تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸
Volume 15, No.4, Winter 2020 (IR-WRR)
۶۸-۹۱

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

علیرضا داوری[۱]، علی باقری[۲*] و جمال محمدولی سامانی[۳]

## چکیده

در دهه‌های اخیر، کمبود بی‌سابقه منابع آب، آلودگی و تخریب اکوسیستم‌ها در بسیاری از نقاط جهان، محققان و سیاست‌گذاران را وادار به تلاش بیشتر در راستای حفظ و احیای سلامت سامانه‌های آبی کرده تا به توازن میان بشر و طبیعت دست یابند. تلاش بشر برای بهره‌برداری از جریان‌های طبیعی پیامدهایی را برای عملکردها و تنوع زیستی سامانه‌های رودخانه‌ها به دنبال داشته است. تالاب بختگان و رودخانه کر در سال‌های اخیر به دلیل عدم تأمین نیاز آبی زیست‌محیطی موردنیاز، با مشکل مواجه بوده‌اند. هدف این مقاله، ارائه یک روش‌شناسی جامع بالا به پایین برای تخمین نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه کر می‌باشد که با بهره‌گیری از رویکرد سیستمیک و پویاشناسی سامانه‌ها، علاوه بر تعیین نیاز زیست‌محیطی آبزیان در این رودخانه، تأثیرات تغییرات اجتماعی-اقتصادی و گزینه‌های سیاستی ممکن بر رژیم جریان رودخانه، تحت سناریوهای اقلیمی مختلف، مورد بررسی قرار می‌گیرند. 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 می‌شود.

***کلمات کلیدی:*** نیاز جریان زیست‌محیطی، پویاشناسی سیستم‌ها، رودخانه کر، رویکرد جامع.

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

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

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

*A. Davari[1], A. Bagheri[2*], and J. Mohammad Vali Samani[3]*

## 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

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- مقدمه

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 به‌صورت "تقلیل‌گرایانه" و با هدف تأمین حداقل جریان برای چند گونه آبزی (معمولاً یک گونه ماهی با ارزش) در پایین‌دست 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 آبزی 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 رودخانه‌ای 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 این‌چنین 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 اکوسیستم را نیز در برمی‌گیرد. بعد از این‌که 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 پایین‌دست را نیز در برگرفت. 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 محققان 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:** باوجود این‌که روش‌های هیدرولوژیکی روابط بین رژیم جریان و مطلوبیت زیستگاه گونه زنده جانوری یا گیاهی رودخانه را مشخص می‌کردند، اما تنها روش‌های سنجه 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 سنجه‌های هیدرولیکی هستند که از مدل‌های مختلفی

برای ایجاد روابط بین رژیم جریان و کمیت 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). تابه‌حال بیش از ۲۰۰ روش (رویکرد) مختلف شبیه‌سازی زیستگاه توسعه داده‌شده است. برخی از آن‌ها تبدیل به مدل‌های کامل‌تر و پیچیده‌تر شده‌اند، مانند IFIM (Instream Flow Incemental Methology) که به طور وسیع مورداستفاده 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، ازجمله 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 جزءبه‌جزء 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 اجماعی 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 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، به‌خصوص 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 قرارگرفته‌اند.

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 آبزیان هدف در رودخانه، تاثیرات تغییرات اجتماعی–اقتصادی نیز بر رژیم جریان مورد نیاز و گزینه‌های ممکن به منظور تامین 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. گزینه های 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 برقابی و کشاورزی، از چندین دهه پیش برای احداث طرح‌های سدسازی مورد توجه بوده است. حوضه دریاچه بختگان با مساحت ۲۷۳۸۵ کیلومترمربع 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.

مهم‌ترین سدهای در حال بهره‌برداری حوضه آبریز بختگان شامل سدهای درودزن، سیوند و ملاصدرا (تنگ براق) است. در پایین‌دست سدهای مزبور توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و ورود جریان‌های برگشتی از اراضی کشاورزی و پساب صنایع باعث افت کیفیت آب در رودخانه و به‌تبع آن بروز اختلافات کمی و کیفی در پایین‌دست این سدها شده است. از طرفی، رودخانه کر در پایین‌دست 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 پایین‌دست 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 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 تخصیص‌یافته به پایین‌دست بخشی از اراضی کشاورزی رهاشده و کاهش کیفیت آب زیرزمینی (شکل ۴) به‌ویژه در سالیان اخیر در پایین‌دست حوضه، وضعیت معیشت و اقتصاد خانوارهای ساکن را شدیداً در معرض خطر قرار داده است به‌طوری‌که بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی، بیکاری در پایین‌دست 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 پایین‌دست برای حل بحران‌های اقتصادی روی‌داده اقدام به مهاجرت‌های انفرادی یا خانواری نموده‌اند که این مسأله باعث تشدید روند مهاجرت و کاهش جمعیت سکونتگاه‌های روستایی و حتی متروک شدن روستاهای پایین‌دست 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 حقابه زیست‌محیطی تالاب‌های طشک و بختگان، رودخانه کر و مناطق پایین‌دست حوضه را دچار مشکلات اساسی کرده است که آسیب‌ها و تخریب‌های جبران ناپذیری به محیطزیست، منابع طبیعی و زیست‌بوم حوضه وارد آورده است.

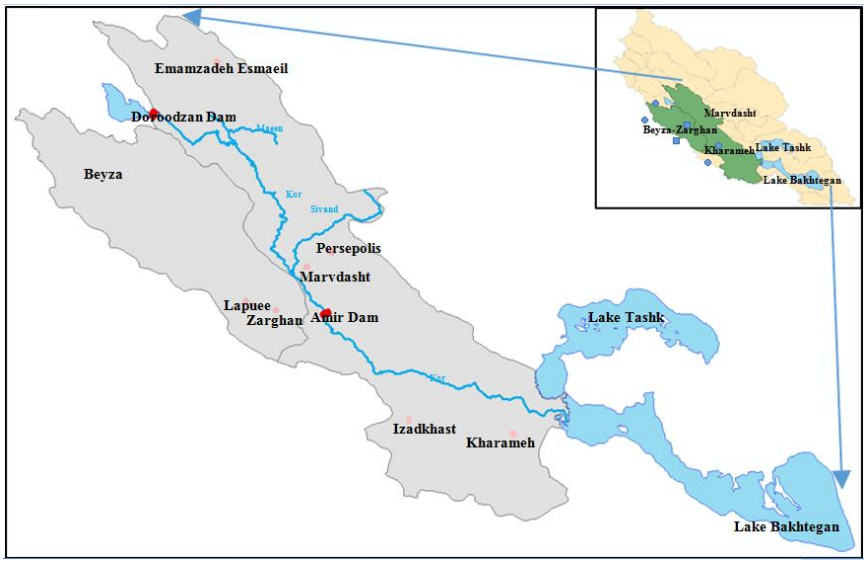



**Fig. 1- Kor River Basin**

**شکل ۱- حوضه رودخانه کر**

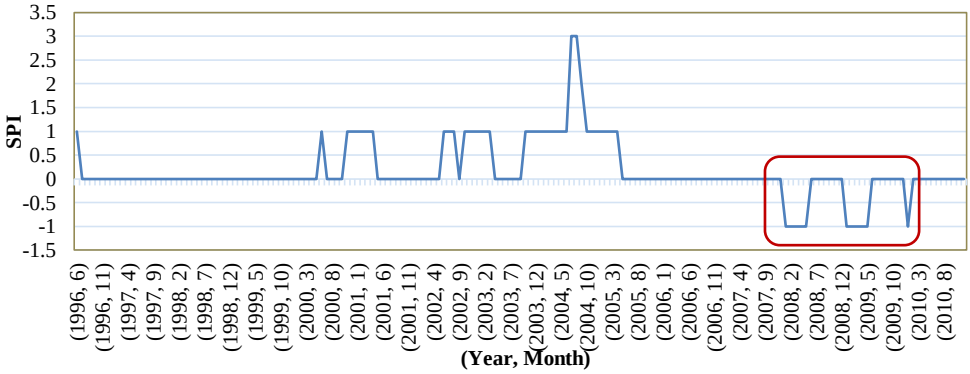



**Fig. 2- Basin Drought Index; 2008, the most severe drought incident in the last 20 years in the basin, which has had a significant impact on utilization of groundwater resources and land use change**

**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**

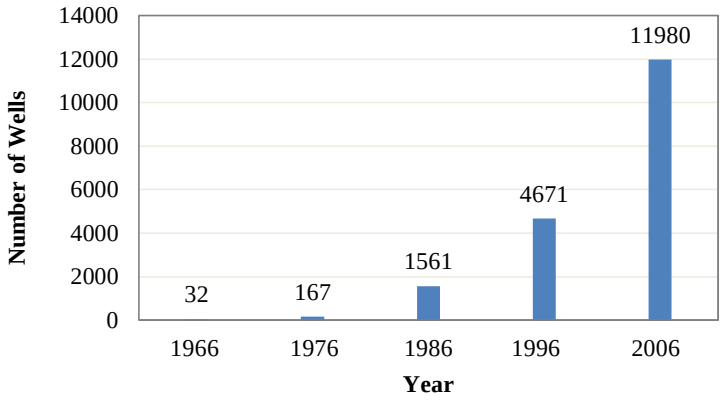



**Fig. 3- Increased exploitation of the basin groundwater resource (Fars Regional Water Authority)**

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

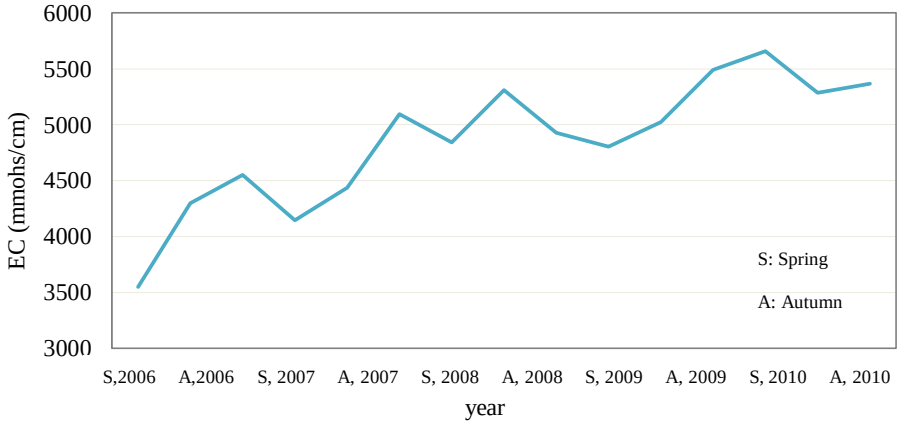



**Fig. 4- Increasing the salinity of groundwater (Farsab Sanat Consultant Eng. Co., 2016)**

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

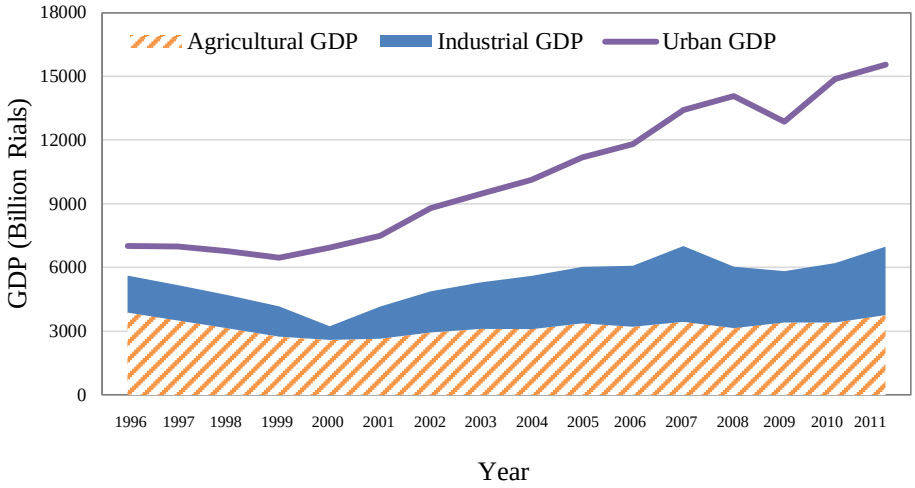



**Fig. 5- GDP in different sectors of the basin; Low share of agricultural sector in GDP despite the consumption of more than 95% of available water resources.**

**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.**

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 جبران 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 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

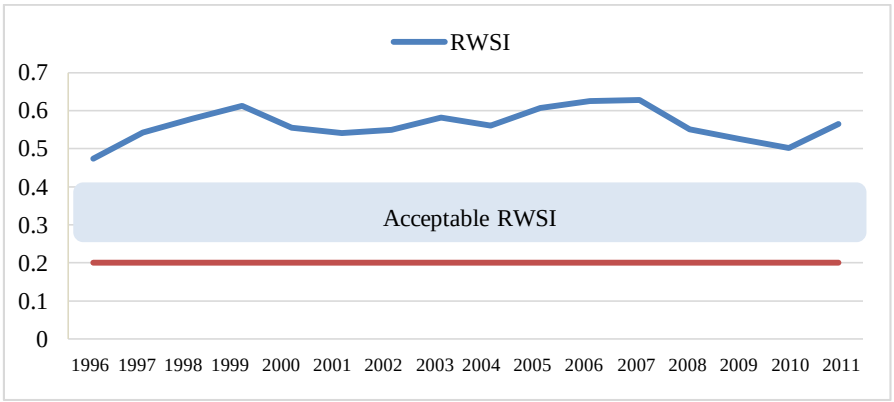



**Fig. 6- The relative water stress index (RWSI); the high value of the calculated index indicates that the volume of exploitation of the water resources in the basin is much higher than its renewable annual capacity**

**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**

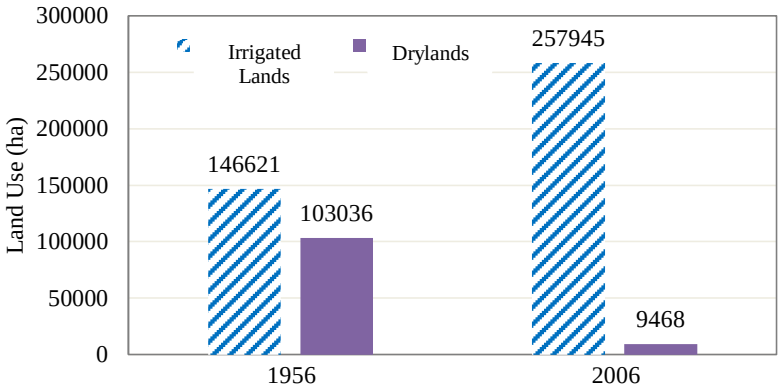



**Fig. 7- Land Use Change from drylands to irrigated lands**
**شکل ۷- تغییر کاربری اراضی کشاورزی از دیم به آبی**

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 گونه‌ای 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.

### ۲-۲- چارچوبی جامع برای ارزیابی جریان زیست محیطی

برای درک بهتر مراحل انجام تحقیق و همچنین ساختار مدل مفهومی آن، فلوچارتی 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.

### ۲-۳- 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. مؤلفه‌ی دوم به حفظ شرایط هیدرولیکی لازم در طول بازه‌های مختلف رودخانه به منظور تأمین عمق لازم برای زیستگاه گونه‌های شاخص از آبزیان مربوط می‌شود.

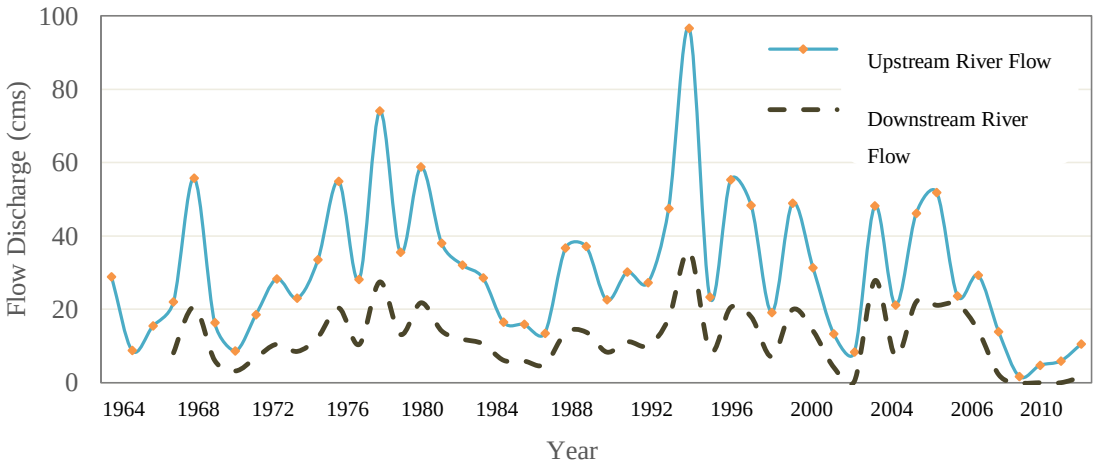



**Fig. 8- Reduction in the surface water flow of Kor River (Source: Fars Regional Water Authority)**
**شکل ۸- کاهش آورد سطحی رودخانه کر (مأخذ: سازمان آب منطقه‌ای فارس)**

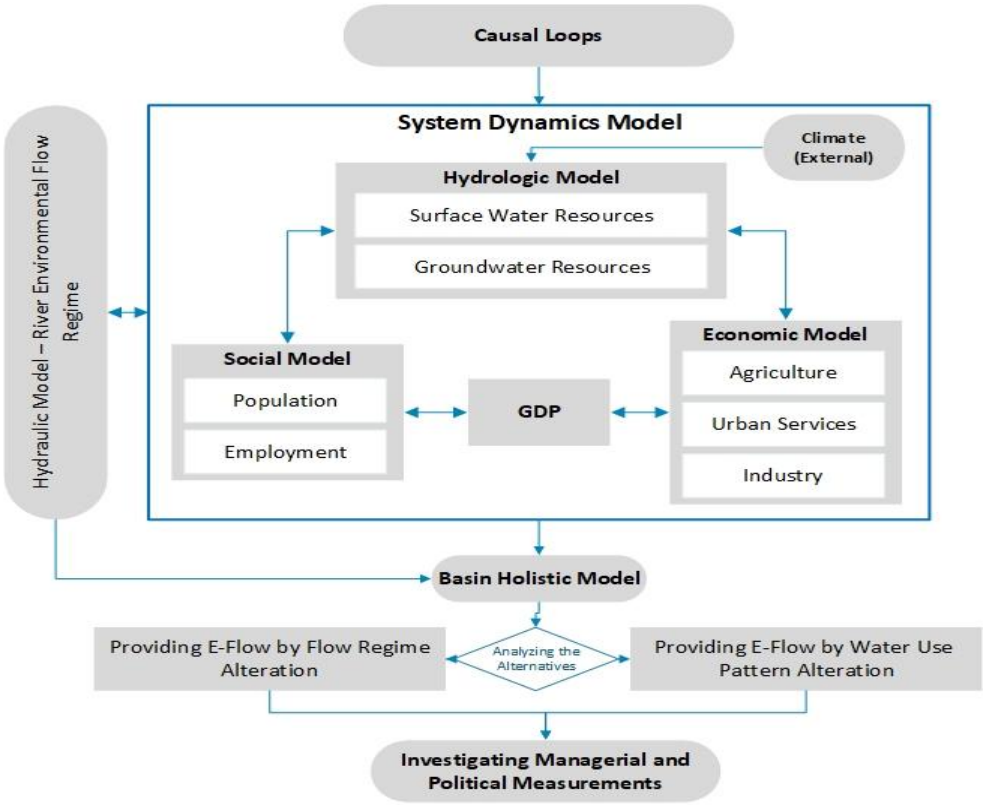



**Fig. 9- Research Methodology Flowchart**

**شکل ۹- فلوچارت روش‌شناسی تحقیق**

با توجه به مقیاس مکانی مطالعه، داده‌های موجود، گام زمانی ارزیابی و ظرفیت‌های فنی و مالی، روش جریان پایه آبزیان 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 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.

**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 | Depth of spawning (cm) | Black fish | | | | | | 150 | 150 | 150 | | | | |
| | | Barbus | | | | | 150 | 150 | 150 | | | | | |

از این رو، باید به دینامیک‌هایی توجه کرد که مصارف آب را در کنترل خود دارند. پس از شناخت دینامیک‌های حاکم بر سیستم، نیاز به آنالیز عددی و شبیه‌سازی پدیده‌های شناخته شده می‌باشد. بنابراین مدل پویای سیستم منابع آب و اقتصادی حوضه در محیط نرم‌افزار Simulink/Matlab توسعه داده شد.

برای مدل‌سازی زیرسیستم‌ها استفاده از مدل مفهومی به‌منظور ارزیابی سیستم حوضه رود کر–سیوند الزامی است. به بیانی دیگر مدل‌سازی مبتنی بر مکانیسم‌ها و ساختارهای تبیین شده صورت می‌پذیرد. مدل مفهومی این حوضه در شکل ۱۰ به نمایش درآمده است. این مدل شامل مؤلفه‌های سه بخش اجتماعی، اقتصادی و منابع آبی، اثرگذار در حل مسئله است. هرکدام از این مؤلفه‌ها به نحوی تأثیر متقابل با دیگر اجزای سیستم دارد.

مدل یکپارچه و پویای مدیریت حوضه رود کر دارای سه بخش و هفت زیر مدل می‌باشد (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 شبیه‌سازی می‌کند. اجزای این مدل به دلیل یکپارچگی و جامعیت آن‌ها و اثرات متقابل بر یکدیگر، کاملاً به یکدیگر وابسته و درهم‌تنیده می‌باشند 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).

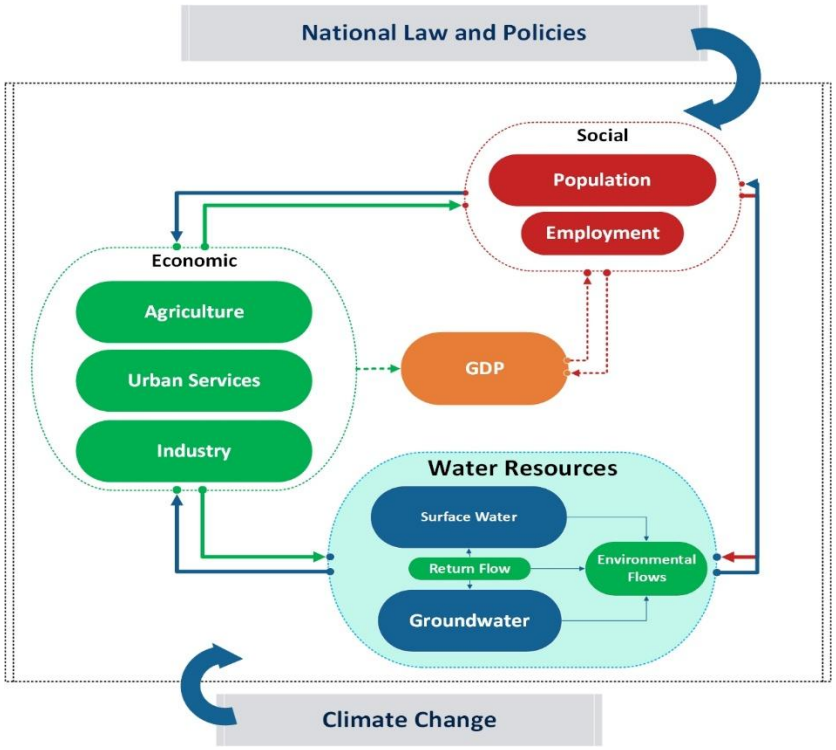



**Fig. 10- Kor-Sivand River Conceptual Model**

**شکل ۱۰- مدل مفهومی حوضه رود کر–سیوند**

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 تشریح کننده 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 به‌منظور 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) ازجمله 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. ضرایبی که برای تعیین میزان پساب‌های مصرفی به کاربرده می‌شود با توجه به شرایط متفاوت ازجمله 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 بهنگام سازی 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 حوضه رود کر-سیوند می‌شود که متغیر آن در مدل وارد شده است. جریان آب سطحی به‌صورت 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 زیرکشت آن به نسبت نیاز آبی سایر محصولات به نیاز آبی گیاه معادل ضرب در سطح زیرکشت 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 مرحله‌ی 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

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 برای سیستم موردنظر بپردازد. 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.

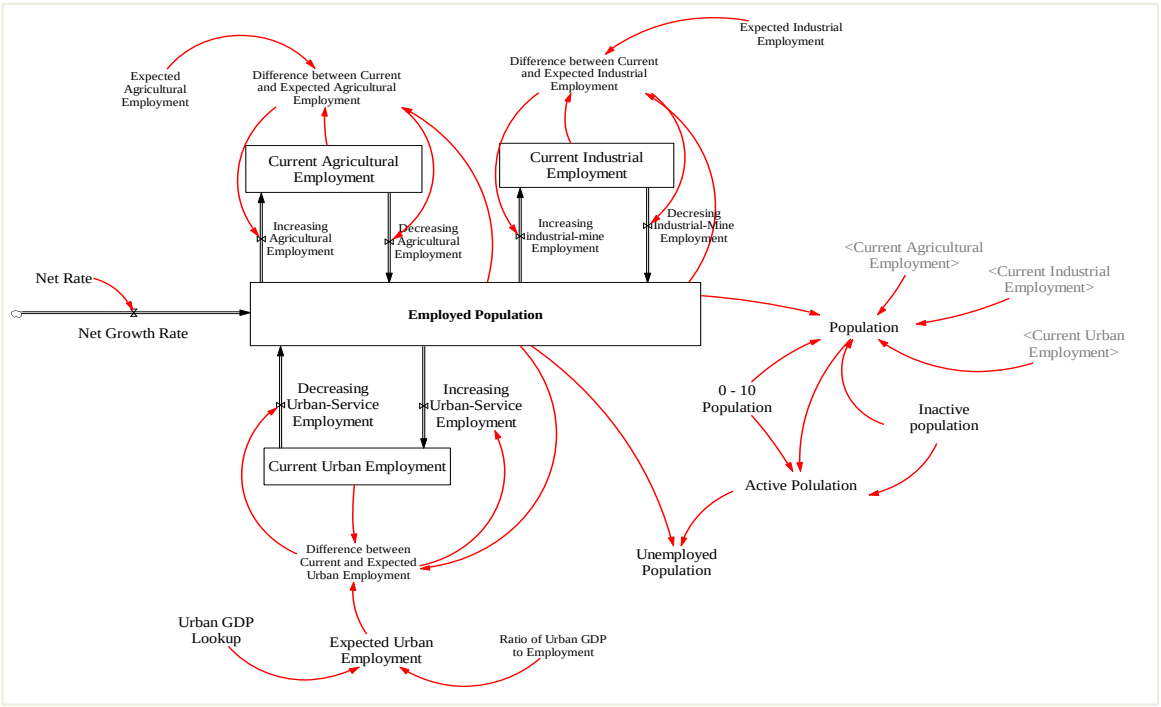



**Fig. 11(a)- The socio-economic sub-model**

**شکل ۱۱- الف- زیرمدل اجتماعی-اقتصادی**

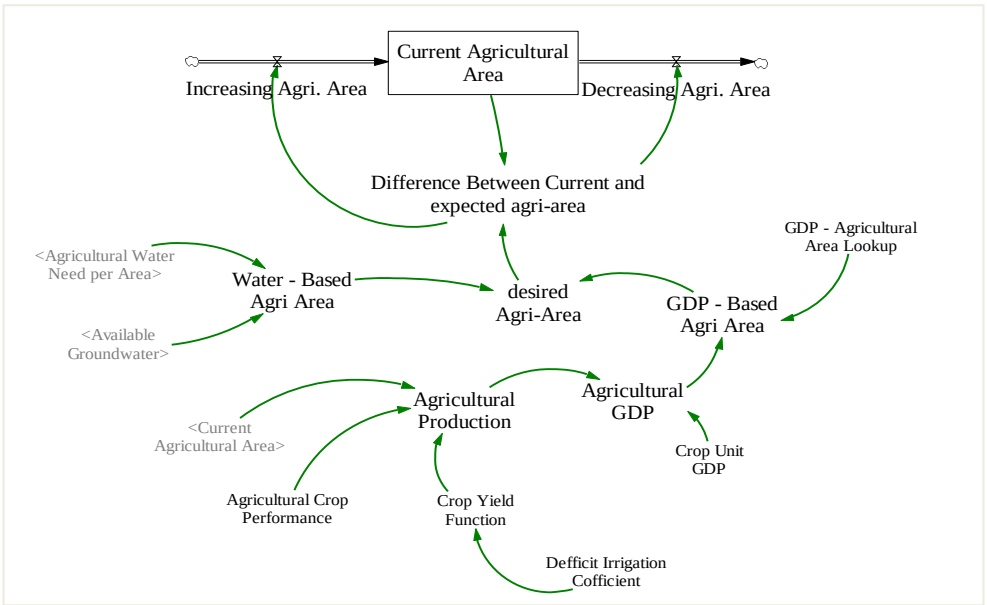



**Fig. 11(b)- The agriculture and cultivated area sub-model**

**شکل ۱۱- ب- زیرمدل کشاورزی، سطح زیرکشت**

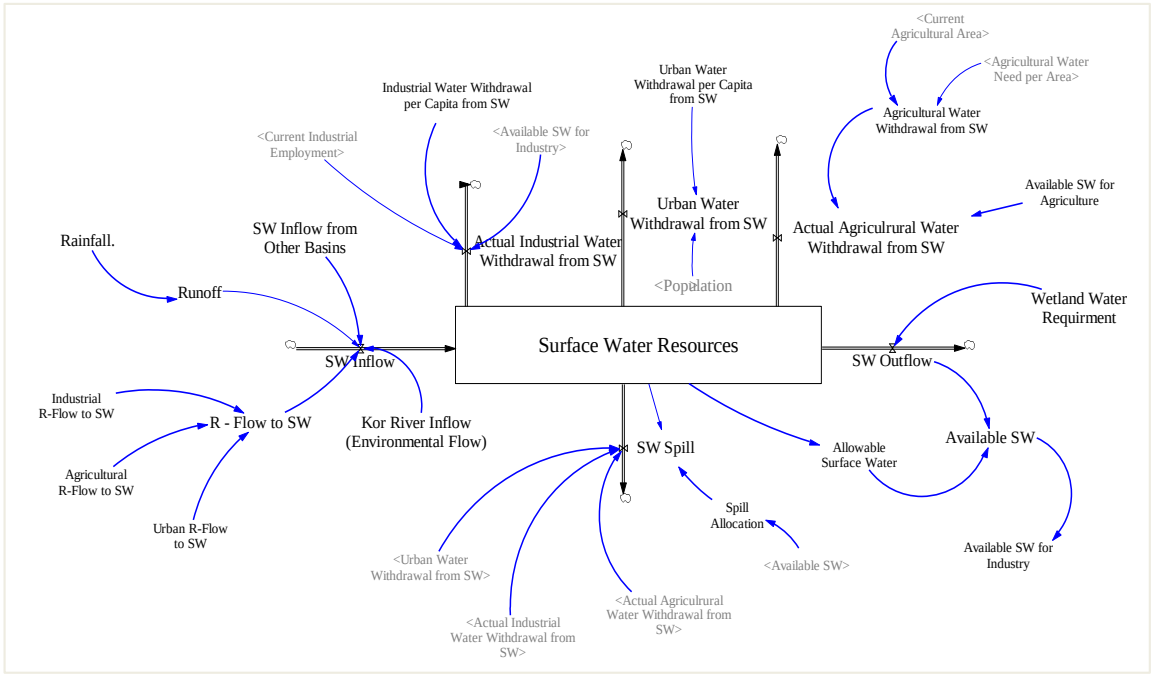



**Fig. 11(c)- The surface water sub-model**

**شکل ۱۱- پ- زیرمدل منابع آب سطحی**

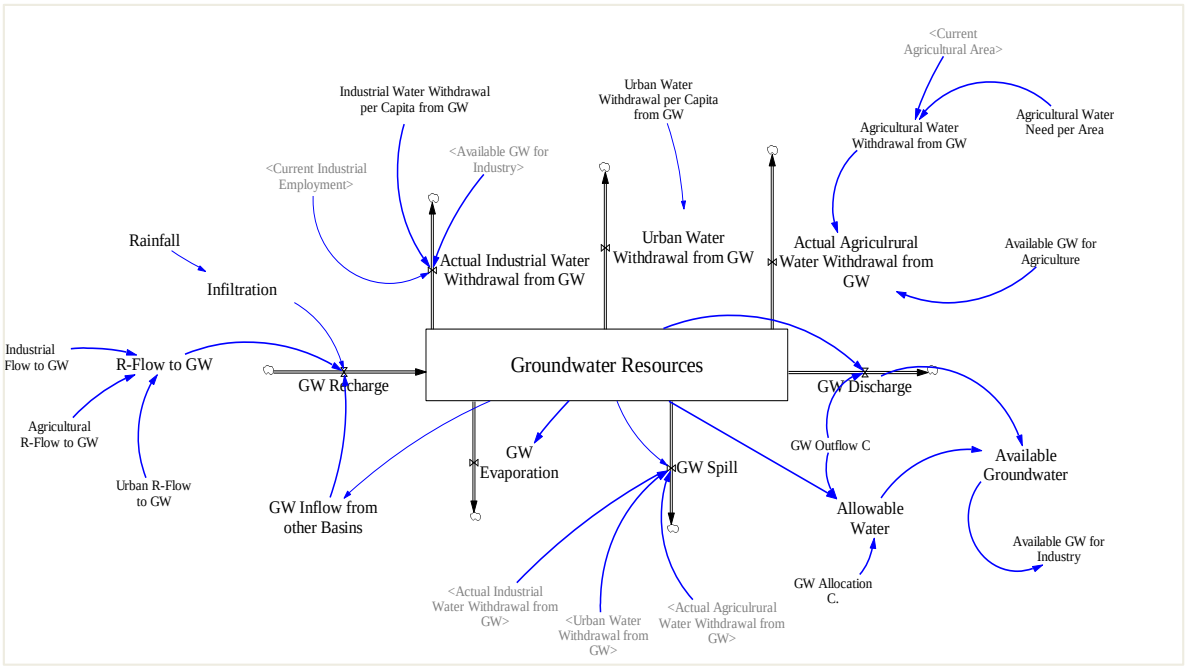



**Fig. 11(d)- The groundwater sub-model**

**شکل ۱۱- ت- زیرمدل منابع آب زیرزمینی**

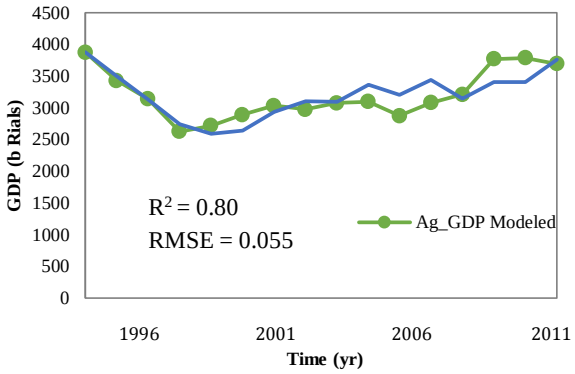
بررسی سیاست‌ها نحوه تغییرات مؤلفه‌های درون سیستم را بر اساس تغییر در یک یا چند مؤلفه درون‌زای سیستم تحلیل می‌کند و اثر یک سیاست را در زیر بخش مدنظر بر متغیرهای زیر بخش‌های دیگر نیز نمایش می‌دهد. در این تحقیق اقدام به تولید دو سناریوی محیطی تحـــت شرایط نرمال و خشک‌سالی شده است. شکل ۱۳ بیانگر هر سناریو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

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

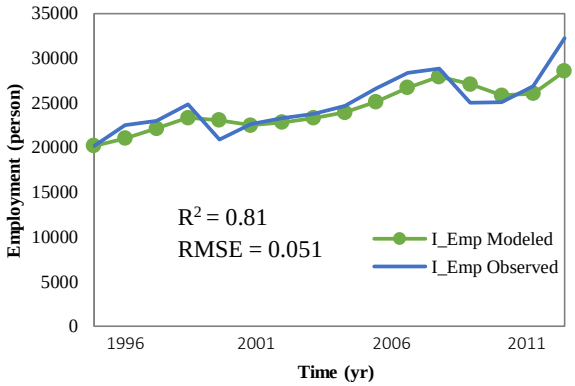
**Table 2- Restoration objectives for Lake Bakhtegan corresponding to one year water requirement in wet and dry periods (Bagheri, 2016)**

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

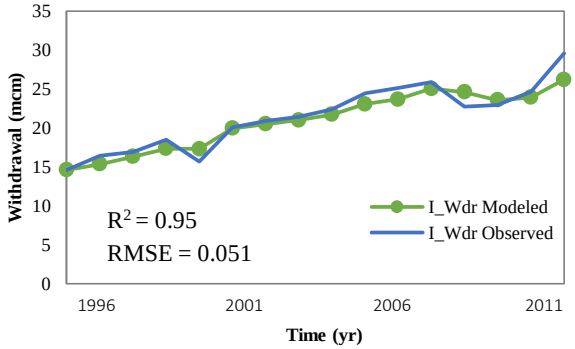
| Restoration Objective | No. of Felamingos - f | Figs production (Ton) - t | Climatic condition | Water requirement (MCM/yr) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Felamingos Populattion | Figs production |
| 1 | f= 0 | t ≤ 9,000 | Wet | 0 | Q ≤ 16 |
| | | | Dry | 0 | Q ≤ 25 |
| 2 | 20,000 ≤ f ≤ 35,000 | 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 | - | - |



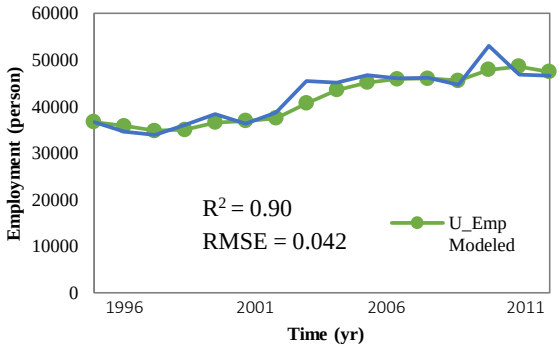

Agricultural GDP



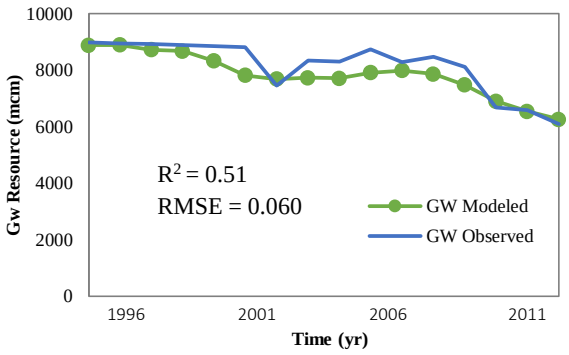

Industrial employment



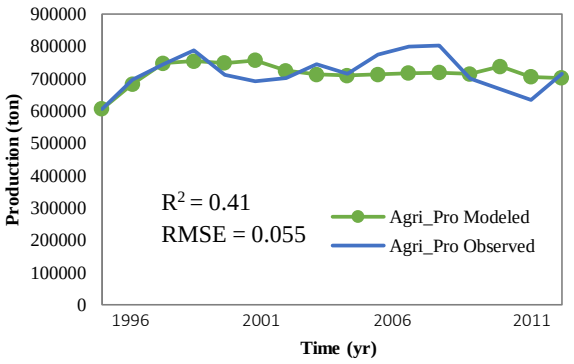

Industrial water withdrawal




Service employment




Groundwater




Agricultural products

**Fig. 12- Behavioural reproduction test**

**شکل ۱۲- نتایج آزمون تکرار رفتار بر روی مدل دینامیکی**

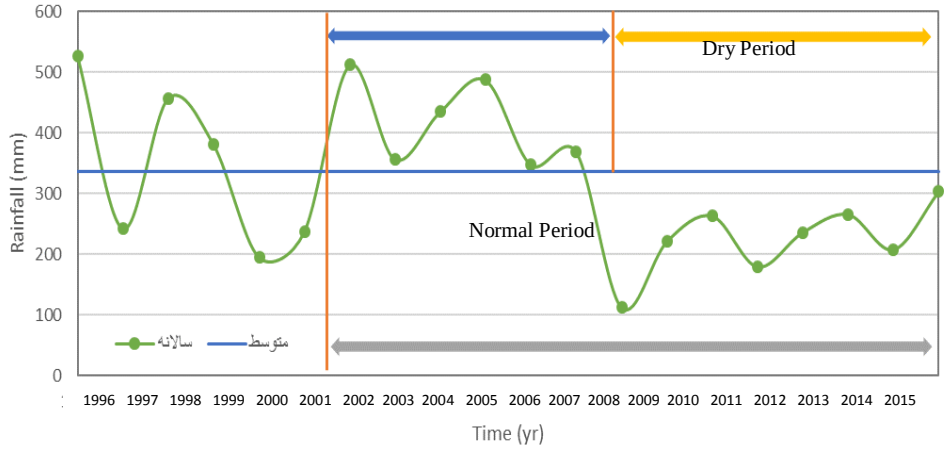



**Fig. 13- Dry and Normal Scenarios**

**شکل ۱۳- سناریوهای نرمال و خشک‌سالی**

نیاز زیست‌محیطی رودخانه با توجه به نیاز زیست‌محیطی برآورد شده توسط تحلیل هیدرولیکی تعریف شده است. در مورد سطح احیای دریاچه بختگان و تأثیر آن بر کارکردهای اکولوژیکی آن، از نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق Bagheri (2015) استفاده شد. طبق مطالعات و نتایج این تحقیق، تأمین حجم‌های مختلف نیاز زیست‌محیطی 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 زیست‌محیطی، منابع آبی، و اقتصادی تعریف می‌شوند. تأمین سطوح مختلف نیاز زیست‌محیطی 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 تأمین نیاز زیست‌محیطی است به طوری که تأمین سطوح مختلف نیاز زیست‌محیطی 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 براثر کاهش آب در عملکرد بخش کشاورزی تمرکز شده است. درنهایت سیاست‌های در نظر گرفته شده، ترکیبی از راهکارهای پیشنهادی گرودارن و نظرات کارشناسی با توجه به مطالعات کتابخانه‌ای است که 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 زیست‌محیطی رودخانه کر: شامل چهار حالت عدم تأمین نیاز زیست‌محیطی و ادامه روند موجود، تأمین ۵۰ درصد نیاز زیست‌محیطی، تأمین ۹۰ درصد نیاز زیست‌محیطی، تأمین ۱۰۰ درصد درصد نیاز زیست‌محیطی رودخانه کر،
- نیاز زیست‌محیطی دریاچه بختگان: شامل چهار حالت عدم تأمین نیاز زیست‌محیطی و ادامه روند موجود، تأمین ۵۰ درصد نیاز زیست‌محیطی، تأمین ۹۰ درصد نیاز زیست‌محیطی، تأمین ۱۰۰ درصد نیاز زیست‌محیطی 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:

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

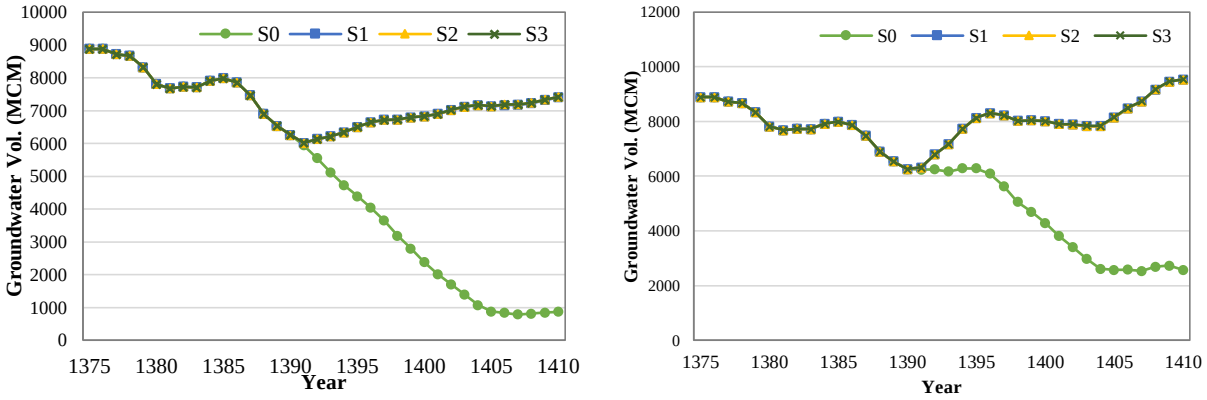
**جدول ۳- بسته‌های سیاستی برای مدیریت جریان زیست‌محیطی رودخانه کر**

| 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)، |

## 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 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 بـــه مقادیر متناظر در سناریوی نرمال قرار داشت (شکل ۱۴–الف و ۱۴–ب).




الف– شرایط نرمال
a) Normal period

ب– شرایط خشکسالی
b) Dry period

**Fig. 14- Groundwater comparison under different options**

**شکل ۱۴- مقایسه وضعیت منابع آب زیرزمینی در گزینه‌های مختلف**

### ۳-۲- مقایسه تاثیر 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 S3، S2 و S1 به ترتیب باعث بیشترین کاهش اشتغال در بخش 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).

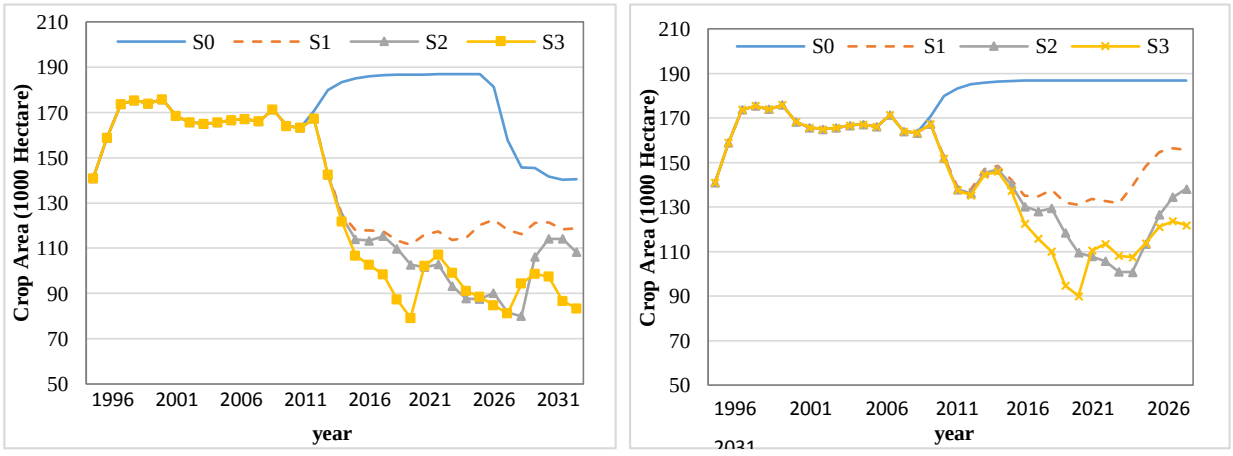
### ۳-۴- مقایسه تأثیر گزینه‌های سیاستی بر درآمد ناشی از کشاورزی

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 تامین 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.

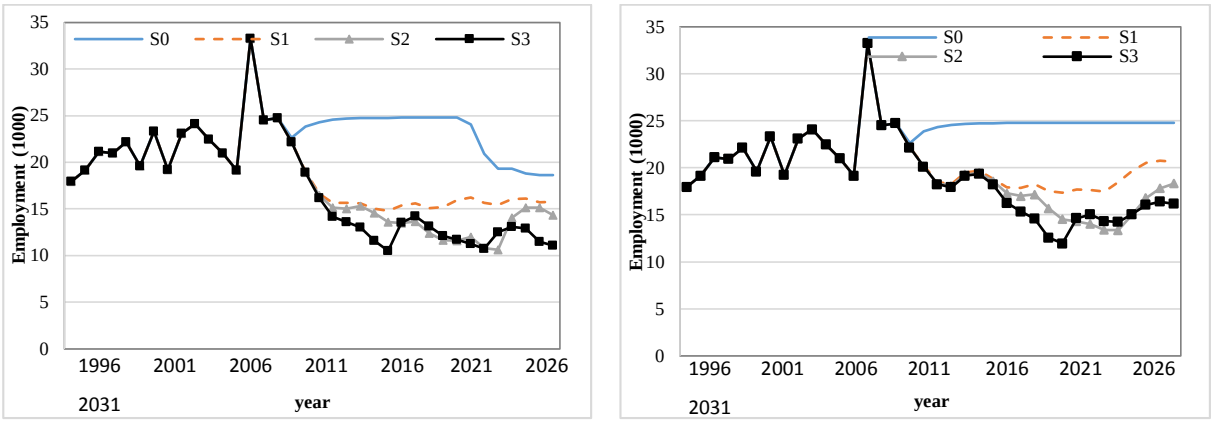



الف- در شرایط نرمال
a) Normal period

ب- در شرایط خشکسالی
b) Dry period

**Fig. 15- Comparison of crop area under different options**

**شکل ۱۵- مقایسه سطح زیر کشت کشاورزی در گزینه‌های مختلف**

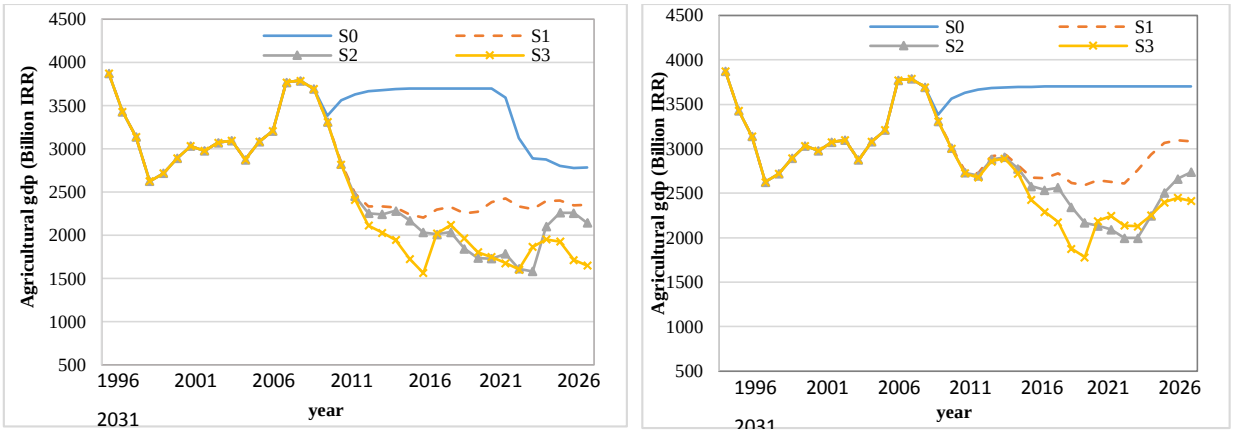



الف- در شرایط نرمال
a) Normal period

ب- در شرایط خشکسالی
b) Dry period

**Fig. 16- Comparison of agricultural employment under different options**

**شکل ۱۶- مقایسه وضعیت اشتغال کشاورزی در گزینه‌های مختلف**




الف- در شرایط نرمال
a) Normal period

ب- در شرایط خشکسالی
b) Dry period

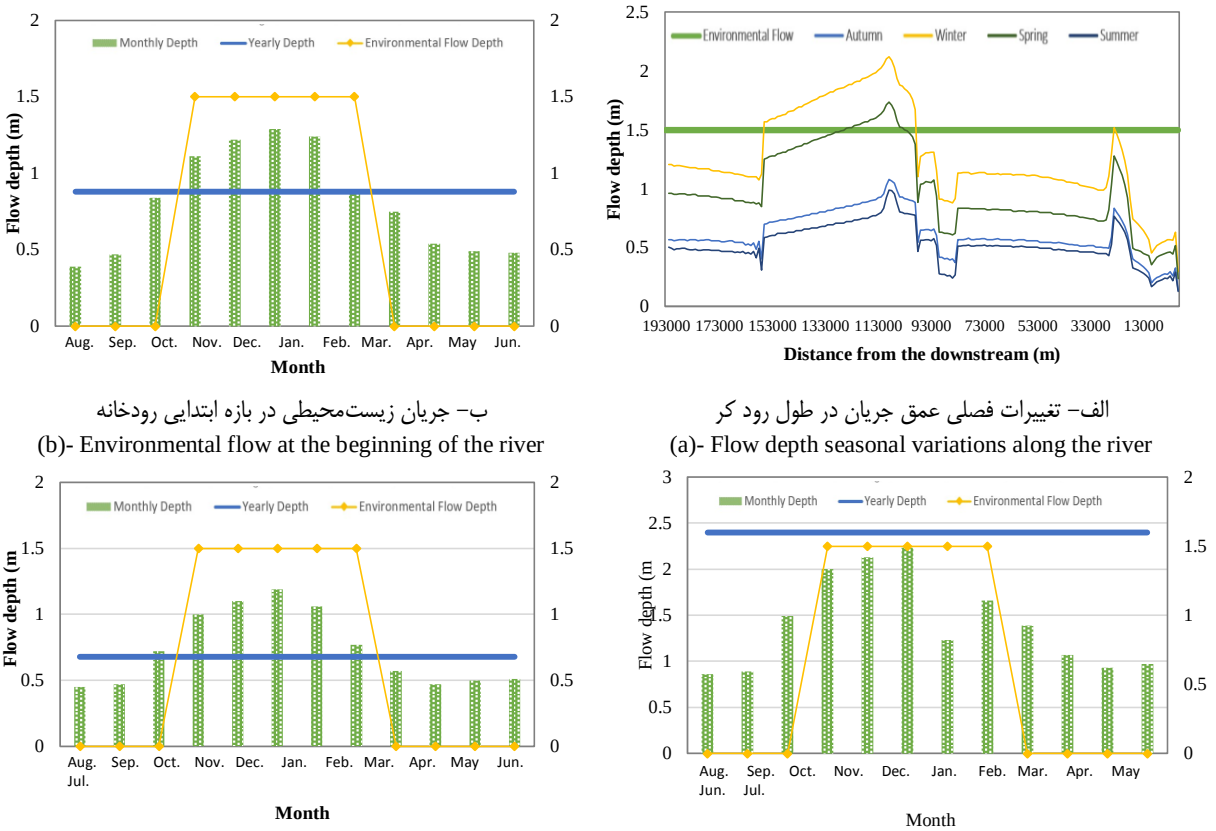
**Fig. 17- Comparison of agricultural revenue under different options**

**شکل ۱۷- مقایسه درآمد بخش کشاورزی در گزینه‌های مختلف**

همان‌طور که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود رهاسازی جریان در ابتدای رودخانه (سد درودزن) 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 آبزیان 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 آبزی فراهم شده است. شکل‌های ۱۸-ب، ۱۸-پ و ۱۸-ت به ترتیب عمق جریان را در مقطع ابتدایی (از سد درودزن تا قبل از پیوستن رود سیوند)، میانی (بازه میانی با رود سیوند) و انتهایی (ورودی به دریاچه بختگان) نشان می‌دهند. تنها در مقطع میانی و در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت جریان رودخانه پاسخگوی نیازهای زیست‌محیطی آبزیان 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 آبزیان 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.




الف- تغییرات فصلی عمق جریان در طول رود کر

(a)- Flow depth seasonal variations along the river

ب- جریان زیست‌محیطی در بازه ابتدایی رودخانه

(b)- Environmental flow at the beginning of the river

پ- جریان زیست‌محیطی در بازه میانی رودخانه

(c)- Environmental flow at the middle of the river

ت- جریان زیست‌محیطی در بازه انتهایی رودخانه

(d)- Environmental flow at the end of the river

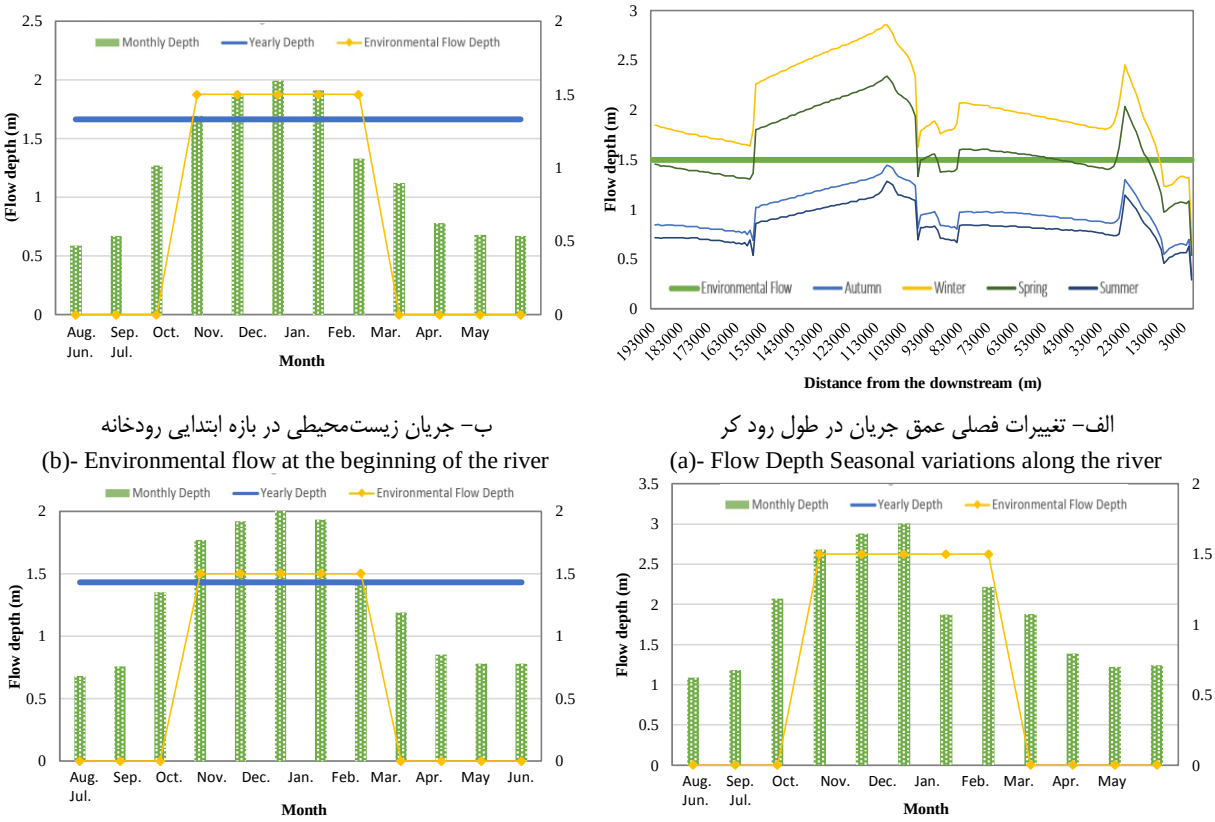
**Fig. 18- Seasonal variations of river flow depth comparing with the ecological need in different sections after Mollasadra and Sivand dams in 2007**

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

همان‌طور که در شکل ۱۹ مشاهده می‌شود رهاسازی جریان در ابتدای رودخانه (سد درودزن) در زمان نبود سدهای ملاصدرا و سیوند توانست جریان زیست‌محیطی موردنیاز آبزیان را در ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد تأمین کند. در میانه رودخانه پس از پیوستن شاخه‌های زهکش و رودخانه سیوند عمق جریان رودخانه افزایش یافته، نیاز اکولوژیکی آبزیان در همه ماه‌های مورد نیاز تولید مثل ماهیان برآورده می‌شود. در ادامه 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 ۱۹-الف) می‌توان گفت که نیازهای اکولوژیکی گونه‌های آبزی 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 زیست‌محیطی آبزیان بود.

۳) تأمین ۹۰ درصد از نیاز زیست‌محیطی

در این حالت مدل‌سازی هیدرولیکی با فرض اعمال مدیریت عرضه و تقاضا با در نظرگیری نیازهای زیست‌محیطی انجام شد. پس از بررسی وضعیت سدها بر هیدرولیک جریان و مشخص شدن شرایط زیست‌محیطی رودخانه قبل و بعد از سدسازی، می‌توان با برنامه‌ریزی جدید در تخصیص آب به بخش‌های مختلف و همچنین برنامه‌ریزی مجدد در بهره‌برداری 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 درنظر گرفته شد و مدل هیدرولیکی اجرا شد. رهاسازی جریان در ابتدای رودخانه (سد درودزن) در حالت ۹۰ درصد احیا، جریان زیست‌محیطی موردنیاز آبزیان را در ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و تأمین می‌کند.




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

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

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

ت- جریان زیست‌محیطی در بازه انتهایی رودخانه
(d)- Environmental flow at the end 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 سدهای ملاصدرا و سیوند در سال ۱۳۸۶**

در میانه رودخانه پس از پیوستن شاخه‌های زهکش و رودخانه سیوند عمق جریان رودخانه افزایش یافته و نیاز اکولوژیکی آبزیان در همه ماه‌های موردنیاز تولید مثل ماهیان برآورده می‌شود. با توجه به تغییرات فصلی جریان (شکل ۲۰-الف) می‌توان گفت که نیازهای اکولوژیکی گونه‌های آبزی 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 زیست‌محیطی آبزیان است. بنابراین در زمان ۹۰ درصد احیا، وضعیت طبیعی جریان رودخانه، نیازهای زیست‌محیطی رودخانه و دریاچه را فراهم می‌کرد.

۴) تأمین ۵۰ درصد از نیاز زیست‌محیطی

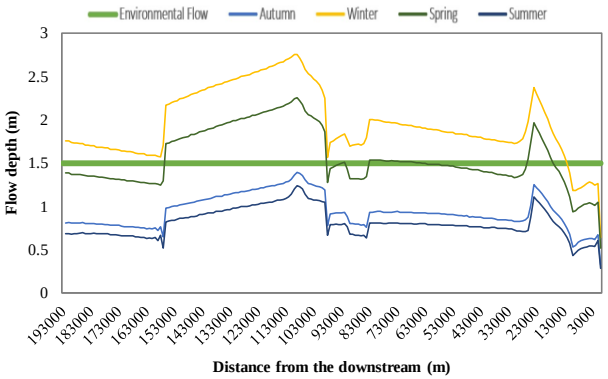
در این حالت، مدل‌سازی هیدرولیکی با فرض اعمال مدیریت عرضه و تقاضا با درنظرگیری نیازهای زیست‌محیطی انجام شد. میزان احیای اکوسیستم رودخانه و دریاچه بختگان در این حالت ۵۰ درصد احیا درنظر گرفته شد و مدل هیدرولیکی اجرا شد. هیدروگراف جریان با میزان ۵۰ درصد احیا نسبت به شرایط قبل از سدسازی برای ارزیابی هیدرولیکی رودخانه استفاده شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود رهاسازی جریان در ابتدای رودخانه (سد درودزن) در حالت ۵۰ درصد احیا، جریان زیست‌محیطی موردنیاز آبزیان 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 آبزیان 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 آبزی 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

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 می‌کرد.

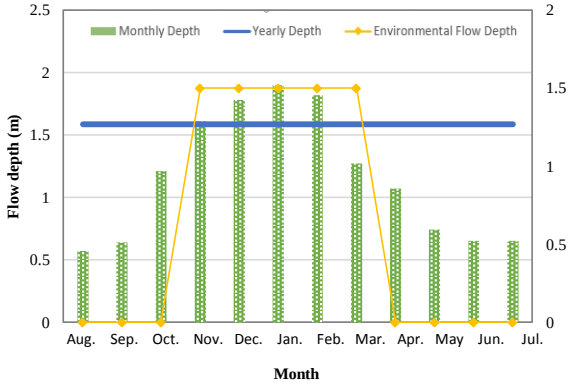
همان‌طور که مشاهده شد گزینه‌های سیاستی انتخابی که ترکیبی از سیاست‌های مختلف منابع آبی، زیست‌محیطی و اقتصادی است، اثرات مختلفی بر وضعیت سیستم و پایداری اقتصادی–اکولوژیکی داشتند. در جدول ۴ خلاصه سیاست‌های اعمال شده و اثرات آن‌ها در بخش زیست‌محیطی و کشاورزی به‌طور خلاصه آورده شده است.

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 برمبنای اقتصاد 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.

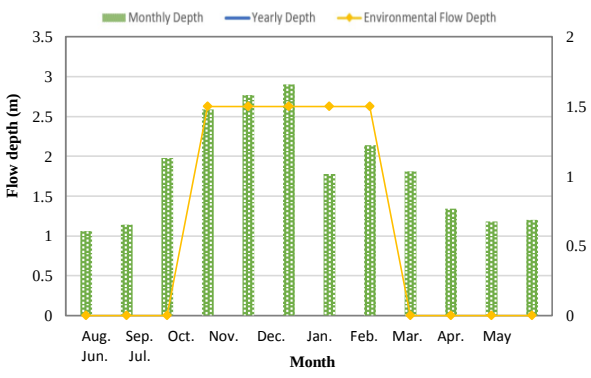
این موضوع ناپایداری سیستم موجود و روند پیش رو را با توجه به شرایط اقلیمی و جمعیتی مورد انتظار نشان می‌دهد. از طرفی دیگر، اعمال سیاست‌های تخصیص آب در بخش آب زیرزمینی (۴۰ درصد تخصیص آب)، و هم‌چنین تأمین نیازهای زیست‌محیطی رودخانه کر و دریاچه بختگان در سطوح مختلف، علاوه بر منتج شدن به پایداری منابع آب در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



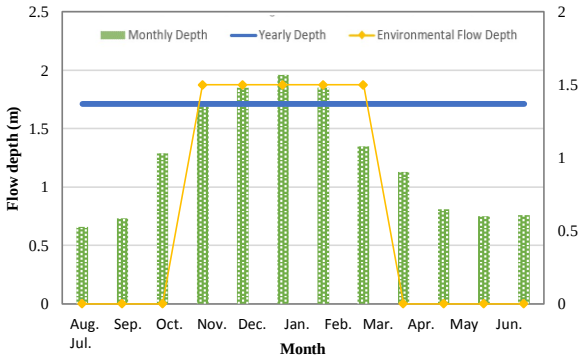

الف– تغییرات فصلی عمق جریان در طول رود کر
(a)- Flow Depth Seasonal variations along the Kor River




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



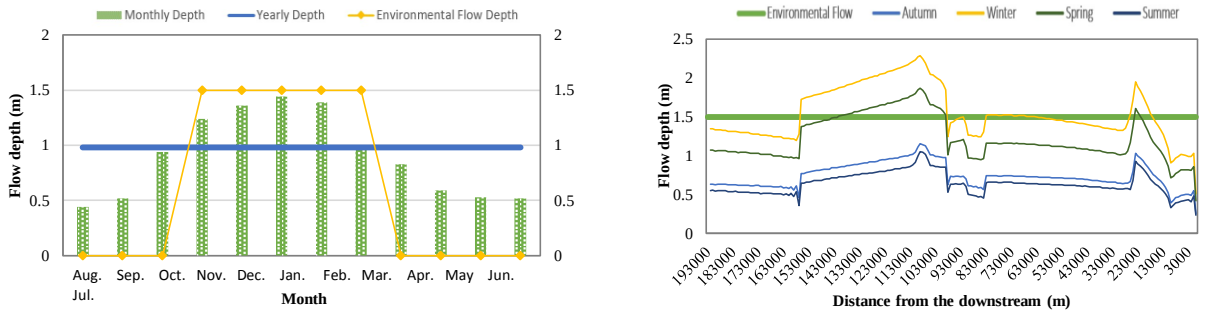

پ– جریان زیست‌محیطی در بازه میانی رودخانه
(c)- Environmental flow at the middle of the river




ت– جریان زیست‌محیطی در بازه انتهایی رودخانه
(d)- Environmental flow at the end 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**



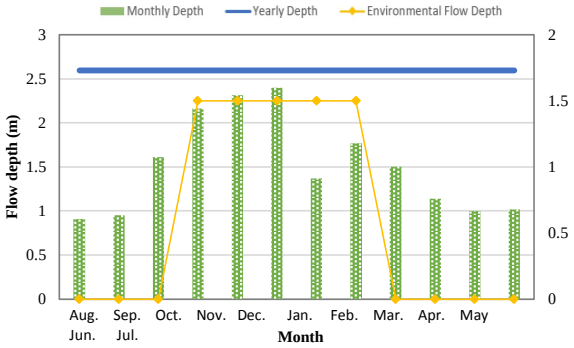

الف- تغییرات فصلی عمق جریان در طول رود کر

(a)- Flow Depth Seasonal variations along the Kor River



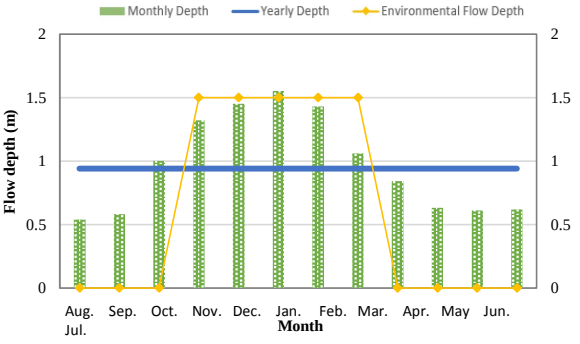

ب- جریان زیست‌محیطی در بازه ابتدایی رودخانه

(b)- Environmental flow at the beginning of the river




پ- جریان زیست‌محیطی در بازه میانی رودخانه

(c)- Environmental flow at the middle of the river




ت- جریان زیست‌محیطی در بازه انتهایی رودخانه

(d)- Environmental flow at the end 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 زیست‌محیطی**

**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 زیست‌محیطی 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)

پایداری منابع آب و تأمین نیاز زیست‌محیطی 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 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

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 زیست محیطی رودخانه کر پرداخت. در این روش‌شناسی با بهره‌گیری از رویکرد سیستمیک و پویایی سامانه‌ها، علاوه بر تعیین نیاز زیست‌محیطی آبزیان در این رودخانه، تاثیرات تغییرات اجتماعی- اقتصادی و سد سازی 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.

در صورت ادامه روند پیش رو و در صورت بروز خشک‌سالی بخش کشاورزی دچار کاهش ۲۵ درصدی ازنظر 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 درنظر 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 درنتیجه کم شدن درآمد حوضه همراه شد.

**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 |

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)

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 Anthropocence: past progress and future prospects. Current Opinion in Environmental Sustainability 5(6):667-675

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