاچه بختگان، اعمال مدیریت بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی (محدود به ۷۵ درصد منابع تجدید پذیر)،
C1-S2	شرایط نرمال اقلیمی، سطح ۹۰ درصد جریان زیست‌محیطی رودخانه، تأمین ۵۶۰ میلیون مترمکعب نیاز آبی دریاچه بختگان، اعمال مدیریت بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی (محدود به ۷۵ درصد منابع تجدید پذیر)،
C2-S2	شرایط خشک‌سالی اقلیمی، سطح ۹۰ درصد جریان زیست‌محیطی رودخانه، تأمین ۵۶۰ میلیون مترمکعب نیاز آبی دریاچه بختگان، اعمال مدیریت بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی (محدود به ۷۵ درصد منابع تجدید پذیر)،
C1-S3	شرایط نرمال اقلیمی، سطح ۱۰۰ درصد جریان زیست‌محیطی رودخانه، تأمین ۶۲۰ میلیون مترمکعب نیاز آبی دریاچه بختگان، اعمال مدیریت بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی (محدود به ۷۵ درصد منابع تجدید پذیر)،
C2-S3	شرایط خشک‌سالی اقلیمی، سطح ۱۰۰ درصد جریان زیست‌محیطی رودخانه، تأمین ۶۲۰ میلیون مترمکعب نیاز آبی دریاچه بختگان، اعمال مدیریت بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی (محدود به ۷۵ درصد منابع تجدید پذیر)،

و اعمال محدودیت برداشت از منابع آب زیرزمینی به ۷۵ درصد، منابع تجدیدپذیر آب زیرزمینی به پایداری رسید و به وضعیت تعادلی و پایدار می‌رسد. گزینه‌های سیاستی اعمال شده در دو وضعیت نرمال و خشک‌سالی (C1 و C2) نیز مقایسه شدند که در سناریوی خشک‌سالی، میزان حجم منابع آب زیرزمینی در همه گزینه‌ها میزان کمتری نسبت به مقادیر متناظر در سناریوی نرمال قرار داشت (شکل ۱۴-الف و ۱۴-ب).

۳- نتایج و بحث

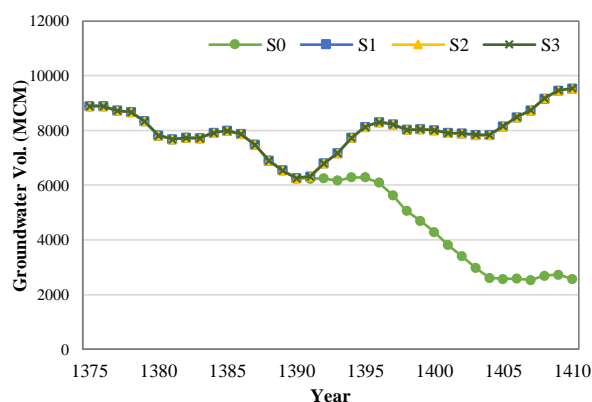
۳-۱- مقایسه تاثیر گزینه‌های سیاستی بر تغییرات حجم منابع آب زیرزمینی

با ادامه روند کنونی و بدون اعمال هیچ‌گونه محدودیت برداشتی بر منابع آب زیرزمینی (S0)، روند موجود منابع آب تغییری نکرده و به روند کاهشی خود ادامه می‌دهد که این امر با توجه به افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی به کاهش منابع آب زیرزمینی به میزان شش هزار میلیون مترمکعب انجامید. با اعمال گزینه‌های سیاستی S1، S2 و S3



ب- شرایط خشک‌سالی

b) Dry period



الف- شرایط نرمال

a) Normal period

Fig. 14- Groundwater comparison under different options

شکل ۱۴- مقایسه وضعیت منابع آب زیرزمینی در گزینه‌های مختلف

کشاورزی شده‌اند. بنابراین به‌منظور تأمین این سطوح از نیازهای زیست‌محیطی باید بتوان با ایجاد تغییر در الگوی توسعه منطقه از کشاورزی به صنعت، بیکاری ناشی از کاهش توسعه بخش پرمصرف کشاورزی را با توسعه در بخش کم‌مصرف و پرسود صنعت جبران کرد (شکل‌های ۱۶-الف و ۱۶-ب).

۳-۴- مقایسه تأثیر گزینه‌های سیاستی بر درآمد ناشی از کشاورزی

ادامه وضعیت موجود باعث افزایش تولید ناخالص داخلی در بخش کشاورزی شده است. از طرفی با اعمال سناریوهای محدودیت منابع آب زیرزمینی و همچنین تأمین نیازهای زیست‌محیطی، آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی کاهش می‌یابد که خود منجر به کاهش سطح زیرکشت می‌شود. کاهش سطح زیر کشت کشاورزی، کاهش تولیدات و محصولات را به دنبال دارد. با کاهش تولیدات کشاورزی میزان درآمدزایی از این بخش کاهش می‌یابد (شکل ۱۷-الف و شکل ۱۷-ب). برای دستیابی به اهداف زیست‌محیطی تعیین شده و پایداری منابع آب نیاز است تا این کاهش درآمد را در منطقه جبران کرد.

۳-۵- تأثیر سناریوها و سیاست‌های مختلف بر جریان زیست‌محیطی رودخانه کر براساس شبیه‌سازی هیدرولیکی

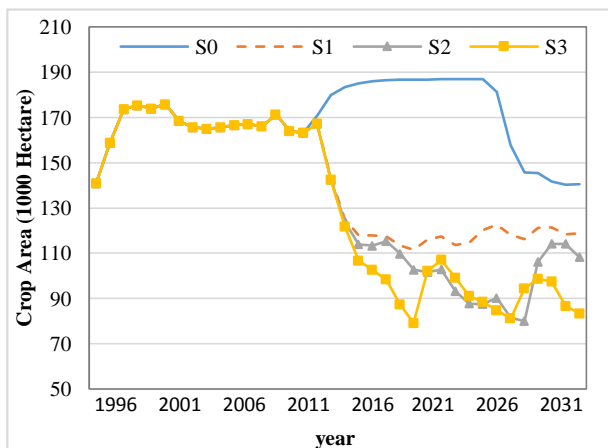
۱) جریان زیست‌محیطی در شرایط موجود
به منظور بررسی چگونگی تأمین جریان زیست‌محیطی در شرایط کنونی، مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه با توجه به جریان‌های موجود در شاخه‌های مختلف رودخانه در وضعیت کنونی (بعد از اقدامات سازه‌ای در سال ۱۳۸۶) انجام شد.

۳-۲- مقایسه تأثیر گزینه‌های سیاستی بر سطح زیر کشت کشاورزی

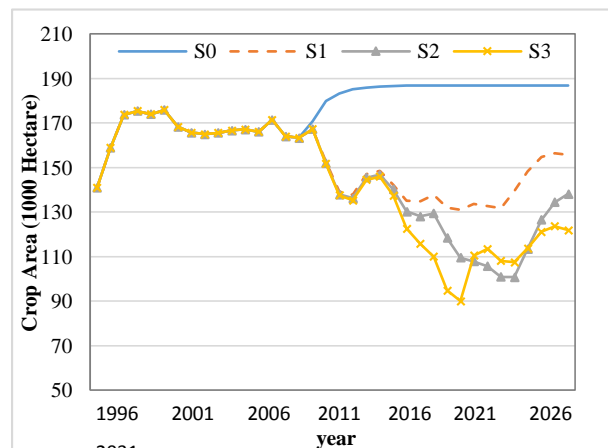
تأمین سطوح مختلف نیازهای زیست‌محیطی رودخانه و دریاچه نیازمند ایجاد تعادل بین سیستم اجتماعی-اقتصادی و طبیعی است. با تأمین آب مورد نیاز سیستم طبیعی، منابع در دسترس برای توسعه اقتصادی کاهش می‌یابد که این امر به‌طور ویژه بر سطح زیرکشت و توسعه بخش کشاورزی اثر خواهد گذاشت. در گزینه‌های سیاستی اعمال شده، هرچه سطح احیای دریاچه بختگان و رودخانه کر به شرایط طبیعی نزدیک‌تر انتخاب شود، با توجه به اولویت تخصیص منابع آب، آب موجود برای توسعه کشاورزی کاهش می‌یابد. به تبع، با کاهش منابع آب قابل برداشت، سطح زیر کشت کشاورزی نیز کاهش می‌یابد. این کاهش سطح زیر کشت کشاورزی از طرفی تأثیر مثبت بر ذخایر آب حوضه داشته، از طرفی دیگر باعث لطمه به بخش اقتصادی حوضه می‌شود. همان‌طور که در شکل‌های ۱۵-الف و ۱۵-ب مشاهده می‌شود، گزینه‌ی S3 که به‌طور کامل نیازهای زیست‌محیطی رودخانه و دریاچه را برآورده می‌کند با بیشترین کاهش در سطح زیر کشت همراه است.

۳-۳- مقایسه تأثیر گزینه‌های سیاستی بر اشتغال کشاورزی

رشد جمعیت، افزایش تقاضا برای اشتغال و خدمات را به دنبال خواهد داشت و توسعه منطقه‌ای باید بتواند به‌خوبی جواب‌گوی این موضوع باشد. با تأمین نیازهای زیست‌محیطی رودخانه کر و دریاچه بختگان، از سطح زیر کشت کشاورزی کاسته می‌شود. این کاهش سطح زیر کشت، کاهش اشتغال و افزایش بیکاری را به دنبال دارد. گزینه‌های S1 و S2 به ترتیب باعث بیشترین کاهش اشتغال در بخش



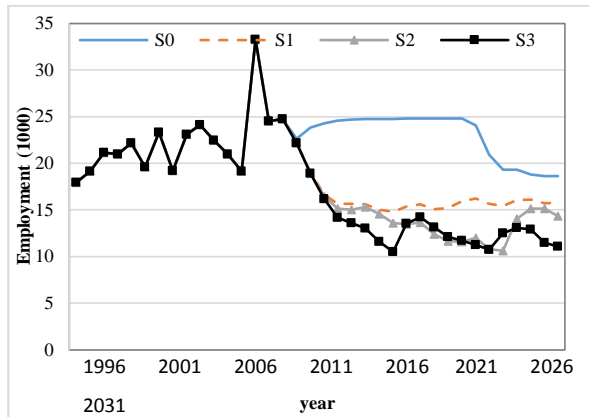
ب- در شرایط خشکسالی
b) Dry period



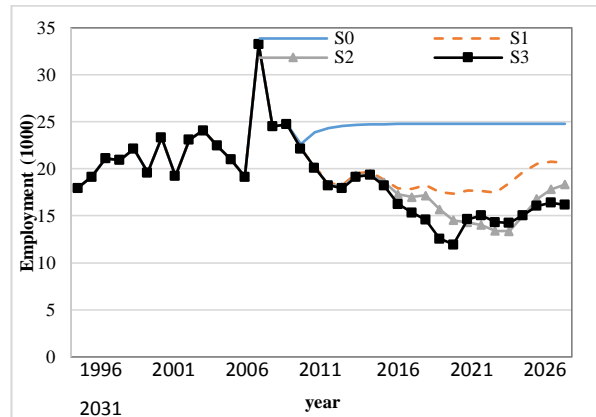
الف- در شرایط نرمال
a) Normal period

Fig. 15- Comparison of crop area under different options

شکل ۱۵- مقایسه سطح زیر کشت کشاورزی در گزینه‌های مختلف

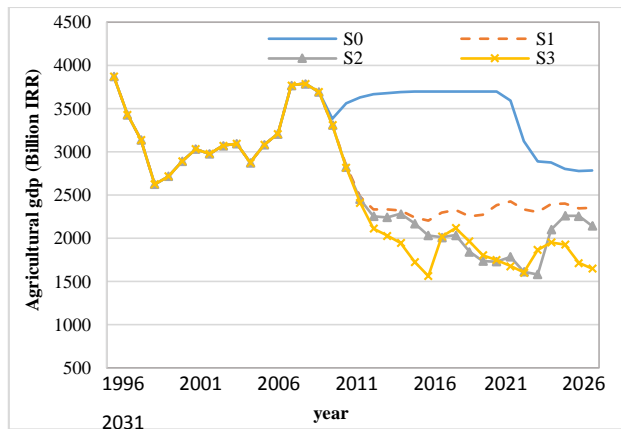


ب- در شرایط خشکسالی
b) Dry period

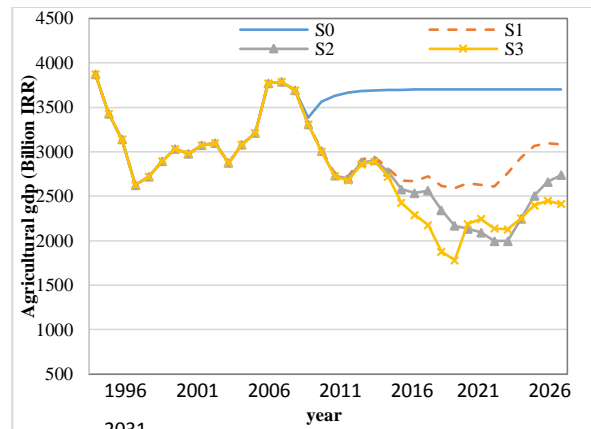


الف- در شرایط نرمال
a) Normal period

Fig. 16- Comparison of agricultural employment under different options
شکل ۱۶- مقایسه وضعیت اشتغال کشاورزی در گزینه‌های مختلف



ب- در شرایط خشکسالی
b) Dry period



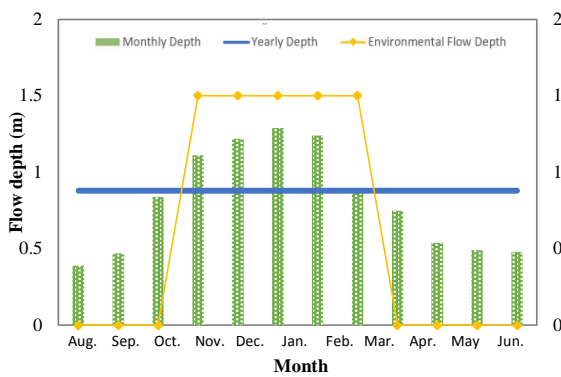
الف- در شرایط نرمال
a) Normal period

Fig. 17- Comparison of agricultural revenue under different options
شکل ۱۷- مقایسه درآمد بخش کشاورزی در گزینه‌های مختلف

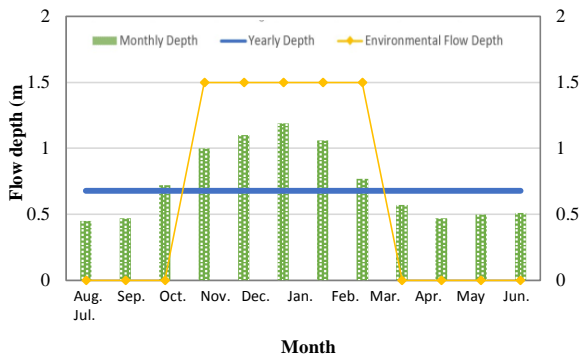
مقطع میانی و در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت جریان رودخانه پاسخگوی نیازهای زیست‌محیطی آبریان است.

۲) جریان زیست‌محیطی رودخانه قبل از احداث سدها برای برآورد نیاز زیست‌محیطی رودخانه از هیدروگراف سال‌های قبل از اقدامات سازه‌ای (۱۳۸۶) استفاده شد. مدل‌سازی هیدرولیکی نشان داد که رژیم جریان موجود قبل از سال ۱۳۸۶ به‌خوبی تأمین‌کننده نیازهای زیست‌محیطی رودخانه در همه طول رودخانه و در فصل‌های موردنیاز برای آبریان بود. هیدروگراف ماهانه جریان رودخانه کر در زمان قبل از سال ۱۳۸۶ به‌عنوان شرایط پایه یا طبیعی در نظر گرفته شد و مبنای مدل‌سازی قرار گرفت.

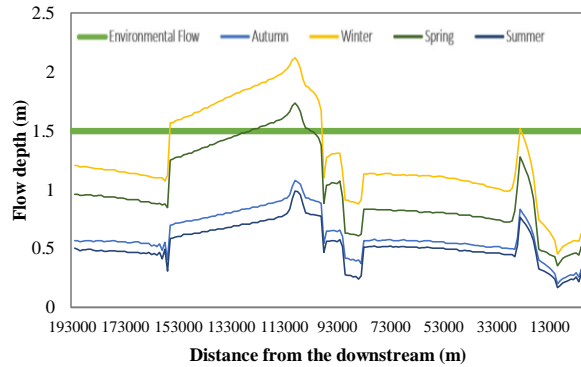
همان‌طور که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود رهاسازی جریان در ابتدای رودخانه (سد دروزن) کافی نبوده و در هیچ زمانی از سال نیاز زیست‌محیطی رودخانه را برآورده نمی‌کند. در میانه رودخانه پس از پیوستن شاخه‌های فرعی، عمق جریان رودخانه از منظر نیاز اکولوژیکی آبریان در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت برآورده می‌شود. در ادامه رودخانه پس از برداشت‌های انجام شده جریان بسیار محدود شده و نیازهای زیست‌محیطی رودخانه فراهم نمی‌شود. با توجه به تغییرات فصلی جریان (شکل ۱۸-الف) می‌توان گفت که تنها در بخشی از فصل بهار نیازهای اکولوژیکی گونه‌های آبری فراهم شده است. شکل‌های ۱۸-ب، ۱۸-پ و ۱۸-ت به ترتیب عمق جریان را در مقطع ابتدایی (از سد دروزن تا قبل از پیوستن رود سیوند)، میانی (بازه میانی با رود سیوند) و انتهایی (ورودی به دریاچه بختگان) نشان می‌دهند. تنها در



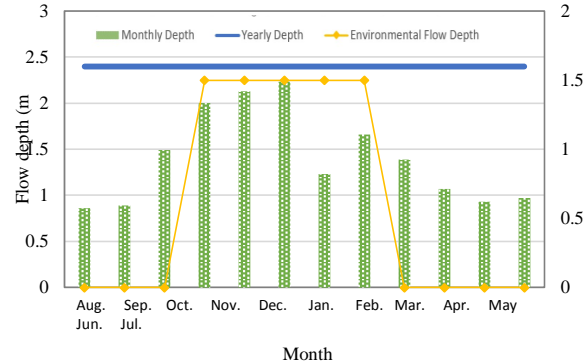
ب- جریان زیست محیطی در بازه ابتدایی رودخانه
(b)- Environmental flow at the beginning of the river



ت- جریان زیست محیطی در بازه انتهایی رودخانه
(d)- Environmental flow at the end of the river



الف- تغییرات فصلی عمق جریان در طول رود کر
(a)- Flow depth seasonal variations along the river



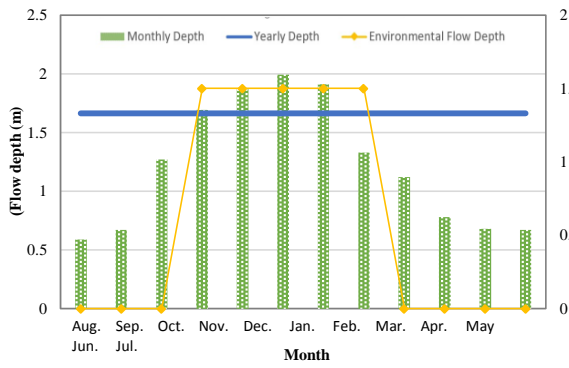
پ- جریان زیست محیطی در بازه میانی رودخانه
(c)- Environmental flow at the middle of the river

Fig. 18- Seasonal variations of river flow depth comparing with the ecological need in different sections after Mollasadra and Sivand dams in 2007

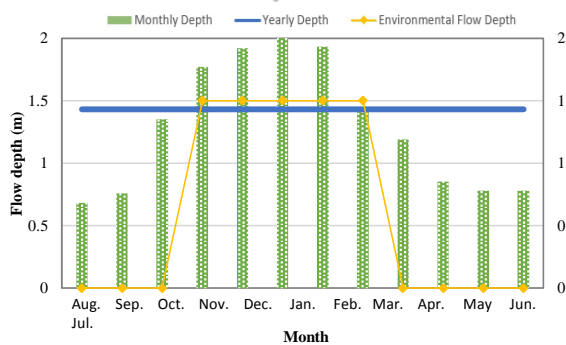
شکل ۱۸- تغییرات فصلی عمق جریان رودخانه کر در مقایسه با نیاز آبی اکولوژیکی در بازه‌های مختلف بعد از احداث سد های ملاصدرا و سیوند در سال ۱۳۸۶

۳) تأمین ۹۰ درصد از نیاز زیست محیطی در این حالت مدل سازی هیدرولیکی با فرض اعمال مدیریت عرضه و تقاضا با در نظر گیری نیازهای زیست محیطی انجام شد. پس از بررسی وضعیت سدها بر هیدرولیک جریان و مشخص شدن شرایط زیست محیطی رودخانه قبل و بعد از سد سازی، می توان با برنامه ریزی جدید در تخصیص آب به بخش های مختلف و همچنین برنامه ریزی مجدد در بهره برداری از سدها اقدام به بازگردانی شرایط پایه یا طبیعی در نظر گرفته شده کرد. میزان احیای اکوسیستم رودخانه و دریاچه بختگان در این حالت ۹۰ درصد احیا در نظر گرفته شد و مدل هیدرولیکی اجرا شد. رهاسازی جریان در ابتدای رودخانه (سد درودزن) در حالت ۹۰ درصد احیا، جریان زیست محیطی مورد نیاز آبیان را در ماه های بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و تأمین می کند.

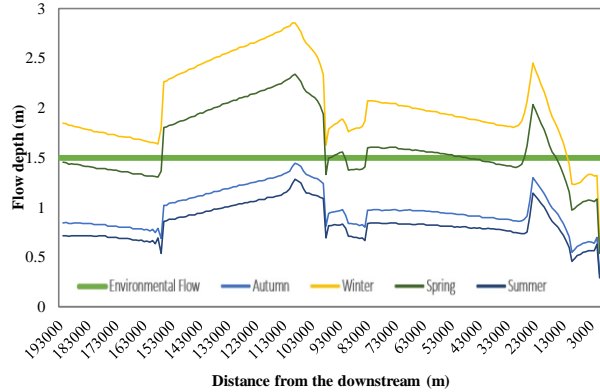
همان طور که در شکل ۱۹ مشاهده می شود رهاسازی جریان در ابتدای رودخانه (سد درودزن) در زمان نبود سد های ملاصدرا و سیوند توانست جریان زیست محیطی مورد نیاز آبیان را در ماه های آذر، دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد تأمین کند. در میانه رودخانه پس از پیوستن شاخه های زهکش و رودخانه سیوند عمق جریان رودخانه افزایش یافته، نیاز اکولوژیکی آبیان در همه ماه های مورد نیاز تولید مثل ماهیان برآورده می شود. در ادامه رودخانه پس از برداشت های انجام شده، جریان دچار مقداری کاهش می شود اما به دلیل وجود جریان پایه مناسب در رودخانه عمق جریان بیش از نیاز اکولوژیکی باقی می ماند و دبی قابل توجهی از آب به دریاچه بختگان می ریزد. با توجه به تغییرات فصلی جریان (شکل ۱۹-الف) می توان گفت که نیازهای اکولوژیکی گونه های آبی در هر دو فصل زمستان و بهار در مقطع ابتدایی، میانی و انتهایی فراهم شد (شکل ۱۹-ب، شکل ۱۹-پ و شکل ۱۹-ت). در آن دوران جریان موجود در همه رودخانه پاسخگوی نیازهای زیست محیطی آبیان بود.



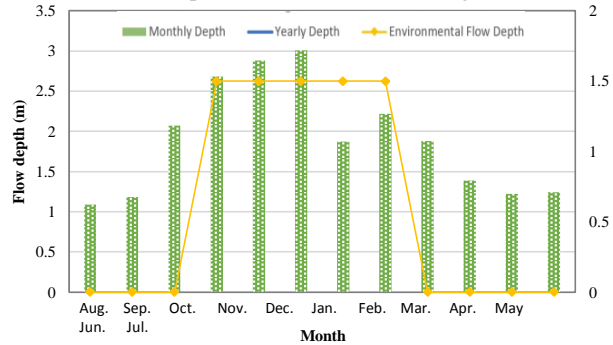
ب- جریان زیست محیطی در بازه ابتدای رودخانه
(b)- Environmental flow at the beginning of the river



ت- جریان زیست محیطی در بازه انتهایی رودخانه
(d)- Environmental flow at the end of the river



الف- تغییرات فصلی عمق جریان در طول رود کر
(a)- Flow Depth Seasonal variations along the river



پ- جریان زیست محیطی در بازه میانی رودخانه
(c)- Environmental flow at the middle of the river

Fig. 19- Seasonal variation of river flow depth comparing with the ecological need in different sections before Mollasadra and Sivand dams in 2007

شکل ۱۹- تغییرات فصلی عمق جریان رودخانه کر در مقایسه با نیاز آبی اکولوژیکی در بازه‌های مختلف قبل از احداث سد های ملاصدرا و سیوند در سال ۱۳۸۶

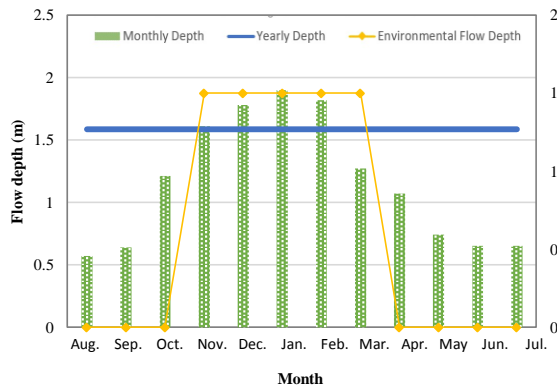
میزان ۵۰ درصد احیا نسبت به شرایط قبل از سدسازی برای ارزیابی هیدرولیکی رودخانه استفاده شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود رهاسازی جریان در ابتدای رودخانه (سد دروزن) در حالت ۵۰ درصد احیا، جریان زیست محیطی مورد نیاز آبریان را در ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین، و اردیبهشت تأمین نمی‌کند. در میانه رودخانه پس از پیوستن شاخه‌های زهکش و رودخانه سیوند عمق جریان رودخانه افزایش یافته، نیاز اکولوژیکی آبریان در همه ماه‌های مورد نیاز تولید مثل ماهیان برآورده می‌شود. در ادامه، جریان رودخانه پس از برداشتهای انجام شده جریان دچار مقداری کاهش می‌شود اما به دلیل وجود جریان پایه مناسب در رودخانه عمق جریان بیش از نیاز اکولوژیکی باقی می‌ماند و دبی قابل توجهی از آب به دریاچه بختگان می‌ریزد. با توجه به تغییرات فصلی جریان (شکل ۲۱-الف) می‌توان گفت که نیازهای اکولوژیکی گونه‌های آبری در هر دو فصل زمستان و بهار در میانه رودخانه و تنها در فصل زمستان در انتهای رودخانه فراهم شد. شکل‌های ۲۱-ب، ۲۱-پ و ۲۱-ت به ترتیب عمق جریان را در مقطع

در میانه رودخانه پس از پیوستن شاخه‌های زهکش و رودخانه سیوند عمق جریان رودخانه افزایش یافته و نیاز اکولوژیکی آبریان در همه ماه‌های مورد نیاز تولید مثل ماهیان برآورده می‌شود. با توجه به تغییرات فصلی جریان (شکل ۲۰-الف) می‌توان گفت که نیازهای اکولوژیکی گونه‌های آبری در هر دو فصل زمستان و بهار در مقطع ابتدایی، میانی و انتهایی فراهم شد (شکل‌های ۲۰-ب، ۲۰-پ و ۲۰-ت). این گزینه در بازه میانی و انتهایی رودخانه پاسخگوی نیازهای زیست محیطی آبریان است. بنابراین در زمان ۹۰ درصد احیا، وضعیت طبیعی جریان رودخانه، نیازهای زیست محیطی رودخانه و دریاچه را فراهم می‌کرد.

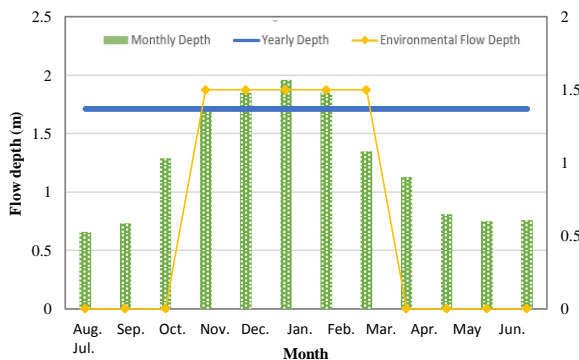
۴) تأمین ۵۰ درصد از نیاز زیست محیطی در این حالت، مدل سازی هیدرولیکی با فرض اعمال مدیریت عرضه و تقاضا با در نظر گیری نیازهای زیست محیطی انجام شد. میزان احیای اکوسیستم رودخانه و دریاچه بختگان در این حالت ۵۰ درصد احیا در نظر گرفته شد و مدل هیدرولیکی اجرا شد. هیدروگراف جریان با

کشاورزی، امکان تأمین نیازهای زیست‌محیطی رودخانه کر و دریاچه بختگان فراهم نخواهد شد. در شرایط سناریوی اقلیمی خشک و بدون اعمال اقدامات مدیریتی و زیست‌محیطی، مطابق با جدول ۳ مشاهده می‌شود که به دلیل بارگذاری زیاد بخش کشاورزی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی و در نتیجه کمبود آب رخ داده، حوضه با کاهش سطح زیر کشت ناشی از کم‌آبی و به دنبال آن کاهش میزان اشتغال و درآمد مواجه می‌شود.

این موضوع ناپایداری سیستم موجود و روند پیش رو را با توجه به شرایط اقلیمی و جمعیتی مورد انتظار نشان می‌دهد. از طرفی دیگر، اعمال سیاست‌های تخصیص آب در بخش آب زیرزمینی (۴۰ درصد تخصیص آب)، و هم‌چنین تأمین نیازهای زیست‌محیطی رودخانه کر و دریاچه بختگان در سطوح مختلف، علاوه بر منتج شدن به پایداری منابع آب در آینده، نیازهای زیست‌محیطی حوضه را نیز تأمین می‌کند.



ب- جریان زیست‌محیطی در بازه ابتدایی رودخانه
(b)- Environmental flow at the beginning of the river

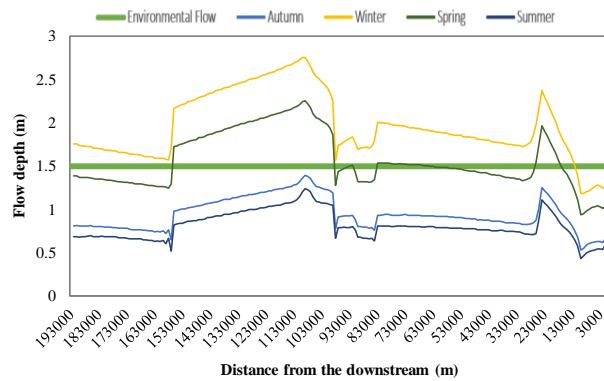


د- جریان زیست‌محیطی در بازه انتهایی رودخانه
(d)- Environmental flow at the end of the river

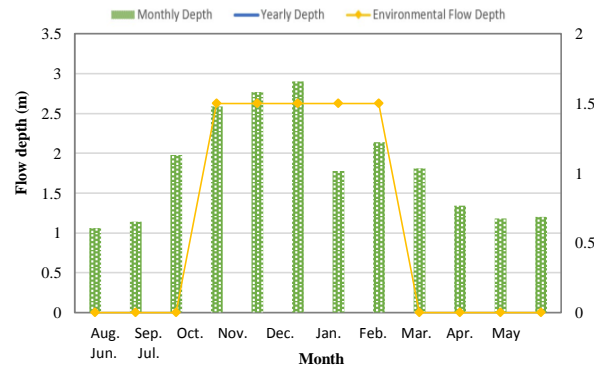
ابتدایی، میانی و انتهایی نشان می‌دهند. این گزینه در بازه میانی و انتهایی رودخانه پاسخگوی نیازهای زیست‌محیطی آبزیان است. بنابراین در زمان ۵۰ درصد احیا، وضعیت طبیعی جریان رودخانه نیازهای زیست‌محیطی رودخانه و دریاچه را فراهم می‌کند.

همان‌طور که مشاهده شد گزینه‌های سیاستی انتخابی که ترکیبی از سیاست‌های مختلف منابع آبی، زیست‌محیطی و اقتصادی است، اثرات مختلفی بر وضعیت سیستم و پایداری اقتصادی-اکولوژیکی داشتند. در جدول ۴ خلاصه سیاست‌های اعمال شده و اثرات آن‌ها در بخش زیست‌محیطی و کشاورزی به‌طور خلاصه آورده شده است.

با مقایسه‌ی تأثیر سناریوها و گزینه‌های سیاستی و مدیریتی اعمال شده بر آینده حوضه دریاچه بختگان می‌توان به این نتیجه رسید که در تمامی حالت‌ها، با ادامه روند توسعه منطقه‌ای بر مبنای اقتصاد



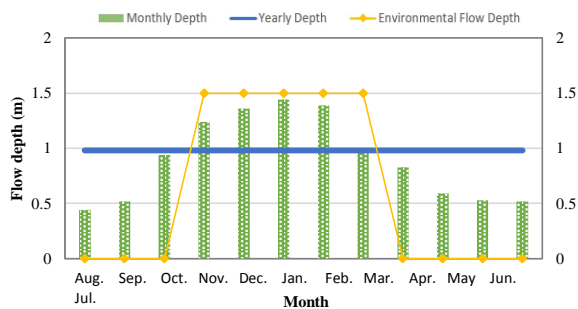
الف- تغییرات فصلی عمق جریان در طول رود کر
(a)- Flow Depth Seasonal variations along the Kor River



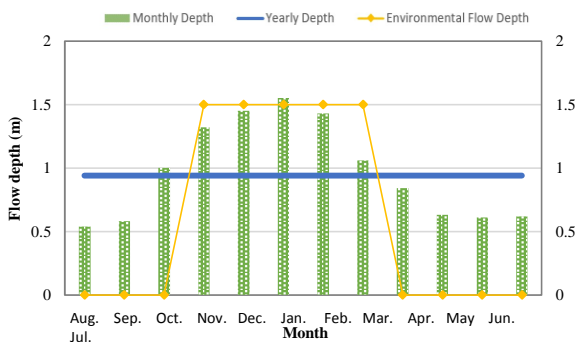
پ- جریان زیست‌محیطی در بازه میانی رودخانه
(c)- Environmental flow at the middle of the river

Fig. 20- Seasonal variation of river flow depth comparing with the ecological need in different sections assuming that 90% of the environmental flow requirement is met

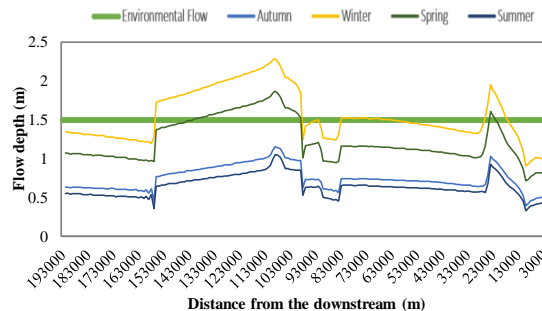
شکل ۲۰- تغییرات فصلی عمق جریان رودخانه کر در مقایسه با نیاز آبی اکولوژیکی در بازه‌های مختلف در شرایط تأمین ۹۰٪ نیاز زیست‌محیطی



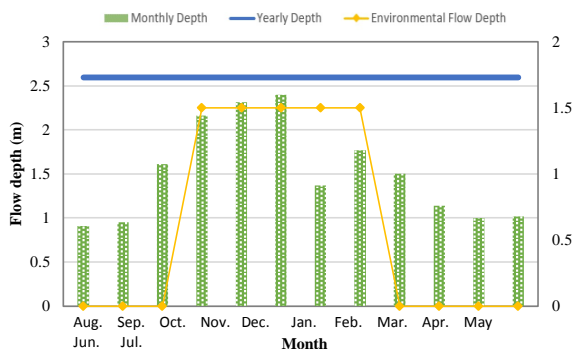
ب- جریان زیست محیطی در بازه ابتدایی رودخانه
(b)- Environmental flow at the beginning of the river



ت- جریان زیست محیطی در بازه انتهایی رودخانه
(d)- Environmental flow at the end of the river



الف- تغییرات فصلی عمق جریان در طول رود کر
(a)- Flow Depth Seasonal variations along the Kor River



پ- جریان زیست محیطی در بازه میانی رودخانه
(c)- Environmental flow at the middle of the river

Fig. 21- Seasonal variation of river flow depth comparing with the ecological need in different sections assuming that 50% of the environmental flow requirement is met

شکل ۲۱- تغییرات فصلی عمق جریان رودخانه کر در مقایسه با نیاز آبی اکولوژیکی در بازه‌های مختلف در شرایط تأمین ۵۰٪ نیاز زیست محیطی

Table 4- Levels of meeting environmental flow requirement for Kor River and Lake Bakhtegan and its impact on water resources and agricultural economy in the basin

جدول ۴- سطوح تأمین نیاز زیست محیطی رودخانه کر و دریاچه بختگان و تأثیر آن بر وضعیت منابع آب و اقتصاد کشاورزی حوضه

Basin revenue reduction (%)	Basin employment reduction (%)	Basin Agricultural Area reduction (%)	River Environmental Flow (m ³ /s)	*Lake fig crop production (tons)	*Number of flamingos migrants	* Lake Bakhtegan Water requirement (million m ³ /year)	Water Resources Condition	Scenario
0	0	0	0	2000	0	0	Unstable	Normal
4.0	4.9	24.8	0	2000	0	0	Unstable	Dry
2.7	3.3	16.7	7.5	6000	40000	333	Stable	Normal
5.9	7.2	36.4	7.5	6000	40000	333	Stable	Dry
4.2	5.1	26.1	13.5	15000	60000	560	Stable	Normal
6.8	8.3	42.0	13.5	15000	60000	560	Stable	Dry
5.6	6.9	34.8	15	18000	85000	620	Stable	Normal
9.0	10.9	55.4	15	18000	85000	620	Stable	Dry

*- based on the results by Bagheri (2016)

سطح زیر کشت تحت گزینه C1-S1 به میزان ۲۴/۸ درصد، و بیشترین کاهش در سطح زیر کشت تحت گزینه C2-S3 به میزان ۵۵/۴ درصد نسبت به وضع موجود بوده است. بنابراین با در نظر داشتن این پیامدها

پایداری منابع آب و تأمین نیاز زیست محیطی نیازمند تخصیص آب کمتر به بخش کشاورزی می‌باشد که کاهش سطح زیر کشت، کاهش اشتغال و کاهش درآمد را به همراه دارد. کمترین میزان کاهش در

در صورت ادامه روند پیش رو و در صورت بروز خشک‌سالی بخش کشاورزی دچار کاهش ۲۵ درصدی از نظر سطح زیر کشت، اشتغال و درآمد خواهد شد. چراکه بدون اعمال محدودیت بر مصرف منابع آب و همچنین برداشت زیاد این بخش، منابع آبی رو به زوال رفته و این کمبود آب اثر خود را بر بخش کشاورزی خواهد گذاشت. به‌منظور تأمین کامل نیاز زیست‌محیطی رودخانه کر و دریاچه بختگان و پایداری اکوسیستم و کارکردهای آن، حجم سالانه ۶۲۰ میلیون مترمکعب آب نیاز است. تأمین این میزان از جریان‌های زیست‌محیطی و در کنار آن حفظ منابع آبی حوضه نیازمند کاهش ۳۵ درصدی در بخش کشاورزی در شرایط نرمال و ۵۵ درصد در شرایط خشک‌سالی خواهد بود.

تغییرات جریان رودخانه کر و آب ورودی به دریاچه بختگان قبل و بعد از سال ۱۳۸۶ (سال احداث سدهای ملاصدرا و سیوند) در کنار تأثیر پدیده خشک‌سالی رخ داده در سال ۱۳۸۶-۸۷، به‌خوبی اثرات سدسازی بدون در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی را نشان می‌دهد؛ بنابراین برنامه‌ریزی مجدد سدها می‌تواند به احیای این اکوسیستم‌ها منجر شود. تأمین سطوح مختلف نیازهای زیست‌محیطی رودخانه و دریاچه نیازمند ایجاد تعادل بین سیستم انسانی و طبیعی است. همان‌طور که مشاهده شد با تأمین آب مورد نیاز سیستم طبیعی، از منابع در دسترس برای توسعه اقتصادی کاهش یافت که این امر به‌طور ویژه بر سطح کشت و توسعه بخش کشاورزی اثر دارد. تأمین جریان زیست‌محیطی با الگوی توسعه موجود در حوضه با کاهش توسعه در بخش کشاورزی و در نتیجه کم شدن درآمد حوضه همراه شد.

می‌باید به جبران آن‌ها با اقدامات دیگر و توسعه در بخش‌های صنعتی و شرب و همچنین کارکردهای زیست‌محیطی پرداخت.

جدول ۵ ویژگی چهار سطح از تأمین جریان زیست‌محیطی را در طول رودخانه و جدول ۶ ویژگی چهار سطح از تأمین جریان زیست‌محیطی را در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. انتخاب هر یک از سطوح احیای رودخانه یا دریاچه بختگان نیاز به اقدامات مدیریتی جهت تأمین نیازهای زیست‌محیطی دارد. این اقدامات می‌توانند با مدیریت تقاضا و ایجاد تغییر در الگوی مصرف صورت گیرند، یا با تأمین جریان مازاد از طریق بهره‌برداری مجدد از ذخایر آب محقق شوند.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به ارائه یک روش‌شناسی جامع بالا به پایین برای ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه کر پرداخت. در این روش‌شناسی با بهره‌گیری از رویکرد سیستمیک و پویایی سامانه‌ها، علاوه بر تعیین نیاز زیست‌محیطی آبزیان در این رودخانه، تأثیرات تغییرات اجتماعی-اقتصادی و سدسازی و سناریوهای ممکن بر رژیم جریان مورد نیاز، تحت گزینه‌های سیاستی و سناریوهای اقلیمی مختلف، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج مدل یکپارچه مدیریت منابع آب حوضه رود کر نشان داد که طراحی سیستمیک انجام شده علاوه بر مدل‌سازی دینامیک‌های حاکم بر سیستم منابع آب منطقه قادر است امکان ارزیابی سناریوها و سیاست‌های مختلف را فراهم سازد.

Table 5- Provision of various levels of environmental flow along the river

جدول ۵- ارزیابی تأمین سطوح مختلف جریان زیست‌محیطی در طول رودخانه

End Reach	Middle Reach	Beginning Reach	Environmental Flow Scenarios
	*		Status Quo
*	*	*	100% of Environmental Need
*	*	*	90% of Environmental Need
*	*		50% of Environmental Need

Table 6- Temporal Aspect in Provision of various levels of environmental flow in the river

جدول ۶- ارزیابی تأمین سطوح مختلف جریان زیست‌محیطی در رودخانه در ماه‌های مختلف سال

Mar.	Feb.	Jan.	Dec.	Nov.	Oct.	Sep.	Aug.	Jul	Jun.	May	Apr.	Environmental Flow Scenarios
										*	*	Status Quo
*	*	*	*						*	*	*	100% of Environmental Need
*	*									*	*	90% of Environmental Need
*	*										*	50% of Environmental Need

- Jamab Consulting Engineering Company (2013b) Water master plan of Maharloo, Bakhtegan, Sirjan-Abarghoo, Loot Kavir, Daranjir-Saghand, Hamoon Jazmourian Basin, Package 1: Potentials and the status quo of the water resources in 2006. Vol 5: Groundwater quality and quantity (In Persian)
- Griggs D, Stafford-Smith M, Gaffney O, Rockstrom J, Ohman MC, Shyamsundar P, Noble I (2013) Sustainable development goals for people and planet. *Nature* 495(7441):305-307 (www.nature.com/nature/journal/v495/n7441/abs/495305a.html#supplementary-information)
- Hirji R, Davis R (2009) Environmental flows in water resources policies, plans, and projects. Water Resources, World Bank Publications (doi.org/10.1596/978-0-8213-7940-0)
- King JM, Tharme RE (1993) Assessment of the instream flow incremental methodology, and initial development of alternative instream flow methodologies for South Africa. Water Research Commission, Cape Town, South Africa
- King JM, Tharme RE (2008) Environmental flow assessments for rivers: manual for the building block methodology. Water Research Commission, Cape Town, South Africa
- King JM, Tharme RE, De Villiers MS, Malan CL (2000) Environmental flow assessments for rivers: manual for the building block methodology. Water Research Commission Pretoria, South Africa
- Loar JM, Sale MJ, Cada GF (1986) Instream needs to protect fishery resources. *Water Forum: World Water Issues in Evolution* 2:2098-2105
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and human well-being. Vol. 5, Island Press Washington, DC
- Overton IC, Smith DM, Dalton J, Barchiesi S, Acreman MC, Stromberg JC, Kirby JM (2014) Implementing environmental flows in integrated water resources management and the ecosystem approach. *Hydrological Sciences Journal* 59(3-4):860-877
- Pazooki J, Masoumian M (2012) Synopsis of the parasites in Iranian freshwater fishes. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 11(3):570-589
- Pazooki J, Masoumian M, Yahyazadeh M, Abbasi J (2010) Metazoan parasites from freshwater fishes of northwest Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology* 9:25-33
- Poff NL, Matthews JH (2013) Environmental flows in the Anthropocene: past progress and future prospects. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5(6):667-675
- پیشنهاد می‌شود به انتخاب جایگزینی برای اقتصاد مبتنی بر کشاورزی و جبران کمبودهای ایجاد شده از طریق انتقال از بخش کشاورزی به صنعت فکر شود. بخش صنعت ضمن مصرف بسیار کمتر آب نسبت به بخش کشاورزی می‌تواند جانشین مناسبی برای کشاورزی در منطقه باشد.
- ۵- مراجع**
- Acreman MC, Dunbar MJ (2004) Defining environmental river flow requirements – a review. *Hydrology and Earth System Sciences* 8(5):861-876 (doi.org/10.5194/hess-8-861-2004)
- Acreman MC, Farquharson FAK, McCartney MP, Sullivan C, Campbell K, Hodgson N, Knott D (2000) Managed flood releases from reservoirs: issues and guidance. Report to DFID and the World Commission on Dams, Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK, 86p
- Acreman MC, Overton IC, King J, Wood PJ, Cowx IG, Dunbar MJ, Kendy E, Young WJ (2014) The changing role of ecohydrological science in guiding environmental flows. *Hydrological Sciences Journal* 59(3-4):1-18 (doi.org/10.1080/02626667.2014.886019)
- Arthington AH, Zalucki JM (1998) Comparative evaluation of environmental flow assessment techniques: review of methods. Land and Water Resources Research and Development Corporation, Canberra, Australia, 149p
- Bagheri MH (2016) Setting objectives for the Bakhtegan Lake restoration and estimating of the corresponding environmental water requirement based on a holistic approach. Master Thesis in Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, (In Persian)
- Ebrahimi M, Taherianfard M (2010) Are the fish captured from Kor River, Fars (Iran), safe to eat?. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 13(1):94-98
- Farsab Sanat Consulting Engineering Company (2016) Updating water balance in Lakes Tashk-Bakhtegan and Maharloo Basin for year 2000-2001. Vol. 4, Water Chemical Quality (In Persian)
- Jamab Consulting Engineering Company (2013a) Water master plan of Maharloo, Bakhtegan, Sirjan-Abarghoo, Loot Kavir, Daranjir-Saghand, Hamoon Jazmourian Basin, Package 1: Potentials and the status quo of the water resources in 2006, Vol 9: Agricultural studies, Agricultural water consumption and needs, and water drainage in Maharloo-Bakhtegan Basin (In Persian)

- flow requirements of rivers. Water law review final report for policy development, for the Department of Water Affairs and Forestry. Pretoria, SA, 116p
- Tharme RE (2003) A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications* 19(5-6):397-441 (doi.org/10.1002/rra.736)
- World Commission on Dams (2000) Dams and development-a new framework for decision-making. The Report of the World Commission on Dams, Earthscan
- Richter BD, Baumgartner JV, Powell J, Braunij DP (1996) A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology* 10(4):1163-1174
- Stalnaker CB, Arnette JL (Editors) (1976) Methodologies for the determination of stream resource flow requirements: an assessment. U.S. Fish and Wildlife Services, Office of Biological Services Western Water Association. 199 pp.
- Taherianfard M, Ebrahimi M, Soodbakhsh S (2008) Bioaccumulation of mercury in fishes of Kor River. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 2(4):904-908
- Tharme RE (1996) Review of international methodologies for the quantification of the instream