مدیریت منابع آبی در دیدگاه شبکه آب-انرژی-غذا با رویکرد پویایی شناسی سیستمی : مورد مطالعه حوضه آبریز دریاچه مهارلو

نیلوفر صفویان* [*]
علی محمدی [**]
علی نقی مصلح شیرازی [***]
مسلم علی محمدلو[****]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۶

چکیده

جامعه انسانی امروزه با تهدیدات بنیادینی در زمینه تولید، تامین و توزیع آب انرژی و غذا دست به گریبان است. کشور ما نیز از این قاعده مستثنی نمی باشد. موقعیت جغرافیایی ایران در منطقه ای نیمه خشک، به ویژه کشور را در زمینه منابع آبی آسیب پذیر کرده است. وسعت و پیچیدگی ارتباطات میان منابع آبی و سایر حوزه ها، مدیریت و سیاست گذاری در این زمینه را با چالش مواجه نموده و خطر سیاست گذاری های بخشی، بدون در نظر گرفتن تبعات آن بر سایر حوزه ها، رویکردی یکپارچه و کل نگر را در این زمینه می طلبد. رویکرد یکپارچه شبکه آب-انرژی-غذا در سالهای اخیر در دنیا جهت تسهیل سیاستگذاری در این زمینه مورد توجه قرار گرفته است. عملیاتی نمودن چنین دیدگاهی، روشهای متناسب با آن را می طلبد. از این میان، رویکرد پویایی شناسی سیستمها به عنوان ابزاری که توانایی تبیین و تحلیل ارتباط پیچیده متغیرهای متعدد با روابط غیر خطی را دارد، می تواند به عنوان ابزاری کارا مورد استفاده قرار بگیرد. پژوهش حاضر با در نظر گرفتن و تبیین ارتباطات در شبکه آب-انرژی-غذا به توسعه مدلی مفهومی و عملیاتی نمودن آن پرداخته است. برای این منظور حوضه آبریز دریاچه مهارلو در استان فارس به عنوان نمونه ای از حوضه های آبریز کشور با چالش های مشابه، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بیان گر این واقعیت است که چنانچه وضعیت موجود ادامه یابد در آینده ای نزدیک، سطح آب های زیرزمینی در منطقه به مرحله بحرانی می رسد که تهدیدی جدی برای ادامه حیات در منطقه می باشد. دخالتهای بالقوه مدیریت و نتایج آنها در تغییر این وضعیت به وسیله مدل پژوهش سنجیده شده است. تغییر در مصارف آب کشاورزی به وسیله انتخاب هوشمند محصولات جهت کشت و بهینه سازی سیستمهای آبیاری و توسعه سیستم فاضلاب شهری موثرترین راهکارها در کاهش روند تحلیل منابع آبهای زیرزمینی می باشند.

واژگان کلیدی: مدیریت منابع آبی، شبکه آب-انرژی-غذا، پویایی شناسی سیستم ها، حوضه آبریز دریاچه مهارلو

* دانشجوی دکتری بخش مدیریت، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
Niloofar.safavian@gmail.com
** استاد بخش مدیریت، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
*** استاد (بازنشسته مدعو) بخش مدیریت، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
**** دانشیار بخش مدیریت، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

مقدمه

امروزه جامعه جهانی در مواجهه با مشکلات پیچیده‌ای قرارگرفته است که از آن‌ها به‌عنوان تهدیدات بنیادین علیه تمدن انسانی یاد می‌شود. بسیاری از این مسائل به‌صورت مستقیم با تولید، توزیع و استفاده از انرژی، آب و غذا (و یا استفاده از زمین) در ارتباط می‌باشد (Future Earth,2014) . به‌طور سنتی و با توجه به وسعت هرکدام از این حوزه‌ها و پیچیدگی و دشواری در نظر گرفتن هم‌زمان و یکپارچه هر سه حوزه، تحقیقات و کارهای علمی محدودی در جهت پشتیبانی و تسهیل یک نظام حاکمیتی یکپارچه که کل شبکه را مدنظر قرار دهد، انجام‌گرفته است. درنتیجه عموماً، سیاست‌ها و قوانین بخشی در این حوزه‌ها در جهت بهینه‌سازی، در بسیاری موارد تبعات منفی ناخواسته‌ای بر اقتصاد، امنیت ملی، محیط‌زیست داشته است (Hoff,2011).

در ایران نیز با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور در منطقه ای نیمه خشک و روند افزایش جمعیت و شهرنشینی، هرکدام از این منابع به ویژه منابع آبی به‌طور بی‌سابقه‌ای تحت‌فشار می‌باشند. افزایش جمعیت و به‌ویژه افزایش جمعیت شهری، آلودگی هوا و خاک را به دنبال داشته و نیاز به آب شرب و انرژی را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر افزایش جمعیت باعث تغییر کاربری زمین شده و رقابت برای این منبع مهم را میان زمین مسکونی، زمین زراعی و زمین‌هایی با پوشش طبیعی که بتواند از منابع آبی و خاکی حفاظت کند را، به‌شدت افزایش می‌دهد(برزگر، ۱۳۹۱). در استان فارس نیز به‌صورت خاص، فشار بر روی این منابع و به‌ویژه منابع آبی در وضعیت هشداردهنده‌ای قرار دارد. این وضعیت به‌وسیله تغییرات اقلیمی که بخش عمده آن نیز، به‌نوبه‌خود معلول فعالیت‌های انسانی است، تشدید گردیده است. تداوم خشک‌سالی در استان، در سال‌های گذشته و سیاست‌های مقطعی و غیر یکپارچه، وضعیت منابع آبی را به حدی رسانده است که نه‌تنها مهم‌ترین دریاچه‌های استان مانند دریاچه‌های طشک و بختگان در شهرستان نی‌ریز، دریاچه پریشان در شهرستان کازرون، دریاچه مهارلو در جنوب شرق شیراز و دریاچه کافتر در شهرستان اقلید کاملاً خشک می‌باشند، بلکه ذخیره آب برخی از سدهای استان به حد زیر صفر رسیده است[۱]. این وضعیت به‌نوبه‌خود بر توانایی تأمین انرژی نیز تأثیرگذار بوده و همچنین تعادل آب و هوایی استان را به هم زده است[۲].

با توجه به این واقعیت که استان فارس عموماً در بخش کشاورزی فعالیت دارد، کمبود آب، معاش بسیاری از کشاورزان را درخطر جدی قرار داده، امنیت غذایی را تهدید می‌کند. این وضعیت به استفاده بی‌رویه از منابع آبی زیرزمینی دامن زده است. کاهش منابع آب زیرزمینی در استان، باعث خشکی دریاچه‌ها، تغییر زیست‌بوم، مهاجرت افراد، فرسایش خاک، آلودگی هوا و کمبود آب شرب گردیده است. همچنین این روند به صورتی بازخوردی بر کارایی کشاورزی در استان تأثیر منفی داشته است.ماهیت نگاه شبکه‌ای، با رویکرد سنتی تخصص گرایی بخشی، در تقابل قرار می‌گیرد. البته مدیریت یکپارچه و نگاه شبکه‌ای به‌هیچ‌عنوان نفی کننده نیاز به متخصصین در هر زمینه نیست بلکه نیاز و فرصتی را برای ورود افرادی با دیدگاه کلی‌نگر که بتوانند بدون جانب‌داری تخصصی، تمامی حوزه‌های مرتبط را موردبررسی قرار دهد، ایجاد می‌نماید.در این میان، تفکر سیستمی به‌عنوان رویکردی کلی‌نگر که روابط پیچیده و غیرخطی عوامل مختلف و گاه متضاد را بررسی می‌نماید، به‌عنوان روش مطلوب در مطالعه شبکه‌ای آب-انرژی-غذا اخیراً بسیار موردتوجه قرارگرفته است. با توجه به موارد ذکرشده، تحقیق حاضر در نظر دارد که به مطالعه شبکه آب-انرژی-غذا با مرکزیت منابع آبی در حوضه آبریز دریاچه مهارلو در استان فارس، بپردازد. در این تحقیق تمرکز اصلی بر حاکمیت یکپارچه شبکه و هدف ارتقا تاب‌آوری سیستم[۳] موردمطالعه از طریق توسعه چنین چارچوب حاکمیتی می‌باشد. برای حصول به این هدف، روش مدل سازی پویایی شناسی سامانه ها، به‌کار گرفته شده است..

مرور مبانی نظری

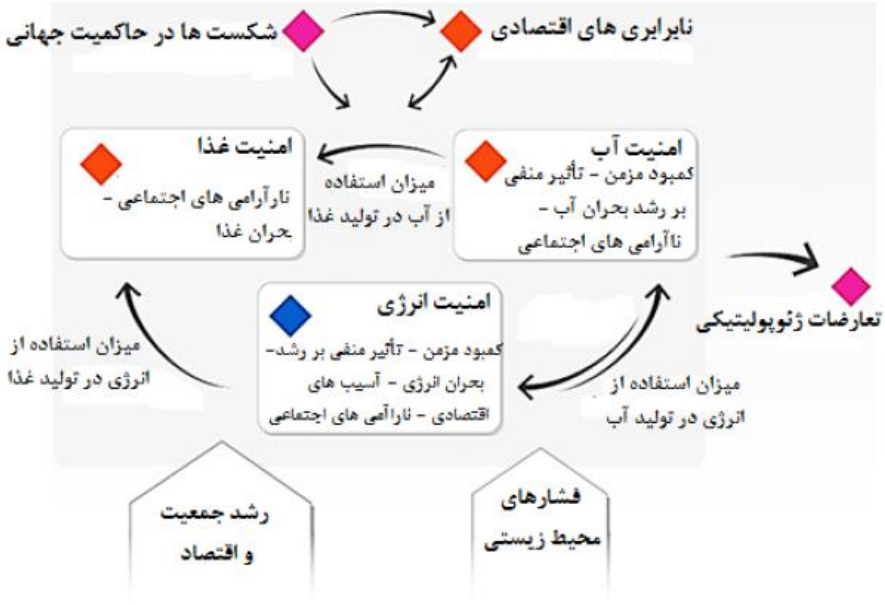
مدل‌های مختلفی برای شبکه آب-انرژی-غذا ارائه شده است. این مدل‌ها را می‌توان در یک دیدگاه کلی به ۲ گروه متمایز تقسیم نمود. مدل‌هایی با دیدگاه امنیت و مدل‌های که بر دیدگاه پایداری در شبکه تمرکز دارند. در ادامه به منتخبی از این مدل‌ها در هرکدام از دو گروه اشاره می‌گردد.

دیدگاه امنیت

یکی از اولین تحقیقات نظری در این زمینه که هم‌راستا با کنفرانس بن ۲۰۱۱ انتشار یافته مدل، (Hoff, 2011) می‌باشد. این دیدگاه، نگاه شبکه‌ای با رویکرد امنیت را معرفی نموده و پایه کارهای بعدی در این زمینه قرار گرفته است. چنانچه هاف توضیح می‌دهد، امنیت را در شبکه می‌توان این‌گونه تعریف نمود:

- " امنیت انرژی: دسترسی به خدمات انرژی پاک، قابل‌اطمینان و با قیمت مناسب برای گرمایش، روشنایی، ارتباطات و استفاده‌های تولیدی. همچنین این دسترسی بایستی به صورت پیوسته از نظر فیزیکی و همواره با قیمتی مناسب و با توجه و در نظر گرفتن شرایط محیط‌زیست باشد."
- " امنیت غذا: وجود و دسترسی به غذای کافی، سالم و مغذی در جهت رفع نیازها و ترجیحات غذایی افراد برای یک زندگی سالم و فعال. همچنین وجود غذای کافی به عنوان یکی از حقوق ابتدایی انسان‌ها در نظر گرفته می‌شود."
- " امنیت آب: دسترسی به آب نوشیدنی و بهداشتی پاک (که به عنوان حقوق ابتدایی انسان در نظر گرفته می‌شود). همچنین وجود و دسترسی به آب برای سایر کاربردهای انسان و زیست‌بوم"

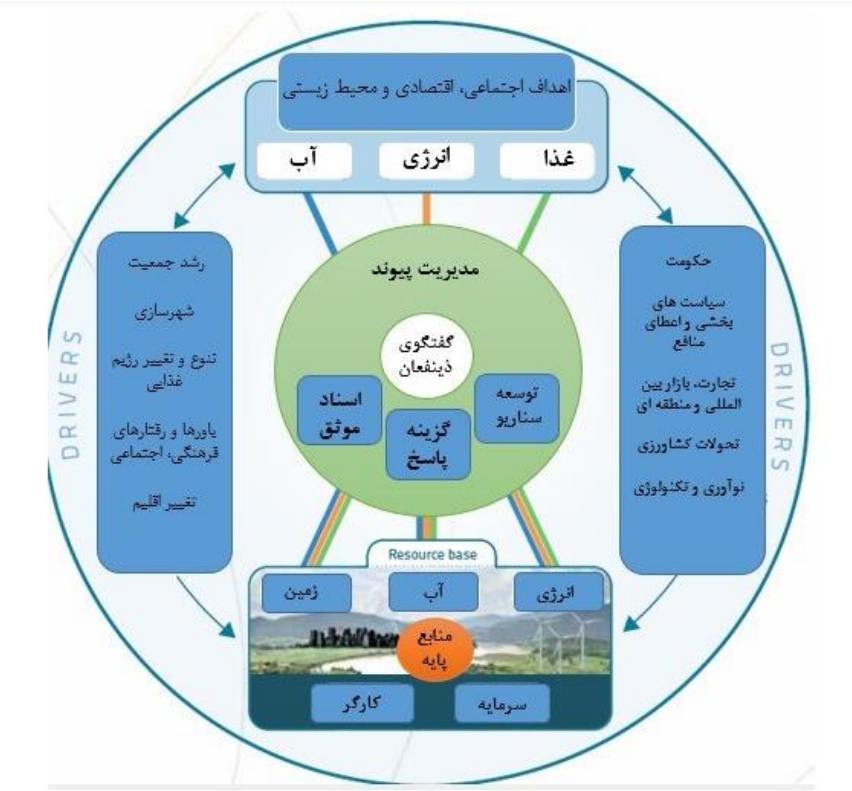
پژوهش نظری بازیلیان (Bazillian et al., 2011) نیز با دیدگاه امنیتی به موضوع شبکه آب-انرژی-غذا می‌پردازد و یکی از مدل‌های مرجع در این زمینه به شمار می‌رود. این مدل به صورتی جامع، ملاحظات امنیتی مرتبط با شبکه انرژی-آب-غذا را نشان می‌دهد (شکل ۱).



شکل ۱: دیدگاه امنیت در شبکه (برگرفته از بازیلیان و همکاران، ۲۰۱۱)

دیدگاه پایداری

در سال ۲۰۱۴ سازمان جهانی غذا رویکرد جامعی را در ارزیابی دخالت سیستمی در شبکه آب-انرژی-غذا با دیدگاه پایداری ارائه داده است. مدل ارائه شده که بر اساس گونه شناسی کشورهای مختلف قرار دارد، شاخص‌هایی را برای دخالت سیستمی در جهت تأمین اهدافی چون امنیت غذایی و استفاده و مدیریت پایدار منابع آبی و انرژی ارائه می‌دهد. شکل ۲ رویکرد شبکه‌ای ارائه شده توسط فائو[۴] را نشان می‌دهد. بر اساس طبقه‌بندی فائو، کشور ایران در گونه کشورهای در حال ظهور با رشد جمعت بالا می-باشد.



شکل ۲: رویکرد فائو به شبکه آب-انرژی-غذا (برگرفته از ویسی و همکاران، ۱۳۹۶)

بر اساس این مدل، فائو فرایندی را در جهت ارزیابی و بهبود شبکه ارائه می‌کند. در این فرایند ابتدا ارزیابی کیفی و کمی از شاخص‌های پایداری در شبکه صورت گرفته و سناریوهای مختلف دخالت سیستمی بر اساس میزان ایجاد تغییر در این شاخص‌ها، با یکدیگر مقایسه می‌شوند. درنهایت، دخالت‌های سیستمی موردنظر در قالب سیاست‌ها و تغییرات نهادی انجام می‌گیرد. نکته مهم در این فرایند مشارکت ذینفعان در تمامی مراحل می‌باشد. این فرایند لزوماً به صورت خطی انجام نشده و نتایج این سیاست‌ها بایستی به صورت مرتبط ارزیابی گردد.

ادبیات تحقیق

در سال‌های اخیر و به‌ویژه بعد از کنفرانس «شبکه امنیت آب-انرژی-غذا: راهی به‌سوی

اقتصاد سبز» در بن در سال ۲۰۱۱، اقبال جهانی نسبت رویکرد شبکه آب-انـرژی-غـذا، چه در سطح سیاست‌گذاران و چه در میان جوامع علمـی، افـزایش قابـل‌تـوجهی داشـته است. ولی با توجه به ماهیت بین‌رشته‌ای و پیچیده ارتباطات در شـبکه آب-انـرژی-غـذا می‌توان عنوان کرد که تحقیقات در این زمینه هنوز در دوران طفولیـت خـود قـرار دارد (Zhang et al.,2018). با این وجود، از سال ۲۰۱۱ به بعد، جهش فراوانی در تحقیقـات بـا رویکرد شبکه در این زمینه را می‌توان مشاهده نمود. پژوهش‌های انجام‌گرفته را می‌توان به گونه‌های مختلفی طبقه‌بندی نمود. در یـک تقسـیم‌بنـدی جـامع، سـه گـروه و خـط تحقیقی مشخص را می‌توان شناسایی نمود.بخش عمده‌ای از تحقیقات، شبکه را به‌عنوان یک رویکرد و ابزار تحلیل تعریف می‌نماینـد کـه هـدف از آن درک بهتـر ارتبـاط میـان بخش‌ها به‌منظور فراهم نمودن اطلاعات یکپارچه برای برنامـه‌ریـزی و تصـمیم‌گیـری در هرکدام از این بخش‌ها می‌باشد. بسـیاری از تحقیقـات اصـلی و اولیـه در ایـن زمینـه را مـی‌تـوان در ایـن گـروه جـای داد .(Bazilian ae al.,2011;Hoff,2011;FAO,2014).گـروه دیگری از تحقیقات، شبکه را به‌عنوان چارچوب حاکمیتی در نظر می‌گیرند که سـعی در تسهیل همکاری‌های میان بخشی و ارتقا سیاست‌گذاری همگن در برنامه‌ریزی و مدیریت بخش‌ها دارد. در این تحقیقات نقش عوامل تصمیم‌گیرنده مختلف مـدنظر بـوده و هـدف ارائـه راهکارهـایی پایـدار بـرای اسـتفاده کـارا از منـابع مـی‌باشـد (ERD,2012;Future Earth,2014). در تحقیقاتی از این گروه که با دید محلی و منطقه‌ای صورت گرفته اسـت، مسئله حاکمیت شبکه و تفاوت‌های ساختاری و نهادی منطقه‌ای همـواره چـالش‌برانگیـز بوده است و این موضع، در تحقیقات مختلفـی مـورد تأکیـد قرارگرفتـه اسـت (Allan at al.,2015; Al-Saidi & Elagib,2017;Weitz et al.). گـروه سـومی از تحقیقـات نیـز وجـود دارند که به‌گونه‌ای پایه‌های فکری تحقیقـات دیگـر را تـأمین مـی‌نماینـد. ایـن گـروه از تحقیقات، شبکه را به‌عنوان مفهوم مرزبندی جدید برای استفاده و مدیریت ایـن منـابع و همچنین چارچوبی جدید برای تعریف مشکلات، تعریف می‌نمایند. در این دیدگاه، توجه ویژه‌ای به هم‌افزایی موجود در شـبکه و همچنـین مصـالحات موجـود در آن مـی‌گـردد (Alluoche et al., 2015; Foran, 2015; Apthorpe&Gasper, 2014; Mullinga, 2008).

به‌زعم بسیاری از اندیشمندان این حوزه، یکی از مهم‌تـرین کاسـتی‌هـای موجـود در بدنه ادبیات شبکه، عدم وجود الگویی کارا در هماهنگی میان نهادهای درگیر و ذینفعـان

متعدد می‌باشد (Allan et al., 2015, Gulati et al., 2013). همان‌طور که (Al-Saidi & Elagib, 2017) بیان می‌کند، در طراحی، اجرا و مدیریت شبکه، گروه‌های ذینفع مختلفی را می‌توان شناسایی نمود و مناسبات میان این نهادها در کشورها و مناطق مختلف، صورت‌های گوناگونی داشته و به‌تبع آن الگوهای یکپارچه متناسب با موقعیت را می‌طلبد.

این مسئله نیز با توجه به ماهیت محلی و منطقه‌ای که دارد، نیاز به انجام تحقیقات بومی را دوچندان می‌کند.در این زمینه، تحقیق (کلاه زر مقدم و کتابچی ،۱۳۹۹) از دید نویسنده، یکی از جامع ترین تحقیقات در این زمینه در سالهای اخیر می باشد. در این تحقیق امکان سنجی به کارگیری مدلهای شبیه سازی برای سنجش تصمیمات مبتنی بر پیود آب، انرژی و غذا با در نظر گرفتن زیان های محیط زیستی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل ریاضی توسعه یافته در این پژوهش با دو هدف کمینه سازی هزینه ها و بیشینه نمودن قابلیت اطمینان اجرا گردیده است. نتایج نشان می دهد که هزینه های کلی با در مظر گرفتن پیوند میان اجزا نسبت به نگاه بخشی و بدون در نظرگرفتن پیوند، به صورت قابل توجهی کاهش می یابد. قابلیت اطمینان نیز در حالت در نظر گرفتن پیوند افزایش می یابد.

باوجوداینکه تحقیقات داخلی که به‌صورت مستقیم و بادید شبکه‌ای به سه حوزه آب، انرژی و غذا بپردازد، معدود می‌باشد ولی می‌توان تحقیقاتی را یافت که به ارتباطات متقابل جنبه‌هایی از این سه مقوله پرداخته‌اند. از این جمله می‌توان به کار تحقیقی بلالی و منتشلو (۱۳۹۳) اشاره نمود که به تأثیر قیمت‌گذاری و اختصاص یارانه انرژی بر استفاده از منابع آب‌وخاک در بخش کشاورزی می‌پردازد. تحقیق (حسینی و همکاران ،۱۴۰۰) مدیریت همزمان منابع آب زیرزمینی و سطحی و تاب آوری کشاورزان در مقابل کم آبی را با توجه به پیش بینی قیمت گذاری محصولات کشاورزی مورد بررسی قرار داده اند. این پژوهش با استفاده از الگوریتم ژنتیک به این نتیجه رسیده اند که بهینه سازی همزمان الگوی کشت و توزیع آب همراه با پیش بینی قیمت بیشترین تاثیر را بر افزایش درآمد شبکه خواهد داشت. تحقیق (کامیاب و همکاران،۱۴۰۰) در این زمینه، به تمرکز بر وابستگی متقابل سیستمهای اکولوژیکی و اجتماعی می پردازد و به صورت خاص تعاملات کشاورزان با سیستم منابع مشترک آب زیرزمینی یک آبخوان را مورد

بررسی قرار میدهد. این نوع نگاه در راستای دیدگاه شبکه ای بوده می تواند در شناخت و کمی سازی تعاملات میان فعالیتهای انسانی با منابع آب زیرزمینی، مفید واقع گردد.کار تحقیقی برزگر (۱۳۹۱) که به تأثیر شهرنشینی بر امنیت آب، انرژی و غذا در مورد مطالعاتی شهر شیراز می‌پردازد، در این زمینه نمونه بارزی به شمار می‌آید. این تحقیق به شیوه‌ای توصیفی-تحلیلی روند شهرنشینی در شیراز را از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵ بررسی می‌نماید. جمعیت شهر در این بازه زمانی ۸ برابر شده و مساحت آن ۲۱ برابر شده است که باعث تغییر کاربری شدید باغات، زمین‌های زراعی، مراتع و زمین‌های حاصلخیز شده است. با توجه به افزایش تقاضای آب به میزان ۱۵ برابر و برق به میزان ۷۰ برابر، این مقاله نتیجه‌گیری می‌کند که این‌گونه روند شهرنشینی و تغییر کاربری زمین، امنیت آبی، غذایی و انرژی ساکنین را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تهدید می‌نماید.

اطلاعات مورد مطالعاتی و داده های مدل[۵]

حوزه آبریز دریاچه‌های طشک-بختگان و مهارلو با مساحت ۳۱۴۹۲ کیلومترمربع در استان فارس واقع شده است. این حوزه در راستای شمال غربی به جنوب شرقی و به موازات رشته‌کوه زاگرس گسترش یافته است. حوزه آبریز مورد مطالعه به دو حوزه آبریز با کد سه‌رقمی تحت عنوان حوزه آبریز دریاچه‌های طشک- بختگان و حوزه آبریز دریاچه مهارلو و ۲۷ محدوده مطالعاتی تقسیم گردیده است[۶].

این حوزه دارای رودخانه دائمی نبوده و تنها مسیل‌های خشک و چنارراهدار از دشت شیراز و مسیل نظرآباد از دشت سروستان به دریاچه مهارلو منتهی می‌گردند[۷]. مهم‌ترین شهرهای موجود در این ناحیه شیراز و سروستان می‌باشد. حوضه مهارلو شامل ۵ محدوده مطالعاتی است. از میان این محدوده‌ها، سروستان، قره‌باغ و کوار مهارلو از نظر توسعه بهره‌برداری ممنوعه اعلام شده‌اند.

بر اساس اطلاعات سازمان آب منطقه ای استان فارس (۱۳۹۰)، با توجه به اینکه معمولاً آب خروجی از چشمه‌ها دبی پایه رودخانه‌های دائمی را تشکیل می‌دهد، این منابع جز آب‌های سطحی محسوب شده‌اند. برداشت از آب‌های سطحی منطقه به وسیله آب‌بندها، انهار منشعب از رودخانه ، و موتورپمپ‌های کنار رودخانه صورت می‌گیرد[۸]. در حوضه مورد مطالعه تنها شهر دارای سیستم فاضلاب، شهر شیراز می‌باشد[۹]. همچنین

مصرف آب صنعت در اکثر قریب به اتفاق آبادی‌ها صفر بوده و یا به صورت مشترک با آب کشاورزی لحاظ شده و در آماربرداری مشخص نشده است. همان‌گونه که در جدول ۱ مشخص است، از کل میزان آب مصرفی در حوضه، ۷۸ درصد صرف کشاورزی، ۱۹ درصد صرف شرب و ۳ درصد صرف مصارف صنعتی می‌گردد.

جدول ۱: مصارف آب در محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز مهارلو
(سازمان آب منطقه‌ای استان فارس، ۱۳۹۰)

	کشاورزی		صنعت		شرب		آب انتقالی به خارج از محدوده	
	مقدار[10]	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد
شیراز	[11]۱۳۹/۴۵	٪۶۱	۹/۹۶	٪۴	۸۰/۸	٪۳۵	۰	
سروستان	۶۸/۶۹	٪۹۶	۰/۵۹	٪۱	۲/۱۷	٪۳	۰	
قره‌باغ	۱۰۰/۸۳	٪۸۳	۴/۵۲	٪۴	۵/۵۰	٪۴,۵	۱۰	٪۸,۵
کوار مهارلو	[12]۸۸/۷۸	٪۹۳	۰/۶۴	٪۱	۵/۵۵	٪۶	۰	
گشنگان	۱۷/۳۴	٪۹۸	۰/۱	٪۱	۰/۲۳	٪۱	۰	
کل حوضه آبریز مهارلو	۴۱۵/۰۹	٪۷۸	۱۵/۸۱	٪۳	۹۴/۲۵ ۱۰+	٪۱۹	[13]۱۰	-----

جدول ۲ خلاصه تغییرات سالیانه ذخیره آب در حوضه آبریز مهارلو را به تفکیک محدوده‌های مطالعاتی نشان می‌دهد. تغییرات ذخیره آب با در نظر گرفتن کل ورودی‌ها و خروجی‌های محدوده شامل جریان‌های سطحی، زیرزمینی و انتقالی و همچنین میزان بارش، تبخیر و تعرق محاسبه شده است. همان‌گونه که مشخص است به صورت سالیانه مقدار ۴۳/۰۷ میلیون مترمکعب آب از ذخایر حوضه کاسته می‌شود.

جدول ۲: : میزان تغییرات ذخیره آب در محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز مهارلو (سازمان آب منطقه‌ای استان فارس، ۱۳۹۰)

محدوده مطالعاتی	تغییرات ذخیره آب (بر حسب میلیون مترمکعب در سال)
شیراز	-۷/۴۵
سروستان	-۱۳/۶۰
قره‌باغ	-۷/۰۸
کوار مهارلو	-۹/۸۵
گشنگان	-۵/۰۹
مجموع	-۴۳/۰۷

روش‌شناسی پژوهش

بر اساس مبانی فلسفی، رویکرداین پژوهش ماهیتی آمیخته دارد و از پارادایم‌های تفسیری و اثبات‌گرایی استفاده می‌کند. همانگونه که (ایمان م.، ۱۳۹۱) بیان می‌کند روش‌های مختلفی در رویکرد آمیخته می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق روش اتصال داده‌ها در رویکرد آمیخته پیشنهاد می‌گردد. بر این اساس هدف فاز اول تحقیق، اکتشافی و توصیفی بوده و به شناسایی سازه‌های موثر و توسعه چارچوب نظری از ارتباطات میان آن‌ها بر اساس پیشینه پژوهش، اسناد و مدارک موجود و نظرات کارشناسان و ذینفعان می‌پردازد. فاز دوم و کمی تحقیق، با هدف تبیین روابط علی، در پی عملیاتی سازی متغیرها و روابط میان آن‌ها و شبیه‌سازی این ارتباطات در قالب طراحی مدل پویایی شناسی سامانه ها می باشد. الگوی پویایی‌شناسی سیستمی با استفاده از نرم‌افزار Vensim DSS طراحی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. افق زمانی در نظر گرفته شده برای این پژوهش یک دورهٔ ۳۰ ساله است که از سال ۱۳۸۰ شروع و تا ۱۴۱۰ ادامه می‌یابد.

مخاطب اصلی تحقیق حاضر،علاوه برجامعه علمی، سیاست‌گذاران بخش‌های مرتبط با حوزه‌های آب، انرژی، غذا و هم‌چنین محیط زیست می‌باشند. به صورت ایده‌آل، نتایج این تحقیق می‌تواند جهت کمک به تصمیم‌گیران در سیاست‌گذاری‌های یکپارچه با تکیه بر دیدگاه بلند مدت و توسعه پایدار، مورد استفاده ارگان‌های مرتبط قرار بگیرد.

با وجود این‌که این تحقیق به یک مورد مطالعاتی خاص می‌پردازد، چارچوب نظری توسعه‌یافته که مدل نهایی بر پایه آن طراحی شده است، با توجه به شرایط ویژه کشور

ایران بوده و پتانسیل استفاده در موارد مطالعاتی مشابه را دارد.

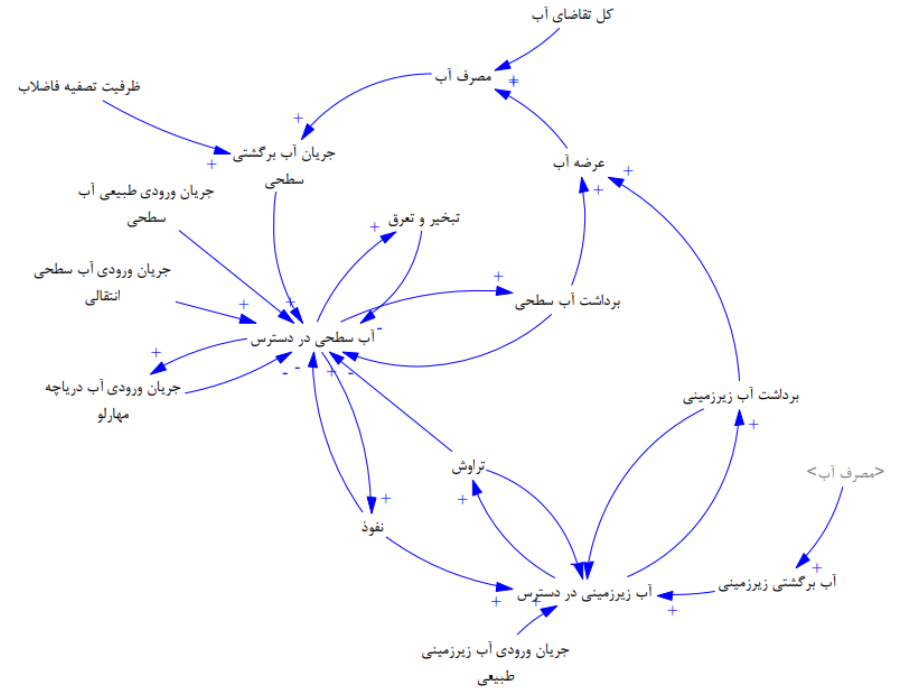
مدل مفهومی

الگوی شبیه‌سازی شده‌ی پژوهش از سه زیرالگوی هیدرولوژی، شبکه آب-انرژی-غذا و سطح زندگی-جمعیت تشکیل گردیده است. تمرکز اصلی مطالعه حاضر بر تغییرات سطح آبهای زیر زمینی با توجه به تاثیرات متقابل سایر متغیرها می باشد. منطق کلی مدل بدین صورت است که تغییر در منابع آبی به میزان تقاضا برای آب و برداشت آب بستگی دارد. میزان تقاضا نیز به نوبه‌ی خود به تغییر جمعیت وابسته است. عامل اصلی موثر بر تغییرات جمعیت، سطح زندگی می باشد. هر چه استانداردهای زندگی تامین شده بالاتر باشد، رشد جمعیت نیز بیشتر می شود. سطح زندگی با توجه به تمرکز این تحقیق از سه عامل میزان آب شرب سرانه، برق تولیدی سرانه و غذای تولیدی سرانه در منطقه تشکیل شده است. غذای سرانه با در نظر گرفتن میزان آب مورد استفاده برای کشاورزی محاسبه شده است. سطح زندگی تامین شده بر تغییرات جمعیت منطقه و بالعکس تاثیر می گذارد. مدل های علی و حالت-جریان[۱۴] پژوهش حاضر بر این اساس طراحی شده اند.

زیر سیستم هیدرولوژی

همانگونه که در شکل ۴ دیده می شود. منابع آبی در دسترس که قابل عرضه می باشند از دو منبع اصلی منابع آب سطحی و زیرزمینی تامین می گردند. هر کدام از این منابع دارای ورودی و خروجی هایی می باشند که سطح آنها را در طی زمان تغییر می دهند. عوامل طبیعی همچون، بارش، رسوب، تبخیر و تعرق و عوامل ناشی از دخالت انسان همچون، انتقال آب از حوضه های دیگر و تصفیه آب بر این منابع تاثیر می گذارند (Madani & Marini, 2009). میزان بازگشت آب تصفیه شده به ظرفیت موجود تصفیه آب بستگی دارد. آب تصفیه شده چه منبع آن آبهای سطحی باشد و چه آب استخراج شده از منابع آب زیرزمین، به صورت جریان ورودی آب سطحی به سیستم باز می گردد. آبهای برگشتی به منابع آب زیرزمینی در واقع آبهای جذب شده می باشند که با تاخیر نسبتا زیاد به آبهای زیرزمینی باز می گردند. در اینجا این نکته قابل ذکر می باشد که

مدل حاضر با توجه به دامنه پژوهش، صرفا کمیت جریان های آبی را مـد نظـر داشـته و کیفیت آب های بازگشتی در نظر گرفته نشده است. به صورت طبیعی و همانطور کـه در مدل بالا مشخص می باشد، افزایش برداشت آب، سطح منـابع آبـی را کـاهش داده و بـه تبع آن در یک حلقه بازخورد منفی برداشت آب کاهش می یابد.



شکل۴: نمودار علی زیر سیستم هیدرولوژی (برگرفته از مدل پژوهش)

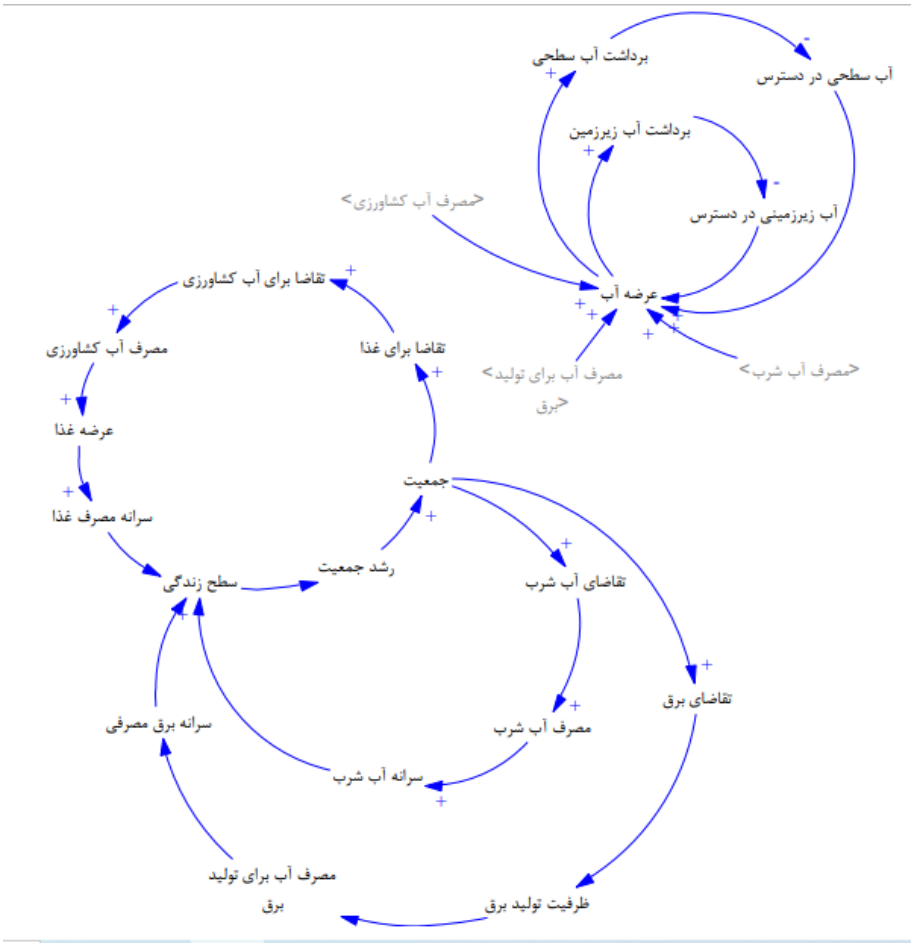
زیر سیستم شبکه آب-انرژی-غذا

در این مدل، انرژی برق به عنوان منبع انرژی تجدید پذیر که تحت تـاثیر منـابع آبی می باشند مورد توجه قرار گرفته است. عموما انرژی برق به صورت منطقه ای تولیـد و استفاده می گردد. با توجه به این موضوع انرژی برق به عنوان منبعی تجدید پـذیر کـه وابسته به منابع آبی منطقه می باشد در مدل لحاظ شده است. هر چه جمعیـت افـزایش یابد نیاز به برق در منطقه افزایش یافته و در نتیجه سرمایه گذاری و تولید افـزایش مـی یابد. افزایش سرانه برق موجب افزایش استاندارد زندگی شده و به نوبه خـود جمعیـت را

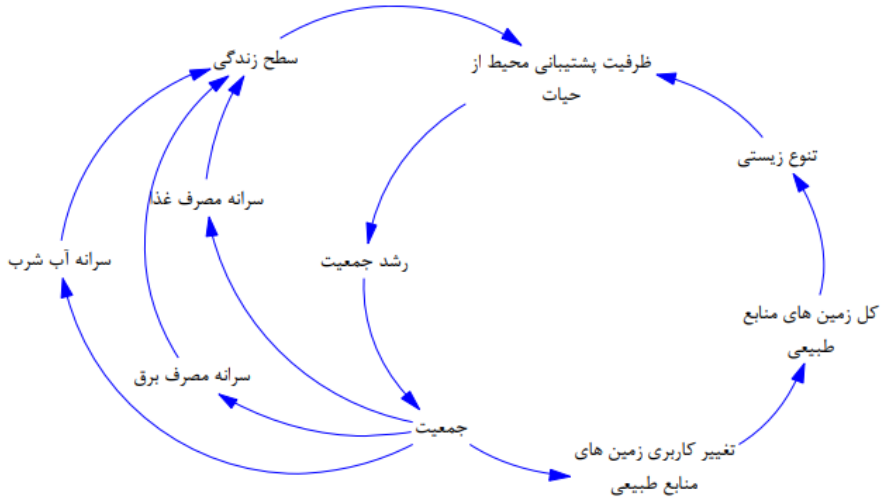
افزایش میدهد. از طرف دیگر افزایش مصرف آب در تولید برق ، برداشت از منابع آبی را افزایش داده و سطح منابع آبی کاهش می یابد. در مورد آب شرب مصرفی و تولیدات کشاورزی نیز منطق مشابهی حاکم می باشدو هرچه سرانه آب شرب، غذا و انرژی افزایش یابد رشد جمعیت نیز افزایش می یابد. این افزایش مصرف به صورت افزایش برداشت از منابع آبی در مدل مشخص شده است که منجر به کاهش سطح منابع آبی می گردد. شکل ۵ نمودار علی این زیر سیستم را نشان می‌دهد.

زیر سیستم سطح زندگی-جمعیت (ظرفیت پشتیبانی از حیات)

عامل مهم دیگر در تغییرات جمعیت، ظرفیت پشتیبانی محیط از حیات می باشد. در این زمینه که سیستمهای حمایتی حیاتی شامل چه حوزه هایی می شوند رویکردهای متنوعی وجود دارد. یکی از این رویکردها، به زمین های طبیعی به عنوان سیستم حمایت حیات اشاره دارد (Munasinghe & Shearer, 1995). در این دیدگاه زمین به عنوان زیستگاه گونه های مختلف حیات مورد توجه می باشد. به زبان ساده، هر چقدر زیستگاه ها برای بقا و رشد گونه های متنوع تر موجود باشد، ظرفیت عمومی سیستم برای پشتیبانی از حیات افزایش می یابد، موضوعی که از آن به عنوان ظرفیت پشتیبانی زیست بوم یاد می گردد. با این دیدگاه، زمانی که زمینهای طبیعی برای کشاورزی، سکونت انسانها و یا فعالیتهای صنعتی ، تغییر کاربری داده می شوند در عمل زیست گاه گونه های زیادی تحت تاثیر قرار گرفته و به تبع آن از تنوع زیستی کاسته می شود. این به‌نوبه خود باعث کاهش ظرفیت محیط برای پشتیبانی از زیست بوم می گردد. شکل ۶ نمودار علی این زیر سیستم را نشان می‌دهد.



شکل۵: نمودار علی زیر سیستم شبکه آب-انرژی-غذا (برگرفته از مدل پژوهش)



شکل۶: نمودار علی زیر سیستم جمعیت-سطح زندگی (برگرفته از مدل پژوهش)

معادلات مدل

منبع اصلی تامین آب منطقه آبهای زیر زمینی و پس از آن آبهای سطحی می باشند. با توجه به اینکه در این حوضه رودخانه دایمی وجود ندارد، آبهای سطحی تحت تاثیر بارش و رودخانه های فصلی می باشند. جریان ورودی آبهای سطحی (SWI) شامل جریان ورودی آبهای طبیعی که همان رودخانه های فصلی و رواناب ها می باشند (NSI)، جریان انتقالی آب از حوضه های مجاور(TSI) و جریان آب برگشتی (RSI) می باشد. بر این اساس، آب سطحی در دسترس (ASW) از مجموع جریانهای ورودی (SWI) به اضافه نشت از آبهای زیرزمینی(S) ، منهای تبخیر و تعرق (ES) و رسوب به آبهای زیرزمینی (P) می باشد.

$$SWI = NSI + TSI + RSI$$ رابطه ۱)

$$ASW = SWI + S - (E_S + P)$$ رابطه ۲)

به همین ترتیب، میزان آب ورودی به دریاچه مهارلو = آب سطحی در دسترس – برداشت آب سطحی

$$MAH\text{-}I = ASW - SWW$$ رابطه ۳)

جریان آب ورودی زیرزمین = جریان ورودی آب زیرزمینی طبیعی + جریان آب زیرزمین برگشتی

$$GWI = NGWI + RGI$$ رابطه ۴)

آب زیرزمینی در دسترس = جریان آب ورودی زیرزمینی + رسوب به آبهای زیرزمینی – (نشت به آبهای سطحی + تبخیر از آبهای زیرزمینی)

$$AGW = GWI + P - (S + P_G)$$ رابطه ۵)

عرضه آب = برداشت از آب سطحی + استخراج آب زیرزمینی

$$WS = SWW+GWW$$ رابطه ۶)

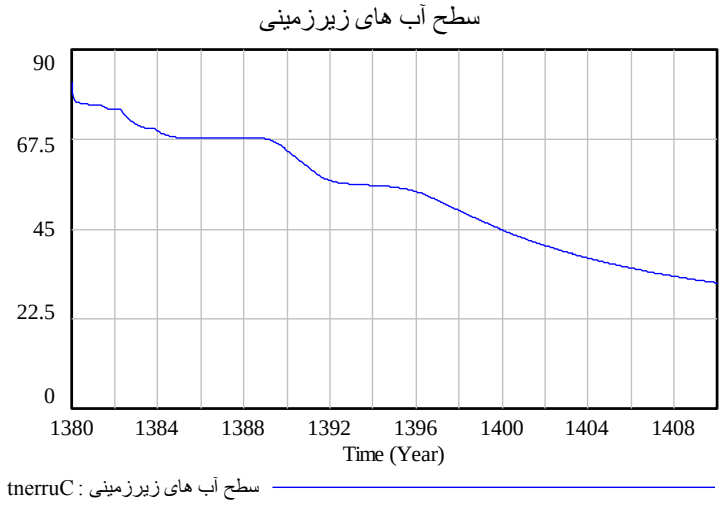
با توجه به اینکه میزان متغیر حالت از تجمع تغییر میان جریان ورودی و خروجی در طول زمان حاصل می گردد، هر کدام از متغیرهای بالا را می توان نمونه معادله زیر برای جریان های سطحی ورودی، برای متغیرهای دیگر نیز محاسبه نمود.

$$SWI(t) = \int_{t_0}^{t_n}[NIS(t) + TSI(t) + RSI(t)]dt + SWI(t_0)$$ رابطه ۷)

نتایج مدلسازی

متغیرهای متعددی در این مدل توسعه یافته و رفتار آنها بررسی شده است. همنگونه در بخشهای پیشین اشاره گردید، از میان این متغیرها، آبهای زیرزمینی به عنوان یکی از مهم ترین منابع منطقه بسیار مورد توجه بوده و رفتار آن در طول زمان تاثر قابل توجه-ای در ثبات اجتماعی و اقتصادی منطق می گذارد.در نتیجه تمرکز تحقیق حاضر بر تغییرات سطح آبهای زیرزمینی در طول زمان با توجه به تاثر و تاثرات عوامل دیگر می باشد.

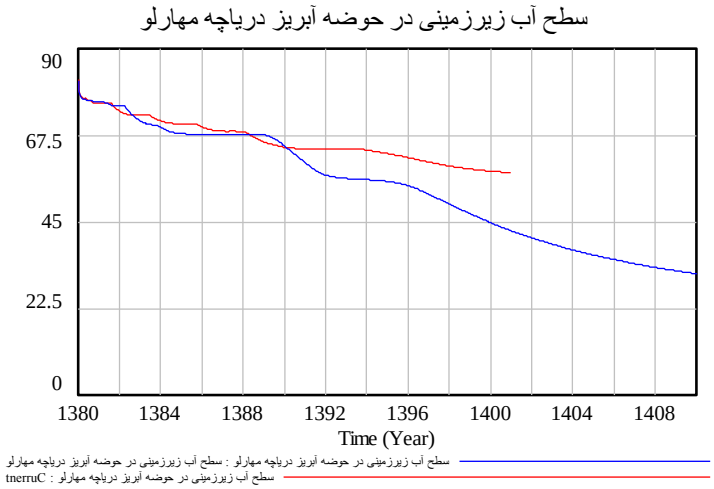
شکل ۱۰ نتیجه مدلسازی سطح آبهای زیرزمینی را نشان میدهد. همانطور که ملاحظه می گردد سطح آبهای زیرزمینی روند کاهشی را نشان می دهد. رفتار این متغیر در طول زمان به صورت نمایی کاهش می یابد. این بدین معنی می باشد که حلقه بازخوردی متعادل کننده جمعیت – سطح زندگی – منابع آبی با تاخیر عمل کرده، به صورتی که تاثیر آن تا ۱۰ سال آینده که بازه ی پیش بینی این مدل می باشد، محسوس نمی گردد. با توجه به نتایج به دست آمده، سطح آبهای زیرزمینی تا سال ۱۴۱۰، بیش از ۲۵ درصد کاهش می یابد. شکل زیر موید این مطلب است.



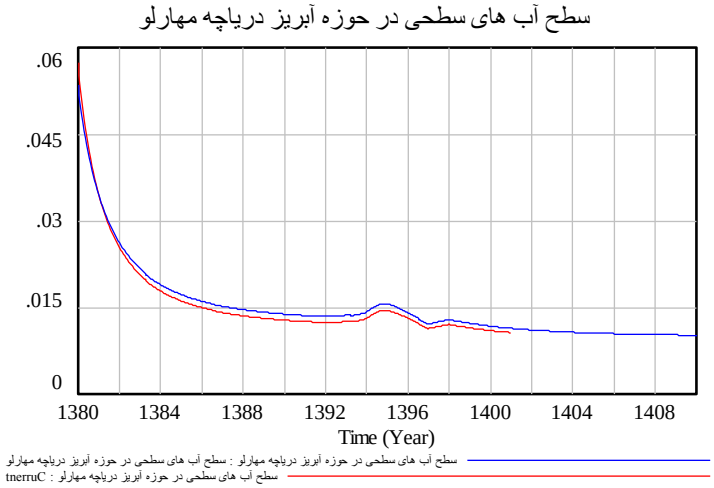
شکل۷: تغییرات سطح آبهای زیرزمینی تا ۱۴۱۰ (برگرفته از یافته های پژوهش)

آزمون رفتار مجدد[۱۵]

به منظور مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل حاصل از پژوهش با داده‌های موجود بر مبنای دیدگاه گذشته‌نگر از آزمون رفتار مجدد استفاده می‌گردد تا اطمینان از صحت عملکرد الگوی ارائه شده، حادث گردد. نتایج حاصله از شکل های ۸ و ۹ موید این موضوع است که اطلاعات واقعی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی متغیر عرضه و تقاضا در دوره‌ی ۲۰ ساله‌ی مورد بررسی (۱۴۰۰ تا ۱۳۸۰)، رفتار متغیرهای مورد بررسی را به خوبی شبیه‌سازی نموده است. در نمودارهای زیر مقادیر سطح آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز دریاچه مهارلو و سطح آب‌های سطحی حوضه آبریز دریاچه مهارلو که با رنگ آبی نمایان شده‌اند، موید رفتار شبیه‌سازی شده و مقادیر کنونی[۱۶] که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند، موید رفتار واقعی برای متغیر مورد نظر می‌باشند.



شکل۸: مقایسه مقدار تاریخی و مقدار پیش بینی شده سطح آبهای زیرزمینی (برگرفته از یافته های پژوهش)



شکل۹: مقایسه مقدار تاریخی و مقدار پیش بینی شده سطح آبهای سطحی (برگرفته از یافته های پژوهش)

آزمون محاسبه خطا

علاوه‌بر بازتولید رفتار الگوی پیشنهادی پژوهش متناسب با آزمون رفتار مجدد که پیش از این بدان اشاره گردید، برای کسب اطمینان از نتایج شبیه‌سازی شده در این مرحله به بررسی خطای متغیرهای کلیدی پرداخته شده است. در جدول ۳ نتایج محاسبه‌ی

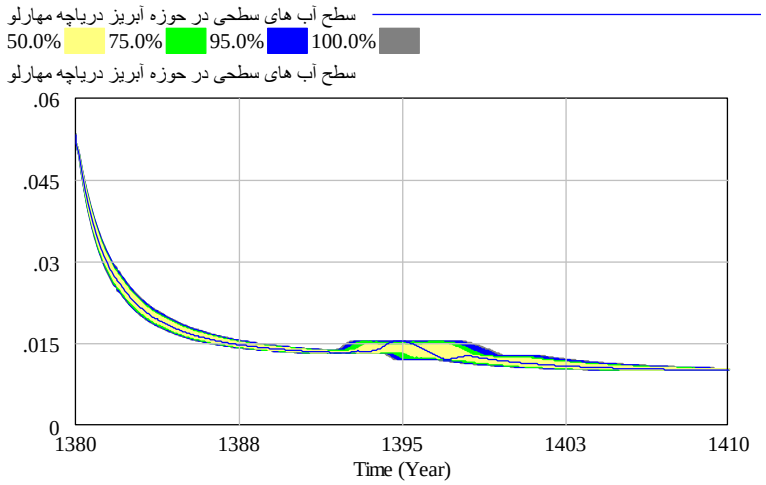
هریک از آزمون‌ها محاسبه‌ی خطا ارائه گردیده است. متناسب با نتایج حاصل از آزمون محاسبهٔ خطاها، مشاهده می‌گردد که حداقل خطای مجذورات برای هریک از متغیرهای کلیدی مورد بررسی نزدیک به صفر بوده و این امر موید این موضوع است که میان داده-های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی خطای کمی وجود دارد. میزان خطای محاسبه شده برای هریک از متغیرهای کلیدی آبهای زیرزمینی، آبهای سطحی و جمعیت به ترتیب برابر است با ۰/۰۷۲۹ ، ۰/۰۹۷۱و ۰/۱۰۹۴ . در نتیجه می‌توان چنین بیان نمود که میزان خطای متغیرهای مورد بررسی در سطح استاندارد قرار دارد.

جدول ۳: جدول محاسبه ریشه های خطا

متغیرها / آزمون	آبهای سطحی	سطح آبهای زیرزمینی
RMSPE	۰/۰۷۲۹	۰/۱۰۹۴
UT	۰/۰۸۸۱۷	۰/۰۶۷۱۱
Um	۰/۱۸۶۵	۰/۱۴۷۷۹
Us	۰/۳۳۱۹۷	۰/۳۸۲۱۹
Uc	۰/۴۸۱۵۵	۰/۴۷۰۱
Um+ Us+ Uc	۱	۱

آزمون تحلیل حساسیت

به منظور بررسی این موضوع که تا چه میزان متغیرهای کلیدی پژوهش نسبت به پارامترهای مورد بررسی در پژوهش حساسیت دارند از آزمون تحلیل حساسیت استفاده می‌شود. در این راستا حساسیت متغیر میزان بارش[۱۷] در سطح آب های سطحی در حوضه آبریز دریاچه مهارلو نسبت به تغییرات مورد بررسی قرار گرفته است. پارامتر مذکور را به میزان ۳۰± درصد تغییر داده و تاثیر آن را بر متغیر، مورد بررسی قرار داده-ایم. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت موید این موضوع است که تغییر ۳۰ درصدی در میزان بارش مسبب این امر خواهد بود که سطح آبهای سطحی با احتمال ۵۰، ۷۵، ۹۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب در بخش زرد، سبز، آبی و خاکستری رنگ قرار گیرد.



شکل۱۰: تحلیل حساسیت متغیر سطح آبهای سطحی (برگرفته از یافته های پژوهش)

تحلیل سناریوها

به منظور بررسی این موضوع که تا چه میزان دخالتهای مدیریتی می تواند بر روند کاهشی سطح آبهای زیرزمینی تاثیرگذار باشد، چندین سناریو مورد بررسی قرار گرفته است. تمامی سناریو ها با سناریوی صفر یعنی ادامه روند موجود مقایسه شده است. جدول زیر سناریو های مورد بررسی و نتایج[۱۸] را به صورت خلاصه نشان می دهد.

جدول ۴: سناریوهای بررسی شده در پژوهش

شماره	سناریوها	توضیحات	نتیجه اعمال سناریو
۰	ادامه روند فعلی	آبهای ورودی و خروجی مطابق روند گذشته صورت خطی با توجه به افزایش تقاضا ادامه دارد	ادامه روند کاهشی موجود
۱	کنترل جمعیت	سرعت رشد جمعیت به میزان ۵۰ درصد کاهش یابد.	افزایش ۸ درصدی منابع آبی زیرزمینی در افق ۱۴۱۰/ ادامه روند کاهشی
شماره	سناریوها	توضیحات	نتیجه اعمال سناریو

شماره	سناریوها	توضیحات	نتیجه اعمال سناریو
۲	توسعه سیستمهای تصفیه فاضلاب	تقاضای آب شهری با توسعه سیستمهای تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد به میزان ۵۰ درصد کاهش می یابد.	افزایش ۱۰درصدی منابع آبی زیرزمینی در افق ۱۴۱۰/ادامه روند کاهشی
۳	مدیریت تقاضای آب کشاورزی	تقاضای آب در بخش کشاورزی با تغییر روشهای آبیاری و مدیریت کاشت محصولات به صورت خطی و با شیب ۱۵ درصد کاهش می یابد.	افزایش ۱۸ درصدی منابع آبی زیرزمینی در افق ۱۴۱۰/ادامه روند کاهشی
۴	سناریو ۲ و ۳	مدیریت مصرف آب کشاورزی به صورت همزمان با توسعه سیستمهای تصفیه فاضلاب صورت گیرد.	افزایش ۲۴ درصدی منابع آبی زیرزمینی در افق ۱۴۱۰/سوق روند تغییرات از کاهشی به یکنواخت

بحث و نتیجه گیری

مدیریت منابع آبی در سالهای اخیر به یکی از دغدغه های اصلی مدیریتی کشور تبدیل شده است. تغییرات آب و هوا، افزایش جمعیت و افزایش شهرنشینی منابع آبی کشور را تحت فشاری روزافزون نهاده است. از آنجایی که کشور ایران از نظر موقعیت جغرافیایی در منطقه ای نیمه خشک واقع شده است تاثیرات تنش در منابع آبی خود را سریع تر و پررنگ تر نمایان می کند. از طرف دیگر مدیریت منابع آبی به واسطه ی روابط پیچیده متغیرهای متعدد، به خودی خود امری چالش برانگیز می باشد. ارتباط میان آب و تامین غذا به وسیله کشاورزی در کشور ما که سیاستهای خودکفایی کشاورزی را در بسیاری از محصولات دنبال می نماید این چالش را به صورت ویژه ای تعمیق نموده است. با اینکه قسمت عمده نیزا به انرژی در کشور از طریق استقاده از سوخت های فسیلی تامین میگردد، ولی همچنان قسمت قابل ملاحظه ای از نیاز به برق در کشور به صورت مستقیم (نیروگاه های برقابی) و یا غیر مستقیم (استفاده از آب جهت خنک کنندگی) به منابع آبی وابسته است. اضافه بر آن تامین آب شرب جمعیت رو به افزایش کشور، یکی از اولویتهای مدیریت منطقه ای می باشد. رقابت میان تامین این نیازهای اساسی در استفاده از منابع آبی، ساختاری پیچیده و غیر خطی را ایجاد نموده است. در سوی دیگر، به تناسب افزایش جمعیت، زمین های مورد نیاز برای سکونت، کشاورزی و استفاده صنعتی بیشتری نیز مورد نیاز می باشد. این افزایش جمعیت، نرخ تغییر کاربری

زمینهای طبیعی را افزایش داده است. هر چه زمینهای طبیعی بیشتری تغییر کاربری داده شوند، توانایی کلی منطقه در پشتیبانی از حیات کاهش می یابد. به عنوان مثال، این تغییرات می تواند منجر به تغییرات آب و هوایی از طریق از میان بردن پوشش های گیاهی و یا کاهش توانایی خاک برای جذب و تصفیه طبیعی آب گردد. رویا رویی با چنین تارنمای پیچیده ای از متغیرهای بهم تنیده، از عهده یک بخش خاص خارج بوده و مدیریتی یکپارچه و کل نگر را می طلبد. در همین راستا، تحقیق حاضر با تمرکز بر حوضه آبریز دریاچه مهارلو در استان فارس به عنوان نمونه ای از وضعیت موجود حوضه های آبریز کشور، سعی در تبیین ارتباط میان این متغیرها و در نهایت یاری رسانده به فرایند تصمیم گیری در این بخش ها نماید. مدل پویایی شناسی توسعه یافته در این تحقیق با در نظر گرفتن ارتباط میان متغیرها تلاش نموده است که بتواند پیش بینی از تغییرات سطح آبهای زیرزمین در بلند مدت را ارایه نماید. پیش بینی های مدل پژوهش، تاییدی بر وجود بحران در زمینه منابع آبی و به ویژه منابع آب زیرزمینی می باشد. بر این اساس چنانچه وضعیت کنونی ادامه یابد، سطح آبهای زیرزمین در آینده ای نزدیک به مرحله ای میرسد که امکان حیات در منطقه را می تواند به صورت جدی تهدید نماید. البته چنانچه پیش بینی مدل پژوهش از تاثیر دخالتهای مدیریتی نشان میدهد، می توان امیدوار بود که با تغییرات بنیادی در زمینه مدیریت شبکه آب-انرژی-غذا بتوان این فرایند را کاهش داده و یا متوقف نمود. با توجه به نتایج حاصل، تمرکز بر افزایش کارایی استفاده از آب در کشاورزی موثرترین راهکار از میان سناریوهای ارائه شده به نظر می رسد. این موضوع با توجه به استفاده درصد عمده ای از منابع آبی در کشاورزی، دور از ذهن نیز به نظر نمیرسد. تغییر در سیستمهای آبیاری و کشت هوشمند محصولات با توجه به ارزش آبی آنها می تواند به صورتی موثر بر کاهش آبهای زیرزمین تاثیرگذار باشد. البته اعمال تغییرات در این حوزه نیازمند برنامه ریزی دقیق و سرمایه گذاری وسیع می باشد. از طرف دیگر و به ویژه در منطق هایی با تراکم جمعیت بالا (مانند حوضه مورد مطالعه با توجه به وجود شهر شیراز)، سرمایه گذاری در توسعه سیستمهای فاضلاب برای افزایش میزان چرخه آب نیز، به عنوان راهکاری موثر می تواند به کارگرفته شود. تاثیر اعمل چنین سیاستهای فقط و فقط از طریق نگاه و مدیریتی یکپارچه به کل شبکه و دنبال کردن چندین سیاست هم راستا در آن واحد

امکان پذیر می باشد. این امر عزم قوی و جدی و سوی نهادهای حاکمیتی می طلبد تا فرزندان آینده کشور نیز بتوانند همچنان از سرمایه های طبیعی کشور بهره مند گردند.در پایان بایستی اشاره نمود که ارزش این تحقیق در اصل، تبیین روابط میان متغیرها و تحلیل رفتار آنها می باشد و اعداد به دست آمده از مدل، مانند هر مدل شبیه سازی سامانه های پیچیده، به صورت منفرد نباید لحاظ گردند.

پی‌نوشت‌ها

۱. وقتی ذخیره آب در سدی به زیر صفر می رسد به معنی آن است که حتی از ذخیره پایداری سد هم مصرف یا تبخیر شده است و بنای اصلی سد در معرض ترک خوردگی و تخریب قرار دارد .

۲. برگرفته از مصاحبه مدیر کل محیط زیست استان فارس با خبرگزاری مهر (خبرگزاری مهر، ۱۳۹۷)

3. Resilience

4. Food and Agricaltural Organization of the United nations (FAO)

۵. تمامی اطلاعات مربوط به حوضه آبریز از گزارشات رسمی سازمان آب منطقه ای استان فارس استخراج شده است. (معاونت مطالعات منابع آب, ۱۳۷۷) و (سازمان آب منطقه ای استان فارس, ۱۳۹۰)

۶. این حوضه از شمال غربی به جنوب شرقی کشیده شده و طول آن در امتداد یاد شده ۱۶۰ کیلومتر و عرض آن در امتداد دشت سروستان و دریاچه مهارلو حدود ۴۳ کیلومتر می‌باشد. وسعت این حوضه ۴۲۷۰ کیلومترمربع است.

۷. آب چشمه‌های دامنه کوه کفترک مانند چشمه‌های برم دلک، برم بابونک و برم جعفرخانی و چشمه‌های مجاور دریاچه مانند برم شور نیز پس از مصارف کشاورزی به دریاچه مهارلو می‌ریزند

۸. لازم به ذکر است که برای محاسبه مصارف آب چشمه‌ها و قنات‌ها نیمی از حجم سالانه آن‌ها به عنوان مصارف محسوب گردیده‌اند.

۹. در بقیه آبادی‌ها، دفع فاضلاب از طریق چاه جذبی انجام می‌شود.

۱۰. بر اساس ملیون متر مکعب

۱۱. مصرف کل آب شرب در محدوده شیراز ۱۲۵/۹۰ می باشد. از آنجایی که در این محدوده ۴۵/۱۰ آب انتقالی (۳۵/۱۰ از دزکرد-کامفیروز و ۱۰از قره باغ) وارد می شود، در جدول تفاضل این مقادیر آمده است.

۱۲. مقدار ۱۹/۴۴ آب از محدوده کوار قره آغاج جهت مصارف کشاورزی وارد این محدوده می گردد. در جدول تفاضل این مقدار با مقدار کل مصرف کشاورزی یعنی ۱۰۸/۲۲ درج شده است.

۱۳. با توجه به اینکه این مقدار در خود حوضه صرف شرب می گردد، در محاسبه مجموع، جزئی از آب شرب در نظر گرفته شده است.

۱۴. جزییات مدل های حالت-جریان در صورت درخواست قابل ارائه می باشد.

15. Behaviour Reproduction Test 16. Current

۱۷. میزان بارش مهمترین متغیر بیرونی مدل می باشد که به صورت مستقیم بر سطح آبهای سطحی تاثیر گذار است.

۱۸. جزییات مربوط به سناریوها و نمودارهای جزییات مربوط به سناریوها و نمودارهای مربوطه در صورت درخواست قابل ارائه می‌باشد.مربوطه در صورت درخواست قابل ارائه می‌باشد.

منابع

برزگر, ز. (۱۳۹۱). شهرنشینی و تاثیرات آن بر امنیت غذا، آب و انرژی در ایران نمونه موردی: شهر شیراز. *فصلنامه علمی تخصصی برنامه ریزی منطقه ای, ۲(۵), ۵۳–۶۴.*

بلالی, ح., و منتشلو, م. (۱۳۹۳). بررسی آثار آزادسازی قیمت انرژی بر منابع آب و خاک در بخش کشاورزی با استفاده از برنامه ریزی ریاضی. *فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران, ۳(۱۰), ۲۰۱–۲۱۸.*

حسینی، س.، و مازندرانی زاده، ح.، و نظری، ب. (۱۴۰۰). مدیریت توامان منابع آب سطحی و زیرزمینی و افزایش تاب آوری کشاورزان در مقابل کم آبی با پیش بینی قیمت محصولات کشاورزی و استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی شبکه آبیاری و زهکشی دشت قزوین). *تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران), ۵۲(۲), ۵۶۳-۵۷۶.*

خبرگزاری مهر. (۱۳۹۷). دریاچه های فارس شوره زار شدند/ نگرانی از ورود کویر - خبرگزاری مهر | اخبار ایران و جهان

سازمان آب منطقه ای استان فارس. (۱۳۹۰). مطالعات بهنگام سازی اطلس منابع آب حوضه آبریز دریاچه های طشتک-بختگان و مهارلو: بررسی ها و مشخصات عمومی. شیراز: سازمان آب منطقه ای استان فارس.

کامیاب، ز.، و علم بیگی، ا.، و رضایی، ع.، و حسینی، س. (۱۴۰۰). انتخاب چارچوب تحلیل نظام یکپارچه اجتماعی-اکولوژیک کشاورزان بهره بردار از منابع آب زیرزمینی یک آبخوان: کاربست مدل تصمیم گیری کوپراس. *مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران), ۷۴(۱), ۱۳۷-۱۵۵.*

کلاه زر مقدم، ف.، و کتابچی، ح. (۱۳۹۹). امکان سنجی به کارگیری مدل شبیه سازی – بهینه سازی برای ارزیابی تصمیم های مبتنی بر پیوند آب-انرژی-غذا با لحاظ خسارت های محیط زیستی. *اکوهیدرولوژی, ۷(۲), ۳۱۳-۳۲۹.*

معاونت مطالعات منابع آب. (۱۳۷۷). دریاچه های داخلی استان فارس. شیراز: سازمان آب منطقه ای استان فارس.

Allan, T., Keulertz, M., & Woertz, E. (2015). The water–food–energy nexus: an introduction to nexus concepts and some conceptual and operational problems. *International Journal of Water Resources Development, 31(3), 301–311.*

Allouche, J., Middleton, C., & Gyawali, D. (2015). Technical veil, hidden politics: Interrogating the power linkages behind the nexus. *Water Alternatives, 8(1), 610–626.*

Al-Saidi, M., & Elagib, N. A. (2017). Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. *Science of the Total Environment, 574, 1131–1139.*

Apthorpe, R., & Gasper, D. (2014). Introduction: Discourse analysis and policy discourse. *In Arguing Development Policy (pp. 7–21). Routledge.*

Bazilian, M., Rogner, H., Howells, M., Hermann, S., Arent, D., Gielen, D., Yumkella, K. K. (2011). Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy Policy, 39(12), 7896-7906.*

ERD, E. R. on D. (2012). Confronting Scarcity: Managing Water, Energy and Land for Inclusive and Sustainable Growth. *European Centre for Development Policy Management (ECDPM), and German Development Institute/Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (GDI/DIE).*

FAO. (2014). Walking the Nexus Talk: Assessing the Water-Energy-Food Nexus in the Context of the Sustainable Energy for All Initiative. Climate, Energy and Tenure Division (NRC) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Foran, T. (2015). Node and regime: Interdisciplinary analysis of water-energy-food nexus in the Mekong region. *Water Alternatives, 8(1), 655–674.*

Future Eearth. (2014). Future earth 2025 vision. *Future Earth Interim Secretariat Paris, France.*

Gulati, M., Jacobs, I., Jooste, A., Naidoo, D., & Fakir, S. (2013). The Water–energy–food Security Nexus: Challenges and Opportunities for Food Security in South *Africa. Aquatic Procedia, 1, 150–164.*

Hoff, H. (2011). Understanding the Nexus. Background paper for the Bonn2011 Nexus Conference: *Stockholm Environment Institute, (November), 1–52.*

Madani, K., & Mariño, M. A. (2009). System dynamics analysis for managing Iran's Zayandeh-Rud river basin. *Water resources management, 23(11), 2163-2187.*

Mollinga, P. P. (2008). Water, politics and development: Framing a political sociology of water resources management. *Water Alternatives, 1(1), 7–23.*

Munasinghe, M., & Shearer, W. (1995). *Defining and measuring sustainability: the biogeophysical foundations* (No. PB-95-258885/XAB). International Bank for Reconstruction and Development, Washington, DC (United States)

Weitz, N., Strambo, C., Kemp-Benedict, E., & Nilsson, M. (2017). Closing the governance gaps in the water-energy-food nexus: Insights from integrative governance. *Global Environmental Change, 45(June), 165–173.*

Zhang, C., Chen, X., Li, Y., Ding, W., & Fu, G. (2018). Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. *Journal of Cleaner Production.*

Water resources management in Food-Energy-Water Nexus: The application of system dynamics in Iran's Maharlu Lake Basin

Niloofar Safavian[1]
Ali Mohammadi[2]
Ali Naghi Mosleh Shirazi[3]
Moslem Alimohammadlo[4]

Abstract:
In recent years, the humane society has been faced with fundamental threats of production, supply and distribution of Water, Energy and Food. The geographical location of the country in a semi-arid area, has made the country more vulnerable, specifically in water resources. The extend and complexity of interrelationships amongst water resources and other domains, has made the management and policy-making tasks, extremely challenging. The danger of sub sectional policy making without taking into consideration the consequences of those policies on other related areas, calls for an integrated and holistic view. The Food-Energy-Water nexus (FEW) approach has gained a momentum in the recent years. System dynamics methodology as an effective tool that is capable of analyzing complex and nonlinear relations among variety of variables can be utilized. The current research tries to develop a conceptual model, taking into consideration, the interrelations in the FEW nexus. In order to operationalize the conceptual model, a system dynamics model has been developed and run. The results suggest that, if the current situation were to be continued, the stress on water resources in the area would reach a critical point to extent of the destabilization of a normal life, in the near future. Several scenarios of management intervention have been developed and tested in the research model. The outcome indicates that the reduction in agricultural water usage as well as development and enhancement of waste water treating systems, combined, would have the most effect on reducing the decreasing rate of the water resources.
Key words: Water resources management, Food-Energy-Water Nexus, System dynamics, Maharlu Lake Basin

1. Ph.D. Student, Management Group, Department of Economics, Management and Social science, Shiraz University, Shiraz, Iran
2. professor, Management Group, Department of Economics, Management and Social science, Shiraz University, Shiraz, Iran
3. Emeritus professor, Management Group, Department of Economics, Management and Social science, Shiraz University, Shiraz, Iran
4. Associate professor, Management Group, Department of Economics, Management and Social science, Shiraz University, Shiraz, Iran