نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۹۴-۷۳

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 31, No. 1, Spring 2017, p. 73-94

تأثیر سناریوهای اقلیمی و مدیریتی بر بخش کشاورزی و تخلیه منابع آبی در ایران: کاربرد الگوی پویایی‌های سیستم

اسماعیل پیش بهار[1*]- جلال رحیمی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۸

چکیده

پیش‌بینی الگوی رفتاری تغییرات در سیستم‌های منابع آب، تحت تأثیر اعمال سیاست‌های بهره‌برداری می‌تواند بهره‌برداران این منابع را به منظور استفاده بهینه، با توجه به موقعیت‌های فصلی و اقلیمی و بر اساس اصل توسعه پایدار یاری نماید. در این تحقیق به بررسی وضعیت آب‌های موجود در ایران و بهره‌برداری از آنها پرداخته شد، برای این کار با استفاده از روش پویایی‌های سیستم، حلقه‌های علت و معلولی و الگوهای اقتصادسنجی، مدلی شامل چهار بخش هیدرولوژی، تقاضای آب، تولید بخش کشاورزی و جمعیت توسعه داده شد که در آن اثر تولید بخش کشاورزی و بخش‌های غیر کشاورزی بر مصرف منابع آبی ایران برای دوره‌ی ۱۴۴۲-۱۳۹۲ نشان داده شد. در این تحقیق منابع آبی کشور به‌صورت منابع آب سطحی، آب‌های ذخیره‌شده، زیرزمینی و آب مجازی ناشی از واردات محصولات کشاورزی در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که روند تولید بخش کشاورزی، جمعیت، تقاضا برای محصولات کشاورزی و واردات در طی ۵۰ سال آینده افزایشی و صادرات بخش کشاورزی کاهشی خواهد بود، جمعیت کشور نیز حجم بیشتر از صد میلیون نفر را تجربه خواهد کرد و این فعالیت‌ها موجب تخلیه شدید منابع آبی خواهد شد. همچنین نتایج حاصل سناریوها نشان دادند که سناریوی تغییرات اقلیمی روند تخلیه منابع آبی را شدت خواهد بخشید و تولید بخش کشاورزی نیز نسبت به وضعیت موجود بیشتر کاهش خواهد یافت و سناریوهای مدیریتی نیز نشان دادند که کاهش برداشت از آب‌های زیرزمینی و انتقال آب موجب کاهش کمبود در بخش کشاورزی و غیر کشاورزی خواهند شد و در بلند مدت منابع آبی را احیا خواهند کرد.

واژه‌های کلیدی: انتقال آب، بخش کشاورزی، بیلان آب، تقاضای آب، تغییرات اقلیمی

مقدمه

کاهش ذخایر آب زیرزمینی، تهدیدی بسیار جدی برای امنیت آبی کشورها به شمار می‌آید، اما به نظر می‌رسد چندان جدی گرفته نشده است. تغییر اقلیم و تغییرات توأم با آن در چرخه آب، چالش‌های آتی تأمین آب را بسیار پیچیده‌تر می‌کند. سنگینی افزایش سریع و رشد نامتوازن جمعیت به ۸۰ میلیون نفر در سال ۱۳۹۴، موجب کاهش سرانه آب شده و رشد سریع شهرنشینی و ادامه مهاجرت به کلان شهرها برای رفاه بیشتر، نیاز به غذای بیشتر، ضرورت ارتقای سطح بهداشت و توسعه صنعتی تقاضای آب را روز به روز افزایش داده و فشار بر منابع آب را بیشتر کرده است. با توجه به رشد جمعیت در ایران سرانه منابع آب تجدید شونده سالانه که در سال ۱۳۳۵ هفت هزار مترمکعب بوده و در سال ۱۳۷۵ به ۲۰۰۰ مترمکعب کاهش یافته و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۱۴۰۰ به حدود ۸۰۰ مترمکعب کاهش می‌یابد که پایین‌تر از مرز کم‌آبی است. علاوه بر این الگوی استقرار جمعیت نیز سازگاری خود را با توزیع زمانی و مکانی منابع آب در مناطق مختلف کشور از دست داده است (۲۶ و ۳۳).

از آب و هوا و جغرافیای ایران همیشه به عنوان یک کشور نیمه خشک و خشک با هوای نیمه گرمسیری یاد می‌شود که بیشتر مناطق آن هم (حدود ۷۰ درصد) خشک است؛ به خصوص منطقه بزرگی که در کویر لوت و در فلات مرکزی ایران قرار دارد. به همین دلیل ایران از دیرباز بیشتر به آب‌های زیرزمینی و شبکه آبرسانی از طریق قنات‌ها و رودهای محلی و ذخیره آب به شیوه آب انبار متکی بوده است. حجم کل ریزش‌های جوی سال آبی ۹۴-۹۳ بالغ بر ۳۲۸/۸۴۶ میلیارد مترمکعب برآورد گردید که معادل ۱۹۹/۵ میلیمتر بارندگی می‌باشد. این مقدار بارندگی در مقایسه با میانگین دوره مشابه ۴۶ ساله (۲۴۳/۱

۱- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول (Email: Pishbabar@yahoo.com)
۲- دانش‌آموخته ارشد اقتصاد کشاورزی

DOI: 10.22067/jead2.v31i1.59486

میلیمتر) ۱۸ درصد کاهش و در مقایسه با سال ۹۳-۹۲ (۲۱۶/۷ میلیمتر) ۸ درصد کاهش نشان می‌دهد و حجم جریان‌های سطحی ۴۰/۸۷۹ میلیارد مترمکعب برآورد گردیده است که در مقایسه با متوسط درازمدت (۸۷/۲۲۹ میلیارد متر مکعب) ۵۳ درصد کاهش و نسبت به سال ۹۳-۹۲، به میزان ۴ درصد کاهش و همچنین حجم کل آب موجود در مخازن سدها نسبت به زمان مشابه سال قبل ۸ درصد کاهش داشته است. این در حالی است که بارش سالیانه متوسط در ایران، یک‌سوم متوسط جهانی است. نکته مهم این که ۷۰٪ از حجم بارش‌ها نیز به دلیل تبخیر از دست می‌روند. این وضعیت در سال ۲۰۱۳ میلادی وخیم‌تر بود و کاهش میزان بارش در این سال نسبت به متوسط سال‌های گذشته، باعث کاهش ۳۰٪ حجم آب پشت سدها شد. با در نظر گرفتن تحولات فوق، انتظار آن می‌رود که سرانه منابع آب در ایران به ۸۱۶ مترمکعب در سال ۱۴۰۴ برسد (سرانه منابع آب ایران در سال ۱۳۷۰ میلادی، ۲۰۲۵ مترمکعب بوده است) (۳۳).

بخش کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی کشور است، در حدود ۹۲ درصد آب کشور را مصرف می‌کند در حالی که سهم بخش کشاورزی در تولید ناخالص ملی از ۳۳ درصد در سال ۱۳۳۸ به حدود ۱۰ درصد در سال ۱۳۹۱ تنزل داشته، ۲۵درصد اشتغال، تأمین ۸۵ درصد غذای جامعه، ۲۵ درصد صادرات غیرنفتی و ۹۰ درصد مواد اولیه‌ی مورد استفاده در صنعت را فراهم می‌کند (بانک مرکزی، مدیریت منابع آب ایران، ۷،۲۹). میانگین بازدهی آبیاری کمتر از ۳۵ درصد است و تنها ۵ درصد از مساحت زیر کشت تحت سیستم آبیاری تحت فشار قرار دارد. در حالی که میزان مساحت زمین‌های کشاورزی تحت کشت دیم با مساحت زمین‌های کشاورزی تحت آبیاری برابر است، از کل اراضی برداشت شده در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ از حدود ۱۲/۲ میلیون هکتار سطح برداشت محصولات زراعی، تقریباً ۶۸/۷ میلیون تن انواع محصولات زراعی برداشت شده است به طوری که ۹۱ درصد میزان تولید محصولات زراعی متعلق به اراضی با کشت آبی و ۹ درصد بقیه میزان تولید متعلق به اراضی با کشت دیم می‌باشد. از کل اراضی برداشت شده در سال زراعی سهم کشت دیم از مجموع محصولات کشور تنها ۱۵ درصد می‌باشد در صورتی که در سطح جهانی سهم کشت دیم از کل تولیدات کشاورزی ۶۰ درصد است (۲۷ و ۳۳).

با افزایش راندمان آبیاری و کم آبیاری با کاهش مصرف آب، کارایی مصرف آب بالا رفته و از اتلاف آب جلوگیری می‌شود. با تعیین الگوی کشت بهینه در هر منطقه نه تنها می‌توان مصرف آب را کاهش داد بلکه درآمد کل افزایش می‌یابد. مصرف آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت کشور به ترتیب برابر با ۹۲، ۶ و ۱ درصد می‌باشد (۳۳).

بنابراین با توجه به کمبود بارندگی در ایران، مقوله تغییرات اقلیمی و افزایش استخراج منابع زیرزمینی در کنار افزایش جمعیت و رشد تقاضا برای بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب اهمیت منابع آبی کشور بیش از پیش آشکار می‌شود. همچنین با توجه به اینکه بخش کشاورزی کمترین سهم را در تولیدات داخلی کشور دارد و تأمین کننده امنیت غذایی کشور می‌باشد و بیشتر تولید این بخش را محصولات آبی تشکیل می‌دهند و محصولات دیم سهم اندکی دارند این در حالی است که راندمان آبیاری در این بخش پایین می‌باشد، لزوم شناخت بیلان آبی کشور با تأکید بر بخش کشاورزی از مسائل مهم و حیاتی کشور می‌باشد.

برای بررسی اثر بخش کشاورزی بر منابع آبی ایران از مدل پویایی‌های سیستم استفاده شد، زیرا که می‌توان این مدل‌ها را توسعه داد و بخشهای مختلف سیستم و اثرات آنها را بر یکدیگر مشاهده کرد و تأثیر سناریوهای مختلف را بر سیستم سنجید، در حالی که در سایر مدل‌ها این امکان وجود ندارد و محدود می‌باشند و در تخلیه منابع آبی همه متغیرهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی اثر گذار می‌باشند. بنابراین، در این تحقیق به بررسی اثر بخش کشاورزی بر تخلیه منابع آبی کشور با استفاده از روش پویایی‌های سیستم پرداخته شد. پویایی‌های سیستم در گستره وسیعی از مسائل مورد استفاده واقع شده است ابتدا توسط فارستر (۱۲) در استراتژی برنامه‌ریزی و طراحی یکپارچه به کار گرفته شد. تحقیقات زیادی در دنیا در زمینه اثر متغیرهای اقتصادی-اجتماعی بر تخلیه منابع آبی با استفاده از مدل پویایی‌های سیستم صورت گرفته است. در داخل کشور می‌توان به مطالعات صلوی‌تبار و همکاران (۲۲)، اردکانیان و کریمی (۲)، ناصری و همکاران (۲۰)، شفیعی جود و همکاران (۲۳)، اعلمی و همکاران (۱) اشاره کرد و در خارج کشور سیمونوویک[1] (۲۵)، مدل *Canada Water* را برای کانادا و قسمتی از کشور آمریکا در اطراف جزایر بزرگ به وسعت ۱۰ میلیون کیلومتر مربع مدل‌سازی کرد. در مدل *Canada Water*، نه زیر مدل (جمعیت، سرمایه، کشاورزی، غذا، آب، کیفیت آب، انرژی، آلودگی ماندگار و منابع آب تجدید ناپذیر) به صورت به هم پیوسته در نظر گرفته شده‌اند. هدف این مدل شبیه سازی روابط بین کمیت و کیفیت آب کانادا با متغیرهای عمده اجتماعی – اقتصادی در یک بازه فراتر از صد سال است و در آن دوازده سناریو برای سیاست‌های مختلف (تغییرات آب در دسترس، تصفیه فاضلاب، رشد اقتصادی، تولید انرژی و تولید غذا) شبیه سازی شده است. همچنین لیو و همکاران (۱۸)، خان و همکاران (۱۶)، داویس و سیمنوویک (۹)، ژیا و لنگ پوه (۳۵)، ژانگ و همکاران (۳۷)، ژو و همکاران (۳۸)، ژیانگ و همکاران (۳۶)، چن و همکاران (۸) منابع آبی را با استفاده از روش پویایی‌های سیستم مورد بررسی قرار دادند، آنها در یافتند که متغیرهای اقتصادی-اجتماعی و تغییرات

1-Simonovic

اقلیمی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تخلیه منابع آبی هستند. همچنین این مطالعات اثر متغیرها را در سطح محدود و منطقه‌ای در نظر گرفته‌اند در حالی که مشکل فراتر از این‌ها است و سطح جهانی را نیز در بر می‌گیرد، در حالی که در مطالعات گذشته مشکلات در سطح گسترده بیان نشده‌اند، این در حالی است که بخش کشاورزی در ایران در حال تخلیه منابع آبی کشور است و سهم اندکی از تولیدات داخلی کشور دارد، علاوه بر این امنیت غذایی کشور وابستگی زیادی به واردات دارد، بنابراین در این تحقیق سعی شد نمایی از آینده منابع آبی کشور و اثر بخش کشاورزی بر آن فراهم آید.

مواد و روش‌ها

پویایی‌های سیستم روش درک انواع مشخصی از مسائل پیچیده سیستم است. در پویایی‌های سیستم، مدل‌سازی در سه مرحله، (الف) نمودارهای علی-حلقوی، (ب) نمودارهای جریان و (ج) معادلات دینامو (ریاضی) صورت می‌گیرد. نمودارهای علی-حلقوی و جریان مدلسازی شیوه ساده‌ای برای نمایش ساختارهای حلقوی پیش از تدوین معادلات است. نمودارهای جریان مشتمل بر متغیرهای نرخ، سطح، کمکی و عناصر ثابت و یک سری آزمون‌ها، عملیات و دستورالعمل‌ها است که برای شبکه‌ای منسجم از مباحث مدیریت، اقتصاد، مالی و صنایع سازماندهی شده است. نمودارهای علی-حلقوی به شناسایی حلقه‌های اصلی بازخوردی می‌پردازد و به تمییز بین ماهیت متغیرهای مرتبط کاری ندارد و در پویایی‌های سیستم دو نقشم مهم ایفا می‌کند، (الف) در طول تدوین مدل، به صورت ساختار مقدماتی فرضیه‌های علی به مدلسازی کمک می‌کند، (ب) تصویر ساده‌ای از مدل ارائه می‌دهد. معادلات دینامو در واقع، نوعی معادله ریاضی به حساب می‌آیند که در طول زمان برای تبیین و پیش‌بینی متغیرهای مدل و شناسایی آنها با یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مراحل مدل سازی در روش تحلیل پویایی‌های سیستم به این ترتیب است:۱- شناخت و تعریف مسئله، ۲- رسم نمودارهای مرجع، ۳- تعریف متغیرهای عمده مطرح در مسئله، ۴- تعریف ارتباط بین متغیرها، ۵- رسم نمودار علت و معلولی بین متغیرها، ۶-تعریف مرزهای مدل، ۷-ساخت نمودار جریان برای مدل، در این نمودار متغیرهای نرخ و انباره‌ای از هم تفکیک شده مبتنی بر نمودار علت و معلولی و ارتباط بین متغیرها شکل کاملی از مدل رسم می‌گردد. در این نمودار خصوصیات مسئله مانند تأخیر رفتارهای غیرخطی، شروط و ... اعمال می‌شود، ۸-اجرا و واسنجی کردن مدل، بررسی اعتبار مدل، آزمون‌های مختلفی مانند تحلیل حساسیت، تحلیل حدی، سازگاری بعد متغیرها.

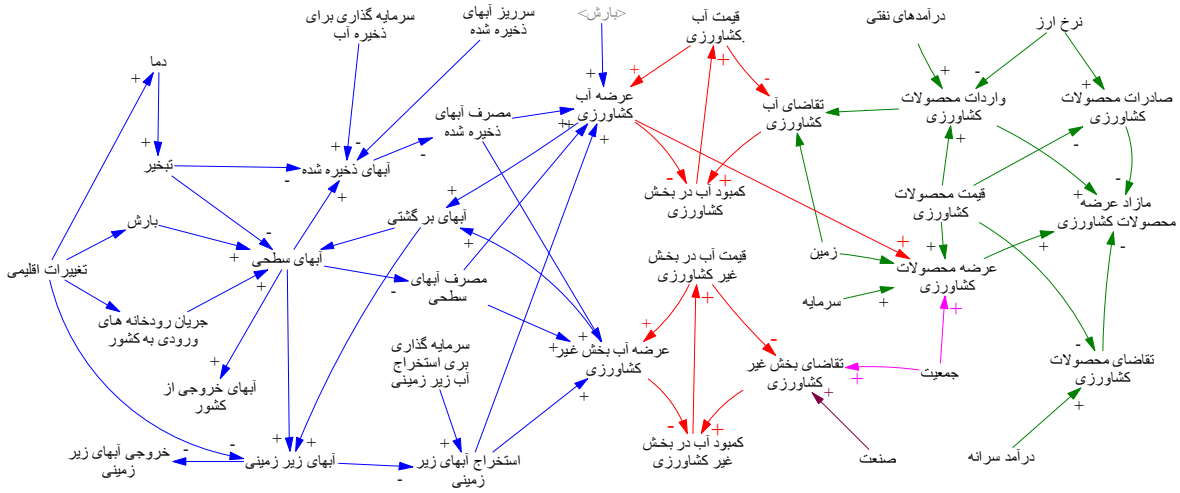
نمودارهای مرجع به عنوان الگوی رفتاری مدل از یک طرف به اعتبار سنجی مدل کمک می‌کند و از طرف دیگر با شناخت الگوی رفتاری متغیرهای مهم و برخی از انباشت‌ها در روند مدلسازی و انتخاب متغیرها مؤثر خواهد بود تحلیلگر با استفاده از مدل دیاگرام علی برای بسط و گسترش شماتیک یا فلو دیاگرام مدل اقدام می‌کند. به منظور انجام این کار لازم است که تحلیلگر ویژگی‌های متمایز هر کمیت و انواع ارتباط را به‌خوبی در ذهن داشته باشد. در ترسیم متغیرهای اصلی و یا حالت از مستطیل به صورت استفاده می‌کنند. در جدول ۱ مؤلفه‌های پایه‌ای در پویایی‌های سیستم نشان داده شده‌اند، نرخ را با شیرابه صورت، متغیرهای کمکی را نیز با دایره به صورت و ارتباط مستقیم بین دو متغیر را با بردار به شکل نشان می‌دهند.

جدول ۱- مؤلفه‌های پایه‌ای در مدل سیستم دینامیک

Tbale 1- Basic component of system dynamic models

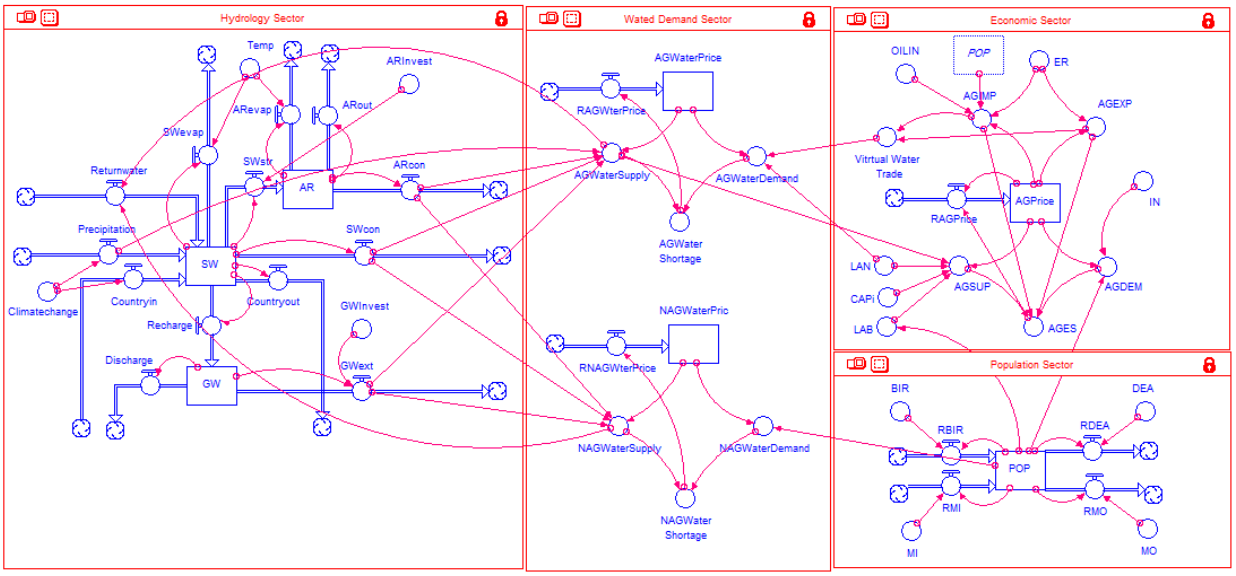
تعریف Definition	نام Name	علامت Symbol
متغیرهای حالت یا وضعیت، که به صورت تجمعی رفتار می‌کنند Cumulation, Stock or Satet, it represents acumulation	متغیر سطح یا انباره Level	Level
جریان افزایش یا کاهش متغیرهای انباره را در واحد زمان نشان می‌دهند Flow variabels, represnts change per unit time of sataet varible	متغیر نرخ Rate	Rate
متغیرهای کمکی در مدل (متغیرهای عادی یا ثابت) Supporting variable or constant	متغیر کمکی Auxiliary Variables	Auxiliary Variable
ارتباط بین دو متغیر رانشان می‌دهد Shows a direction between two variables	بردار Arrow	

در این مدل‌ها درک مسائل و تغییرات به صورت حلقه‌ای و بازخورد است. به کمک این شیوه شبیه‌سازی، پیامدهای نامشخص و پیش‌بینی نشده تصمیم‌گیری‌ها آشکار می‌شود. هدف عمده این روش، شبیه‌سازی رفتار سیستم‌ها در شرایط فعلی و آینده برای تسریع و تسهیل تصمیم‌گیری است.



شکل ۱- مدل علت و معلولی متغیرهای بخشهای هیدرولوژی، تقاضا برای آب، اقتصادی و اجتماعی

Figure 1- The general causes and effects model of hydrology and water demand in socio – economic sectors



شکل ۲- مدل ذخیره-جریان برای کل بخشهای هیدرولوژی، تقاضا برای آب، اقتصادی و اجتماعی

Figure 2- The stock and flow model of hydrology and demand of water in socio-economic sectors

در شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب نمودارهای علت و معلولی و نمودارهای ذخیره-جریان و نحوه اثر گذاری متغیرها بر یکدیگر نشان داده شده‌اند. برای این کار مدل در چهار بخش هیدرولوژی که نمودارهای علت و معلولی آن با رنگ آبی نشان داده شده، بخش تقاضا برای آب که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند، نمودارهای بخش اقتصادی که با رنگ سبز مشخص شده‌اند و بخش جمعیت که نمودارهای آن در شکل ۱ با رنگ صورتی نشان داده شده‌اند. همچنین در شکل ۲ نمودارهای ذخیره-جریان و نوع متغیرها و ارتباط آنها با یکدیگر بیان شده است.

بخش اول: هیدرولوژی و بیلان آب: بیلان عمومی آب تعیین کننده سهم هر یک از عوامل ورودی و خروجی آب در یک محدوده جغرافیایی است. منابع آب تحت تأثیر پارامترهای جریان ورودی، جریان خروجی، میزان تبخیر و تعرق، خروج از منابع آبی، نیازهای زیست‌محیطی به همراه بارندگی، تأثیر تغییرات اقلیمی، آب‌های برگشتی از مصرف بخش‌های اقتصادی- اجتماعی و سرمایه‌گذاری در ذخیره و برداشت از آب‌ها قرار دارد. در شکل ۲ جریان بیلان آب

کشور نشان داده شد و آب‌های سطحی (SW)، ذخیره‌شده مصنوعی (AW) و ذخیره قابل دسترس آب‌های زیرزمینی (GW) به صورت متغیرهای انباره و بر اساس آمار مرکز مدیریت و منابع آب کشور (۳۲)، به ترتیب برابر با ۴۵۰، ۳۰ و ۱۲۰ میلیارد مترمکعب در نظر گرفته شدند.

معادله متغیر انباره آب‌های ذخیره‌شده: با استفاده از مطالعات شیرانگی و همکاران (۲۴) و سیمونوویک (۲۵) رابطه هیدرولوژیکی آب ذخیره‌شده در پشت سدها را تابعی از مقدار آب ورودی، مصرف، تبخیر، سرریز و نیازهای زیست‌محیطی و مقدار آب ذخیره‌شده در نظر می‌گیریم و به صورت رابطه (۱) نشان می‌دهیم.

$$AR_t = AR_{t0} + \int (SWstr - ARevap - Arcon - Arout) * dt \quad (۱)$$

که در آن AR مقدار آب ذخیره‌شده در پشت سدها برحسب میلیمترمکعب در واحد زمان (t_0 زمان اولیه)، $Swstr$ مقدار آب ورودی از جریان‌های سطحی بر حسب میلیمترمکعب، $Arevap$ مقدار تبخیر از آب سدها بر حسب میلیمتر، $ARcon$ مقدار آب مصرفی از سدها بر حسب میلیمترمکعب، $ARout$ مقدار آب سرریز شده از سدها و نیازهای زیست‌محیطی بر حسب میلیمترمکعب است که، تابعی از حجم مخازن می‌باشند.

معادله جریان آب‌های ورودی به مخازن: معادله جریان آب‌های ورودی به مخزن به صورت تابعی از جریان ورودی آب‌های سطحی و میزان سرمایه‌گذاری در صنعت سدسازی به منظور ذخیره آب در نظر گرفته شد.

$$SWstr = \alpha_1 * Sw + \alpha_2 * ARInvest \quad (۲)$$

در رابطه ۲، SW حجم آب‌های ذخیره‌شده در کشور (میلیمترمکعب)، $ARInvest$ میزان سرمایه‌گذاری در صنعت سدسازی بر حسب تعداد سدهای ساخته شده، α_1 سهمی از حجم آب‌های سطحی که جریان‌های ورودی به سدها و مخازن را شکل می‌دهند و معادل 3×10^{-6} و α_2 میزان تأثیر افزایش تعداد سدها (سرمایه‌گذاری) در افزایش جریان ورودی به مخازن و معادل 5 میلیون مترمکعب به ازای افزایش هر سد، در نظر گرفته شد، که این مقدار با توجه با حجم سدهای موجود در کشور و آمار مدیریت و منابع آب کشور (۳۰)، که ۶۴۷ سد فعال در کشور وجود دارد، ۱۴۶ سد در مرحله اجرا و ۵۳۷ سد در مرحله مطالعاتی قرار دارد و پیش‌بینی که برای حجم سدهای در دست اجرا بر اساس مطالعات سازمان مدیریت منابع آب در نظر گرفته شده، وارد مدل شد.

معادله جریان آب‌های خروجی از مخازن: معادله جریان آب‌های خروجی از مخازن به صورت تابعی از مصرف بخش‌های اقتصادی-اجتماعی، تبخیر آب و سرریز از مخازن و نیازهای زیست‌محیطی می‌باشد. همانند مطالعه فلفلانی و همکاران (۱۱)، از معادله سازمان عمران اراضی امریکا[1] (۱۹۷۷) برای محاسبه تبخیر در این مطالعه بهره گرفته شد. معادله USBR این قابلیت را داراست که با استفاده از دما به عنوان تنها ورودی، تبخیر در افق طرح را برآورد نماید. که برای محاسبه تبخیر این معادله با توجه به قابلیت‌های آن انتخاب شد و به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$E(cm/year^{-1}) = 4.57\times T + 43.3 \quad (۳)$$

که در آن E: نرخ تبخیر از سطح منابع آبی (بر حسب سانتی متر در سال)، T: میانگین دمای هوا در سال (بر حسب درجه سانتیگراد) می‌باشد. بنابراین میزان تبخیر به صورت تابعی از حجم آبی که از سطح سدها تبخیر می‌شود و نرخ تبخیر به شکل رابطه (۴) در نظر گرفته شد.

$$ARevap = \alpha_1 * (4.57\times T + 43.3) \quad (۴)$$

که در آن α_1 سهمی از حجم آب‌های سطحی می‌باشد که از سطح آب‌های ذخیره‌شده تبخیر می‌شود، α_1 معادل 10×10^{-6} از سطح آب‌های ذخیره شده (که این مقدار بر اساس حجم تبخیر از سطح آب‌ها و نرخ تبخیر در نظر گرفته شد) و میانگین دمای هوای کشور نیز آمار سازمان هواشناسی کل کشور ۲۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شدند (به طوری که کشور بر اساس تقسیم بندی سازمان مدیریت منابع آب به شش حوضه آبخیز[2] تقسیم بندی شد و با میانگین‌گیری از دمای استان‌ها و حوضه‌های آبخیز این عدد در نظر گرفته شد).

$$ARcon = \alpha_1 AR \quad (۵)$$

در آن AR حجم آب‌های ذخیره‌شده (بر حسب میلیمترمکعب) و α_1 سهمی از آب‌های مصرفی می‌باشد که از ذخایر مصرف می‌شود و معادل 8×10^{-3} در نظر گرفته شد (مقدار آب خروجی از سدها بر اساس آمار سازمان مدیریت منابع آب کشور (۳۰) در نظر گرفته شد).

$$ARout = \alpha_1 AR \quad (۶)$$

در آن AR حجم آب‌های ذخیره‌شده (بر حسب میلیمترمکعب) و α_1 سهمی از مقدار آب‌های سرریز شده از ذخایر و مصرف نیازهای زیست‌محیطی می‌باشد و معادل 8×10^{-4} (مقدار آب رها شده از سدها و نیازهای زیست محیطی حداقل حجم آبی که باید همیشه در داخل سدها باشد و از این مقدار تجاوز نکند، برای جلوگیری از مشکلات زیست محیطی، بر اساس آمار سازمان مدیریت منابع آب کشور (۳۱) در نظر گرفته شد.

معادله متغیر انباره آب‌های زیرزمینی: همچنین با استفاده از

1- United States and Bureau of Reclamation

۲- حوضه‌های آبخیز ایران عبارتند از: ۱: حوضه دریای خزر ۲: حوضه خلیج‌فارس و دریای عمان ۳: حوضه دریاچه ارومیه ۴: حوضه مرکزی ۵:حوضه شرقی ۶: حوضه سرخس.

مطالعه بلالی و ویاگی (۳)، ذخیره آب‌های زیرزمینی که تابعی از نفوذ آب‌های سطحی، مصرف و مقدار آب‌های خروجی می‌باشد را به صورت رابطه (۷) بیان می‌کنیم.

$$GW_t = GW_{t0} + \int (Recharge - GWext - Discharge) * dt \quad (۷)$$

که در آن GW ذخیره آب‌های زیرزمینی (بر حسب میلیمترمکعب) و مقدار اولیه ذخیره قابل دسترس آب‌های زیرزمینی (GW_{t0})، معادل ۱۲۰ میلیارد مترمکعب بر اساس آمار سازمان مدیریت منابع آب (۳۱) کشور در نظر گرفته شد، $Recharge$ نفوذ آب‌های سطحی و $Discharge$ مقدار آب‌های خروجی (بر حسب میلیمترمکعب)، می‌باشند.

معادله جریان آب‌های ورودی به ذخیره آب‌های زیرزمینی: جریان ورودی به آب‌های زیرزمینی که تابعی از نفوذ آب‌های سطحی به صورت زیر در نظر گرفته شد.

$$Recharge = \alpha_1 * SW \quad (۸)$$

که در آن $Recharge$ جریان آب‌های ورودی به آب‌های زیرزمینی (بر حسب میلیمترمکعب)، SW متغیر انباره آب‌های سطحی و α_1 سهمی از آب‌های سطحی می‌باشد که جریان ورودی به آب‌های زیرزمینی (بر حسب میلیمترمکعب) را شکل می‌دهد و بر اساس گزارش سازمان مدیریت منابع آب کشور (۳۲) متوسط ضریب نفوذپذیری خاک برابر 22×10^{-5} میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد.

معادله جریان آب‌های خروجی از ذخیره آب‌های زیرزمینی: جریان خروجی آب‌های زیرزمینی تابعی از مصرف و خروج آن به صورت طبیعی می‌باشد که، به صورت رابطه زیر در نظر گرفته شد.

$$GWext = \alpha_1 * GW + \alpha_2 * GWInvest \quad (۹)$$

و در آن GW متغیر انباره آب‌های زیرزمینی (بر حسب میلیمترمکعب) و α_1 سهمی از آب‌های زیرزمینی می‌باشد که استخراج می‌شوند و معادل با 4×10^{-5} در نظر گرفته شد که این میزان برابر حجمی از آب‌ها است که بر اساس آمار مدیریت منابع آب کشور (۳۲) به صورت طبیعی و یا قنات‌ها از آب‌های زیرزمینی خارج می‌شوند، α_2 ضریب تأثیر افزایش تعداد چاه‌ها و یا به عبارتی افزایش سرمایه‌گذاری در استخراج آب‌های زیرزمینی می‌باشد و معادل با 32×10^{-5} در نظر گرفته شد که این میزان بر اساس آمار مدیریت منابع آب کشور (۳۲) که بالغ بر ۰/۸ میلیون چاه ثبت شده در داخل کشور وجود دارد و میزان آب‌دهی این چاه‌ها از حجم کل آب‌های زیرزمینی به دست آمد. جریان خروجی از آب‌های زیرزمینی به صورت زیر بیان شد:

$$Recharge = \alpha_1 * SW \quad (۱۰)$$

و در آن $Discharge$ میزان آب‌های خروجی از آب‌های زیرزمینی (بر حسب میلیمترمکعب)، SW متغیر انباره آب‌های سطحی (بر حسب میلیمترمکعب) و α_1 سهمی به میزان 2×10^{-4} از آب‌های سطحی که خارج می‌شوند، را شکل می‌دهد که بر اساس میزان نیاز زیست محیطی مقدار آب‌هایی که قابلیت استخراج شدن ندارند بر اساس آمار مدیریت منابع آب کشور (۳۲) به صورت سهمی از آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته شد که قابلیت تأثیر بر آبدهی چاه‌ها را ندارند.

معادله‌ی متغیر انباره آب‌های سطحی: آب‌های سطحی کشور تابعی از بارش، آب‌برگشتی، رودخانه‌های ورودی به کشور، تغذیه آب‌های زیرزمینی، مصرف، تبخیر، آب‌های ورودی به سدها و جریان‌های خروجی از کشور می‌باشد و همانند ژیانگ و همکاران (۳۶)، بازرگان و همکاران (۵)، وارد و همکاران (۳۱)، به صورت روابط (۱۱) و (۱۲) نشان می‌دهیم:

$$SW_t = SW_{t0} + \int (RetW + Prec + Counin - Rech - SWstr - SWcon - Swevap - Counout) * dt \quad (۱۱)$$

که در آن SW مقدار آب‌های سطحی (بر حسب میلیمترمکعب)، $RetW$ مقدار آب برگشتی (از مصارف کشاورزی، صنعت و شرب)، $Prec$ بارش (بر حسب میلیمترمکعب)، $Counin$ آب‌های ورودی به کشور (بر حسب میلیمترمکعب)، $Rech$ تغذیه آب‌های زیرزمینی (بر حسب میلیمترمکعب)، $Swstr$ جریان‌های ورودی به آب ذخیره‌شده سدها (بر حسب میلیمترمکعب)، $Swcon$ مقدار آب سطحی مصرفی (بر حسب میلیمترمکعب)، $Swevap$ تبخیر از آب‌های سطحی (بر حسب میلیمترمکعب)، $Counout$ جریان آب‌های خروجی (بر حسب میلیمترمکعب) از کشور می‌باشند. همچنین مقدار آب‌های برگشتی و مقدار تبخیر آب به صورت زیر محاسبه می‌شوند.

معادله جریان ورودی به آب‌های سطحی: معادله جریان ورودی به آب‌های سطحی تابعی از آب‌های بر گشتی از مصرف بخش کشاورزی و غیرکشاورزی، بارندگی و جریان آب‌های ورودی به کشور می‌باشد.

آب‌برگشتی تابعی از تقاضای آب کشاورزی، صنعت و شرب می‌باشد که با بهره‌گیری از مطالعات ژیانگ و همکاران (۳۶) و سیمونوویک (۲۵)، به صورت رابطه (۱۲) نشان می‌دهیم.

$$Retwate = \alpha_1 * AGWDEM + \alpha_2 * INDOWDEM \quad (۱۲)$$

که در آن $AGWDEM$ تقاضای آب کشاورزی (بر حسب میلیمترمکعب)، $DOWDEM$ تقاضای آب شرب (بر حسب میلیمترمکعب)، $INWDEM$ تقاضای آب صنعت (بر حسب میلیمترمکعب) و برای α_i سهمی به میزان ۰/۵درصد از حجم آب مصرفی که به صورت پساب به آب‌های سطحی بر می‌گردند، که این مقدار با توجه به راندمان آبیاری در بخش کشاورزی در نظر گرفته شد. همچنین میزان بارندگی و جریان آب‌های ورودی به کشور تابعی

از تغییرات اقلیمی می‌باشند که صورت زیر نشان داده شد.

$$\begin{aligned} Prec &= Climatecahnge * Precipitation \\ Counin &= Climatechange * Countryin \end{aligned} \quad (۱۳)$$

معادله جریان خروجی از آب‌های سطحی: معادله جریان خروجی از آب‌های سطحی تابعی از تغذیه آب‌های زیرزمینی، جریان ورودی به مخازن، مصرف، تبخیر و جریان آب‌های خروجی از کشور می‌باشد. بر اساس مطالعه بلالی و ویاگی (۳)، جریان ورودی به آب‌های زیرزمینی که تابعی از نفوذ آب‌های سطحی به صورت زیر در نظر گرفته شد.

$$Recharge = \alpha_1 * SW \quad (۱۴)$$

که در آن *Recharge* جریان آب‌های ورودی به آب‌های زیرزمینی (بر حسب میلیمترمکعب)، *SW* متغیر انباره آب‌های سطحی (بر حسب میلیمترمکعب) و α_1 سهمی از آب‌های سطحی می‌باشد که جریان ورودی به آب‌های زیرزمینی را شکل می‌دهد. میزان مصرف آب‌های سطحی به صورت تابعی از مصرف بخش کشاورزی در نظر گرفته شد.

$$SWcon = \alpha_1 * SW \quad (۱۵)$$

SW متغیر انباره آب‌های سطحی و α_1 سهمی از آب‌های سطحی می‌باشد که در بخش کشاورزی مصرف که برابر ۰/۸۹ در نظر گرفته شد، زیرا که بر اساس آمار مدیریت منابع آب کشور (۳۲) بخش کشاورزی بیشترین مصرف را دارد و حدوداً ۸۹ درصد از آب‌های خروجی از ذخایر در این بخش مصرف می‌شود. برای محاسبه تبخیر–تعرق از آب‌های سطحی بر اساس معادله سازمان عمران اراضی امریکا *USBR*[1] را به صورت زیر بیان کردیم.

$$Swevap = \alpha_1 * SW * (4.57 \times T + 43.3) \quad (۱۶)$$

که در آن *T* میانگین دمای هوا (بر حسب درجه سانتیگراد) می‌باشد. بنابراین میزان تبخیر (*Swevap*) به صورت تابعی از حجم ذخایر (*Sw*) در نظر گرفته شد. که در آن α_1 سهمی به میزان 2×10^{-5} از حجم آب‌های سطحی می‌باشد که از سطح آن تبخیر می‌شود که این میزان بر اساس آمار مدیریت منابع آب کشور (۳۲) به صورت حجمی از ذخایر در نظر گرفته شد. همچنین آب‌های خروجی از کشور (*Countryout*) به صورت حجمی از آب‌های سطحی در نظر گرفته شد که بر اساس آمار مدیریت منابع آب کشور (۳۲) به صورت سطحی (رودخانه‌های خروجی) از کشور خارج می‌شوند.

$$Countryout = \alpha_1 * SW \quad (۱۷)$$

SW متغیر انباره آب‌های سطحی و α_1 سهمی به میزان 2×10^{-3} از آب‌های سطحی می‌باشد که از کشور خارج می‌شود.

بخش دوم: تقاضای بخش‌های اقتصادی–اجتماعی برای منابع آب: در این بخش معادلات تقاضای آب برای بخش‌های اقتصادی–اجتماعی را با استفاده از مطالعات سیمونوویک (۲۵)، وارد و همکاران (۳۱) و ژیانگ و همکارن (۳۶) به صورت معادله ۱۹ تعریف شده است. در شکل ۲ متغیرهای اثر گذار بر مصرف منابع آب کشور نشان داده شده‌اند.

تابع قیمت آب در بخش کشاورزی و غیر کشاورزی: در این قسمت با بهره‌گیری از مطالعات ژانگ (۳۷)، برودل و همکاران (۶) و تو و همکاران (۲۹) قیمت آب یکی از عوامل مؤثر بر تخصیص منابع آب و افزایش کارایی این نهاده حیاتی در نظر گرفته شد. قیمت آب در بخش کشاورزی (*AGPricewater*) و غیر کشاورزی (*NAGPricewater*) یکی از عوامل کنترل کننده مصرف آب می‌باشد که در این تحقیق به صورت متغیر انباره در نظر گرفته شدند، لازم به ذکر است که قیمت مصرف آب در بخش کشاورزی به دلیل شفاف نبودن قیمت در این بخش بر اساس آمار هزینه تولید محصولات کشاورزی (۲۷)، متوسط نیاز آبی محصولات در کشور و میزان آب‌بهایی که از کشاورزان گرفته می‌شود در نظر گرفته شد و قیمت آب شرب بر اساس قیمت وزارت نیرو (۲۶) به ترتیب برابر ۹۶۰ و ۴۵۰۰ ریال در نظر گرفته شدند، *RAGPricewater* و *NRAGPricewater* نرخ‌های ورودی آن برای بخش کشاورزی و غیر کشاورزی در نظر گرفته شد که اضافه تقاضای آب (*Water_Shortage*) و نرخ‌تورم بر نرخ رشد قیمت آب تأثیر خواهد گذاشت.

$$\begin{aligned} WaterPrice_t &= WaterPrice_{t0} + \\ &\int (RWaterPrice) * dt \end{aligned} \quad (۱۸)$$

تأمین آب برای تقاضای آب کشاورزی: تقاضای آب کشاورزی نیز در این مدل به صورت کامل تأمین می‌شود. معادله‌ی بیلان عرضه و تقاضای آب کشاورزی به صورت معادله‌های ۱۹ و ۲۰ بیان شدند.

$$\begin{aligned} AGWDEM = {} & \alpha_1 Land + \alpha_2 Agripricewater + \\ & \alpha_3 Vitrtualwater \end{aligned} \quad (۱۹)$$

که در آن، *AGWDEM* تقاضای آب کشاورزی (بر حسب میلیمترمکعب)، *AGwaterprice* قیمت آب در بخش کشاورزی (بر حسب ریال برای هر متر مکعب آب)، *Vitrtual_water* تراز آب مجازی که از طریق صادرات و واردات محصولات کشاورزی تأمین می‌شود (بر حسب میلیمتر) که به صورت مدل رگرسیونی برآورد شدند.

همچنین *ARcon* ، *GWext* و *SWcon* به ترتیب آب تخصیصی به تقاضای بخش کشاورزی از آب‌های ذخیره‌شده، زیرزمینی و سطحی *Precipitation* بارش (بر حسب میلیمتر) می‌باشند و ضرایب آنها بر اساس سهم بخش کشاورزی از مصرف منابع آب بر اساس آمار مرکز مدیریت منابع آب کشور (۳۲)، ۰/۸۶ در نظر گرفته شد.

1- United State of Bureau Reclamation

$$AGWaterSupply = (\alpha_1 ARCON + \alpha_2 GWext + \alpha_3 SWcon) + \alpha_4 Precipitation \quad (۲۰)$$

تأمین تقاضای آب برای بخش غیر کشاورزی: در مدل (۲۱) تقاضای آبی غیر کشاورزی نشان داده شده همچنین معادله‌ای (۲۲) که تأمین آب غیر کشاورزی را بیان می‌کند نیز در زیر بیان شده است.

$$NAGWaterDemand = \alpha_1 POP + \alpha_2 Industry \quad (۲۱)$$

در آن، *NAWaterDemand* تقاضای آب در بخش شرب و صنعت (بر حسب میلیمتر)، *POP* جمعیت (بر حسب نفر) و به صورت متغیر انباره بر اساس مرکز آمار کشور برابر ۷۸ میلیون نفر در نظر گرفته شد و *Industry* ارزش تولید بخش صنعت (بر حسب میلیارد ریال) می‌باشد.

$$NAGWaterSupply = \alpha_1 ARCON + \alpha_2 GWext + \alpha_3 SWcon \quad (۲۲)$$

در آن *ARcon* آب تخصیصی به تقاضای بخش غیر کشاورزی از مخزن، *GWext* آب تخصیصی به تقاضای غیرکشاورزی از آب زیرزمینی (بر حسب میلیمترمکعب)، *SWcon* آب تخصیصی به تقاضای غیرکشاورزی از رودخانه (بر حسب میلیمترمکعب) و α_i سهم بخش غیر کشاورزی از تقاضای آب مصرفی از منابع می‌باشد که بر اساس آمار مرکز مدیریت منابع آب کشور برابر ۰/۱۴ در نظر گرفته شد.

بخش سوم: بخش اقتصادی: در شکل ۲ مدل دینامیکی بخش اقتصادی و متغیرهای اثر گذار بر تولید بخش کشاورزی، تقاضا برای محصولات کشاورزی، موجودی بازار، صادرات و واردات نشان داده شده است. در این قسمت توابع مورد استفاده با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی برآورد شدند.

تابع شاخص قیمت بخش کشاورزی: بر اساس مطالعه محمودی و مینایی (۱۹)، تابع قیمت به عنوان محرک بخش اقتصادی به صورت معادله (۲۳) در نظر گرفته شد، همچنین چون رفتار شاخص قیمت در ایران به صورت انباشته[1] می‌باشد، این متغیر به صورت انباره و شروع آن (مقدار اولیه) از ۱۰۰ در نظر گرفته شد، چرا که این متغیر شاخص قیمت است و در سال پایه ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود.

$$AGPrice_t = AGPrice_{t0} + \int (RAGPrice) * dt \quad (۲۳)$$

در این معادله (۲۳) *AGPrice* شاخص قیمت محصولات بخش کشاورزی، *RAGPrice* نرخ رشد قیمت محصولات بخش کشاورزی که با توجه به نرخ تورم ۱۵ درصد (متوسط نرخ رشد قیمت کالاهای کشاورزی در طول دوره مورد مطالعه ۹۲-۱۳۶۳) در نظر گرفته شد.

تابع عرضه و تقاضای محصولات کشاورزی : در این قسمت برای برآورد توابع عرضه و تقاضای بخش کشاورزی لازم است از فرم معادلات همزمان استفاده شود و معادلات عرضه و تقاضا به صورت همزمان برآورد شوند، زیرا که عرضه و تقاضا همزمان با هم شکل می‌گیرند و تابعی از قیمت می‌باشند.

تابع عرضه بخش کشاورزی: برای مدلسازی تولید کشاورزی، همانند باروو (۴)، ویرا و نارنیکا (۳۰) و ازولینس و همکاران (۲۱)، از مدل کاب داگلاس بهره گرفته شد، همچنین می‌توان تابع عرضه و تقاضای بخش کشاورزی را بر اساس مطالعه محمودی و مینایی (۱۹)، به صورت معادله‌های ۲۴ و ۲۵ بیان کرد:

$$AGSUP = \beta_0 + \beta_1 LAND + \beta_2 LAB + \beta_3 CAPI + \beta_4 AGWDEM + \beta_5 AGPrice + \varepsilon_t \quad (۲۴)$$

که در آن *AGSUP* عرضه محصولات بخش کشاورزی (میلیارد ریال)، *LAB* نیروی کار بخش کشاورزی (نفر)، *CAPI* سرمایه بخش کشاورزی (میلیارد ریال)، *LAND* سطح زیر کشت (هکتار) و *AGWDEM* مقدار آب مصرفی (میلیمتر) در بخش کشاورزی، *AGPrice* شاخص قیمت محصولات بخش کشاورزی، β_i ضرایب برآوردی متغیرهای مربوطه و ε_t جزء خطای تصادفی می‌باشند.

تابع تقاضای بخش کشاورزی: تقاضا برای محصولات کشاورزی به صورت تابعی از جمعیت، درآمد سرانه و قیمت محصولات در نظر گرفته شد.

$$AGDEM_t = \beta_0 + \beta_1 PERIN_t + \beta_2 POP_t + \beta_3 AGPrice_t + \varepsilon_t \quad (۲۵)$$

که در آن *AGPrice* شاخص قیمت محصولات بخش کشاورزی، (*POP*) جمعیت (نفر)، (*PERIN*) درآمد ملی سرانه (میلیارد ریال)، β_i ضرایب ناشی از برآورد معادلات همزمان و ε_t جزء خطای تصادفی می‌باشند.

تابع مازاد تقاضای بخش کشاورزی (بیلان کشاورزی): بر اساس مطالعه محمودی و مینایی (۱۹)، اضافه تقاضای بازار را به صورت تابعی از تولید، مصرف، صادرات و واردات در نظر می‌گیریم و به صورت معادله (۲۶) بیان می‌شود:

$$AGES = AGSUP + AGIMP - AGDEM + AXEXP \quad (۲۶)$$

در این معادله (۲۷) *AGES* اضافه تقاضای بازار محصولات کشاورزی (میلیارد ریال)، *AGIMP* واردات بخش کشاورزی (میلیارد ریال)، *AGED* تقاضا برای محصولات کشاورزی (میلیارد ریال) و *AGEXP* صادرات بخش کشاورزی (میلیارد ریال) می‌باشد.

تابع تقاضای صادرات و واردات بخش کشاورزی: تابع تقاضای صادرات بخش کشاورزی را همانند خان و نایت (۱۷) به صورت رابطه (۲۷) در نظر گرفته شد.

$$AGEXP_t = \beta_0 + \beta_1 ER_t + \beta_2 AGPrice_t + \varepsilon_t \quad (۲۷)$$

در معادله (۲۷)، *AGEXP* صادرات بخش کشاورزی (میلیارد ریال)، *ER* نرخ ارز واقعی (ریال)، *AGPrice* شاخص قیمت کالاهای

1-Cumulative

بخش کشاورزی، ، β_i ضرایب ناشی از برآورد معادله رگرسیونی و ε_t جزء خطای تصادفی می‌باشند. همچنین بر اساس مطالعات خان و نایت (۱۶) تقاضای واردات را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$\begin{aligned} AGIMP_t &= \beta_0 + \beta_1 OILIN_t + \\ &\beta_2 ER + \beta_3 AGPrice_t + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (۲۸)$$

در آن $AGIMP$ واردات (میلیارد ریال)، ER نرخ ارز واقعی (ریال)، $AGPrice$ شاخص قیمت کالاهای کشاورزی می‌باشد. β_i ضرایب ناشی از برآورد معادله رگرسیونی و ε_t جزء خطای تصادفی می‌باشند.

تجارت آب مجازی: آب مجازی مقدار آبی است، که باید برای تولید محصولات مصرف شود. که این آب بر اساس مطالعات هواکسترا و همکاران (۱۵) ذخیره سازی آب ملی به صورت رابطه (۲۹) نشان داده شد.

$$\begin{aligned} \sum_{c=1}^{n} \Delta S_{(c,t+1)} &= \sum_{c=1}^{n} WF_{(Import,\ c,\ t+1)} - \\ &\sum_{c=1}^{n} WF_{(Export,\ c,\ t+1)} \end{aligned} \quad (۲۹)$$

$$WF_{(Import,\ c,\ t+1)} = V_{(n,c,t+1)} \times I_{(c,t+1)}$$

$$WF_{(Export,\ c,\ t+1)} = V_{(n,c,t+1)} \times E_{(c,t+1)}$$

در آن ΔS تراز آب مجازی می‌باشد که، از تفاوت مجموع مقادیر آب مصرفی برای محصولات وارداتی و صادراتی به دست می‌آید. $WF_{(Import,\ c,\ t+1)}$ و $WF_{(Export,\ c,\ t+1)}$ به ترتیب مقدار آبی است که برای تولید محصولات وارداتی و صادراتی در داخل کشور است. $V_{(n,c,t+1)}$ مقدار کل آب مصرف شده برای تولید محصول بر حسب میلیمترمکعب در سال ($mm^3 / year$) برای تولید محصول C (بر حسب تن)، I مقدار واردات و E صادرات محصولات کشاورزی بر حسب تن می‌باشند. در این تحقیق متوسط نیاز آبی محصولات با استفاده از نرم‌افزار $NETWAT$ در حوزه‌های آبخیز محاسبه شد و سپس با توجه به مقدار صادرات و واردات محصولات مختلف مقدار آب مورد نیاز برای تولید محصولات در داخل کشور محاسبه شد.

بخش چهارم: بخش جمعیت: در شکل ۲ مدل دینامیکی رشد جمعیت نشان داده شده است. بر اساس مطالعات سیمونوویک (۲۵)، ژو و همکاران (۳۸)، رشد جمعیت را به صورت تابعی از نرخ تولد، نرخ مرگ و میر، نرخ مهاجرت به داخل و نرخ مهاجرت به خارج کشور با توجه به زمان در نظر می‌گیریم و به صورت معادله (۳۰) بیان می‌کنیم:

$$POP_t = POP_{t0} + \int (RBIR + RMI - RDEA - RMO) * dt \quad (۳۰)$$

در آن POP متغیر جمعیت به صورت انباره و مقدار اولیه آن بر اساس مرکز آمار کشور (۲۶)، ۷۸ میلیون نفر در نظر گرفته شد، $RBIR$ نرخ تولد، $RDEA$ نرخ مرگ‌ومیر، RMI نرخ مهاجرت به داخل و RMO نرخ مهاجرت به خارج کشور با توجه به زمان می‌باشد، که نرخ تولد و مرگ و میر در طی زمان مورد مطالعه روند کاهشی داشته‌اند و برای سال ۱۳۹۲ به ترتیب برابر ۱/۳ و ۱/۲۸ و نرخ رشد مهاجرت به داخل و خارج کشور نیز هر کدام برابر ۰/۱ در نظر گرفته شد.

سناریوهای مورد بررسی: در این مطالعه برای بررسی مدیریت منابع آب ایران چهار سناریوی عدم تغییر وضعیت موجود، سناریوی تغییرات اقلیمی، سناریوی مدیریت منابع آب، سناریوی تجاری در نظر گرفته شد. هر کدام از این سناریوها به چند تا زیر سناریو تقسیم شدند. سناریوهایی که برای این منظور در نظر گرفته شدند عبارتند از:

الف) وضعیت موجود: در این سناریو اثر شرایط موجود بر تخلیه منابع آب کشور بررسی می‌شود.

ب)سناریوهای اقلیمی: سناریوی تغییرات اقلیمی به صورت مقابل در نظر گرفته شدند. ب-۱) کاهش ۱۰ درصد در بارش کل کشور و افزایش ۱ درجه سانتی گراد به میانگین دمای کشور به صورت همزمان.

ج) سناریوهای مدیریت منابع آب: این سناریوها به صورت مقابل در نظر گرفته شدند. ج-۱) افزایش ۱۰ درصدی هزینه استخراج آبهای زیرزمینی (کاهش برداشت)، ج-۲) افزایش ۱۰ درصدی انتقال آب از خارج به داخل کشور (واردات آب).

داده‌ها: در این تحقیق با استفاده از داده‌های سالانه ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۲ به بررسی اثر فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بر تخلیه منابع آبی کشور با استفاده از مدلسازی پویایی سیستم‌ها پرداخته شد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای داده‌های موجود در بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (۷)، مرکز آمار کشور (۲۶)، وزارت جهاد کشاورزی (۲۷) و سازمان فائو (۱۰)، بانک جهانی (۳۴)، مدیریت منابع آب (۳۲) کشور جمع‌آوری و این داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری *Stata 12*, *Excel* ، *Vensim* و *iThink* تجزیه و تحلیل گردیدند. لازم به ذکر است که در تحقیق صورت گرفته آمارها میانگین روندهای کلی کشور را نشان می‌دهند و برای حوزه آبخیز ویژه‌ای صورت نگرفته، هر چند ممکن است که روندهای نشان داده شده در این تحقیق برای هر حوزه آبخیز متفاوت از حوزه آبخیز دیگر باشد، لذا یکی از توصیه‌های نگارندگان این است که این مطالعه می‌تواند برای حوزه‌های آبخیز کشور به صورت مجزا توسط محققین انجام گیرد، که لازم است جمعیت‌های آماری برای هر حوزه آبخیز انطباق داده شود.

نتایج تحقیق

در این قسمت ابتدا مانایی متغیرهای مورد استفاده در مدل‌های تجربی با استفاده از آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته و زیوت اندریوز مورد بررسی قرار گرفتند که در جدول ۲ نتایج این آزمون‌ها نشان داده شده است.

جدول (۲)- آزمون ریشه واحد زیوت اندریوز (ZW) و دیکی فولر تعمیم یافته (ADF)

Table 2 - Ziovt Andrews unit root test (ZA) and Dickey Fuller (ADF)

متغیر Variable		آماره آزمون دیکی فولر تعمیم یافته ADF Test		آماره زیوت اندروز ZA Test		نتیجه Result
		سطح داده‌ها Level	تفاضل داده‌ها Diff	سطح داده‌ها Level	تفاضل داده‌ها Diff	
تولید کل بخش کشاورزی (سال پایه ۸۳) Agriculture production	*LnAGSUP*	-3.791	-6.87***	-1.83	-6.3***	I(1)
واردات بخش کشاورزی (سال پایه ۸۳) Agricultural Import	*LnAGIMP*	-3.96	-5.56***	-0.84	-5.58***	I(1)
صادرات بخش کشاورزی (سال پایه ۸۳) Agricultural Export	*LnEXP*	-4.04	-5.56***	-1.35	-5.58***	I(1)
نیروی کار بخش کشاورزی Agricultural Labor	*LnLAB*	-3.93	5.64***	-0.95	-3.37***	I(1)
سرمایه بخش کشاورزی (سال پایه ۸۳) Agricultural Capital	*LnCAPi*	-1.22	-4.93***	-1.043	-4.34***	I(1)
درآمدهای نفتی (سال پایه ۸۳) Oil Income	*LnOILIN*	-6.56***	-	-4.58***	-	I(0)
نرخ ارز واقعی (سال پایه ۸۳) Real Exchange Rate	*LnER*	-2.01	-4.61***	-2.38	-5.24***	I(1)
جمعیت Population	*POP*	-2.57	-5.61***	-3.42	-9.89***	I(0)
شاخص قیمت مصرف‌کننده (سال پایه ۸۳) Agricultural Product Price Index	*AGPrice*	-1.79	-3.97***	-1.22	-4.78***	I(1)
سطح زیر کشت Cultivated Area	*LnLAND*	-3.82	-6.61***	-2.11	-5.35***	I(1)
مصرف آب بخش کشاورزی Agricultural water consumption	*LnAGWDEM*	-2.41	-8.29***	-2.41	-3.1***	I(1)
درآمد سرانه (سال پایه ۸۳) per Capita Income	*PERIN*	-1.44	6.57***	-4.09	-8.7***	I(0)
تراز تجاری آب مجازی Virtual Water Balance	*VitWat*	-1.65	3.41***	-1.51	-4.25***	I(1)
سرمایه‌گذاری در ذخیره آب (سال پایه ۸۳) Investment in Reserve Water	*ARInvest*	-2.02	3.56***	-2.13	-6.2***	I(1)
سرمایه‌گذاری در استخراج آب (سال پایه ۸۳) Investment in water Extraction	*GWInvest*	-2.12	5.31***	-2.27	-4.42***	I(1)

*، **، *** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵، ۱ درصد *, **, ***, significance in level 10, 5 and1 percent respectively

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

از جدول (۲) واضح است که طبق آزمون ریشه واحدی زیوت اندریوز متغیرهای تولید، واردات و صادرات محصولات کشاورزی، سرمایه بخش کشاورزی، نرخ ارز، شاخص قیمت مصرف‌کننده، سطح زیر کشت و آب مصرفی در بخش کشاورزی برای لحاظ شدن در تابع تعیین عوامل مؤثر صادرات در ایران انباشته از درجه یک یا I(۱) می‌باشد و متغیرهای درآمدهای نفتی، جمعیت و درآمد سرانه مانا هستند.

برآورد توابع عرضه و تقاضای بخش کشاورزی: ابتدا رابطه

بلند مدت بین متغیرهای عرضه و تقاضای محصولات کشاورزی را با استفاده از آزمون هم انباشتگی جوهانسون نشان داده شده، سپس به برآورد همزمان توابع عرضه و تقاضا برای محصولات کشاورزی پرداخته شده است. در جدول ۳ نتایج آزمون هم انباشتگی جوهانسون برای بررسی اثر رابطه بلند مدت بین متغیرها نشان داده شد حاکی از آن است که فرض صفر رد نشده و بیشتر از دو رابطه بلند مدت بین متغیرها وجود دارد.

جدول ۳- بررسی وجود رابطه‌ی بلندمدت بین متغیرهای عرضه و تقاضای محصولات کشاورزی

Table 3 - Evaluation of long-term relationship between supply and demand of agricultural products

ریشه مشخصه Eigenvalues	λ_{max}	λ_{Trace}	فرضیه صفر Null Hypothesis H_0:r	مقادیر بحرانی در سطح ۵ درصد Critical Values in Level 5 percent	
				(λ_{max})	(λ_{Trace})
	115.34	163.59	0	39.37	68.52
0.98	48.33	99.51	1	33.46	47.21
0.81	20.32	51.8	2	20.97	29.68
0.51	5.88	5.88	3**	14.07	15.41

مأخذ:یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

در جدول (۴) نتایج برآورد الگوهای تجربی عرضه و تقاضای کشاورزی که به‌صورت معادله‌های ۲۵ و ۲۶ بیان شدند، به‌صورت همزمان برآورده شده و نتایج آن به قرار زیر است.

جدول ٤- برآورد معادلات همزمان عرضه و تقاضای محصولات کشاورزی

Table 4- Estimated supply and demand simultaneous equations' of agricultural products for the period 1981-2013

متغیرها Variables	تابع عرضه کشاورزی Agricultural supply function		تابع تقاضای کشاورزی Agricultural demand function	
	ضریب Coefficient	P-Value	ضریب Coefficient	P-Value
سطح زیر کشت Cultivated Area	0.91***	0.000	-	-
سرمایه واقعی بخش کشاورزی Real capital in Agricultural sector	0.13***	0.000	-	-
نیروی کار بخش کشاورزی Labor in Agricultural sector	0.24**	0.011	-	-
آب مصرفی در بخش کشاورزی Agricultural water consumption	0.89***	0.000	-	-
شاخص قیمت کالاهای کشاورزی Agricultural product price index	0.11***	0.000	-0.078**	0.070
جمعیت Population	-	-	1.4***	0.000
درآمد ملی National income	-	-	0.075**	0.020
عرض از مبدأ Intercept	-14.86	0.000	-13.42	0.033
R^2	0.98	-	0.95	-
RMSE	0.041	-	0.07	-
F	393.57	0.000	331.02	0.000

*، **، *** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵، ۱ درصد *, **, ***, significance in level 10, 5 and1 percent respectively

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

نتایج حاصل از جدول ۴ نشان می‌دهد که سطح زیر کشت و آب مصرفی در بخش کشاورزی بیشترین تأثیر را بر تولید محصولات کشاورزی دارند و پس از آن شاخص قیمت مصرف‌کننده، سرمایه و نیروی کار در رتبه‌های بعدی قرار دارند و جمعیت و قیمت به ترتیب مهم‌ترین متغیرهای اثر گذار بر تقاضای محصولات کشاورزی می‌باشند.

برآورد توابع صادرات و واردات بخش کشاورزی: در جدول ۵ نتایج آزمون هم انباشتگی جوهانسون برای بررسی اثر رابطه بلند مدت بین متغیرها بین متغیرهای صادرات و واردات محصولات کشاورزی نشان داده شد که نتایج حاکی از آن است که فرض صفر رد نشده و بیشتر از دو رابطه بلند مدت بین متغیرها وجود دارد. در جدول (۶) نتایج برآورد الگوهای تجربی ۲۸ و ۲۹، توابع صادرات و واردات محصولات کشاورزی که به صورت همزمان برآورد شدند، نشان داده شده است.

جدول ۵- بررسی وجود رابطه‌ی بلندمدت بین متغیرهای صادرات و واردات محصولات کشاورزی

Table 5 - Evaluation of long-term relationship between export and import of agricultural products

ریشه مشخصه Eigenvalues	λ_{max}	λ_{Trace}	فرضیه صفر Null Hypothesis H_0:r	مقادیر بحرانی در سطح ۵ درصد Critical Values in Level 5 percent	
				(λ_{max})	(λ_{Trace})
-	150.03	298.09	0	39.37	94.15
0.99	63.157	148.06	1	10.72	56.52
0.88	45.54	84.09	2	33.46	47.21
0.77	26.98	39.36	3	20.97	29.68
0.60	12.32	12.38	**4	14.07	15.41

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ٦- نتایج برآورد معادلات همزمان صادرات و واردات محصولات کشاورزی

Table 6- Estimated export and import simultaneous equations' of agricultural products

متغیرها Variables	تابع صادرات Export function		تابع واردات Import function	
	ضریب Coefficient	P-Value	ضریب Coefficient	P-Value
نرخ ارز واقعی Real exchange rate	1.28***	0.000	-1.22***	0.000
شاخص قیمت محصولات کشاورزی Agricultural product price index	-1.29***	0.000	0.16**	0.007
درآمدهای نفتی Oil Incomes	-	-	0.81**	0.004
جمعیت Population	-	-	4.54***	0.000
عرض از مبدأ Intercept	520.51	0.000	17.77	0.049
R^2	0.98		0.9	
RMSE	0.174		0.276	
F	302.55		32.27	

*، **، *** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵، ۱ درصد *, **, ***, significance in level 10, 5 and1 percent respectively

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

در جدول ۶ نتایج حاصل از برآورد همزمان مدل‌های صادرات واردات نشان داد که شاخص قیمت مصرف‌کننده و نرخ ارز واقعی[1]، اثر گذارترین متغیرها بر صادرات هستند و متغیرهای جمعیت، شاخص قیمت مصرف‌کننده، نرخ ارز و درآمدهای نفتی معنی‌داری خود را در تابع واردات محصولات کشاورزی نشان داده‌اند.

برآورد معادله تقاضای آب در بخش کشاورزی: در جدول ۷ نتایج حاصل از آزمون هم انباشتگی جوهانسون برای بررسی اثر رابطه

۱- متغیر نرخ ارز واقعی از حاصل‌ضرب نرخ ارز اسمی دلار آمریکا (قیمت هر واحد دلار برحسب قیمت داخلی یعنی ریال) در نسبت شاخص قیمت مصرف‌کننده امریکا (PPI) به شاخص قیمت مصرف‌کننده ایران (CPI) به دست می‌آید.

بلند مدت بین متغیرهای تقاضا برای آب کشاورزی نشان داد که فرض صفر رد نشده و حداقل یک رابطه بلند مدت بین متغیرها وجود دارد. در جدول ۸ نتایج برآورد الگوی تجربی تقاضای آب در بخش کشاورزی که به صورت به معادله ۲۰ بیان شد نشان داده شده است.

نتایج حاصل از برآورد تابع تقاضا برای آب کشاورزی در جدول ۸ نشان می‌دهد که قیمت آب کشاورزی و کمبود آب در بخش کشاورزی بر تقاضای آب در این بخش اثر معنی‌دار دارند.

جدول ۷- بررسی وجود رابطه‌ی بلندمدت بین تقاضای آب کشاورزی و متغیرهای اثر گذار بر آن

Table 7 - Evaluation of long-term relationship between export and import of agricultural products

ریشه مشخصه Eigenvalues	λ_{max}	λ_{Trace}	فرضیه صفر Null Hypothesis H_0:r	مقادیر بحرانی در سطح ۵ درصد Critical Values in Level 5 percent	
				(λ_{max})	(λ_{Trace})
0.15	25.75	29.68	0	20.97	25.6875
0.045	1.47	1.47	**1	10.72	5.77

مأخذ:یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۸- نتایج برآورد معادله تقاضای آب در بخش کشاورزی

Table 8- Estimated agricultural water demand function

متغیرها Variables	تابع تقاضای آب کشاورزی Agricultural water demand function	
	ضریب Coefficient	P-Value
قیمت آب کشاورزی Agricultural water price	1.5***	0.006
تراز تجاری آب مجازی Virtual water balance	-0.34***	0.000
عرض از مبدأ Intercept	0.854	0.006
R^2	0.98	
RMSE	1.96	
F	88.03	

*، **، *** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵، ۱ درصد.

*, **, ***, significance in level 10, 5 and1 percent respectively

مأخذ:یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

برآورد مدل دینامیکی (سناریوهای مورد بررسی): در این قسمت مطالعه سناریوی وضعیت موجود در مقابل سناریوهای آتی اثر تغییرات اقلیمی و سناریوهای مدیریت منابع آب از قبیل: تغییر (افزایش) دما و (کاهش) بارندگی با توجه به این پدیده جهانی، افزایش سرمایه‌گذاری برای ساختن سد بر روی منابع آب سطحی، کاهش هزینه استخراج آب‌های زیرزمینی و انتقال آب از خارج کشور به داخل کشور (واردات آب) بر روی منابع آب کشور و بخش اقتصادی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند.

برای ارزیابی عملکرد مدل ابتدا، نوسانات سطح منابع آبی در مدل شبیه سازی شده و نتایج مدل با مقادیر واقعی مقایسه شده است.

در شکل ۳، نتایج حاصل از مدل برای مقدار نیاز کشاورزی و مقادیر برداشت‌های انجام شده در سال‌های گذشته مقایسه شده است.

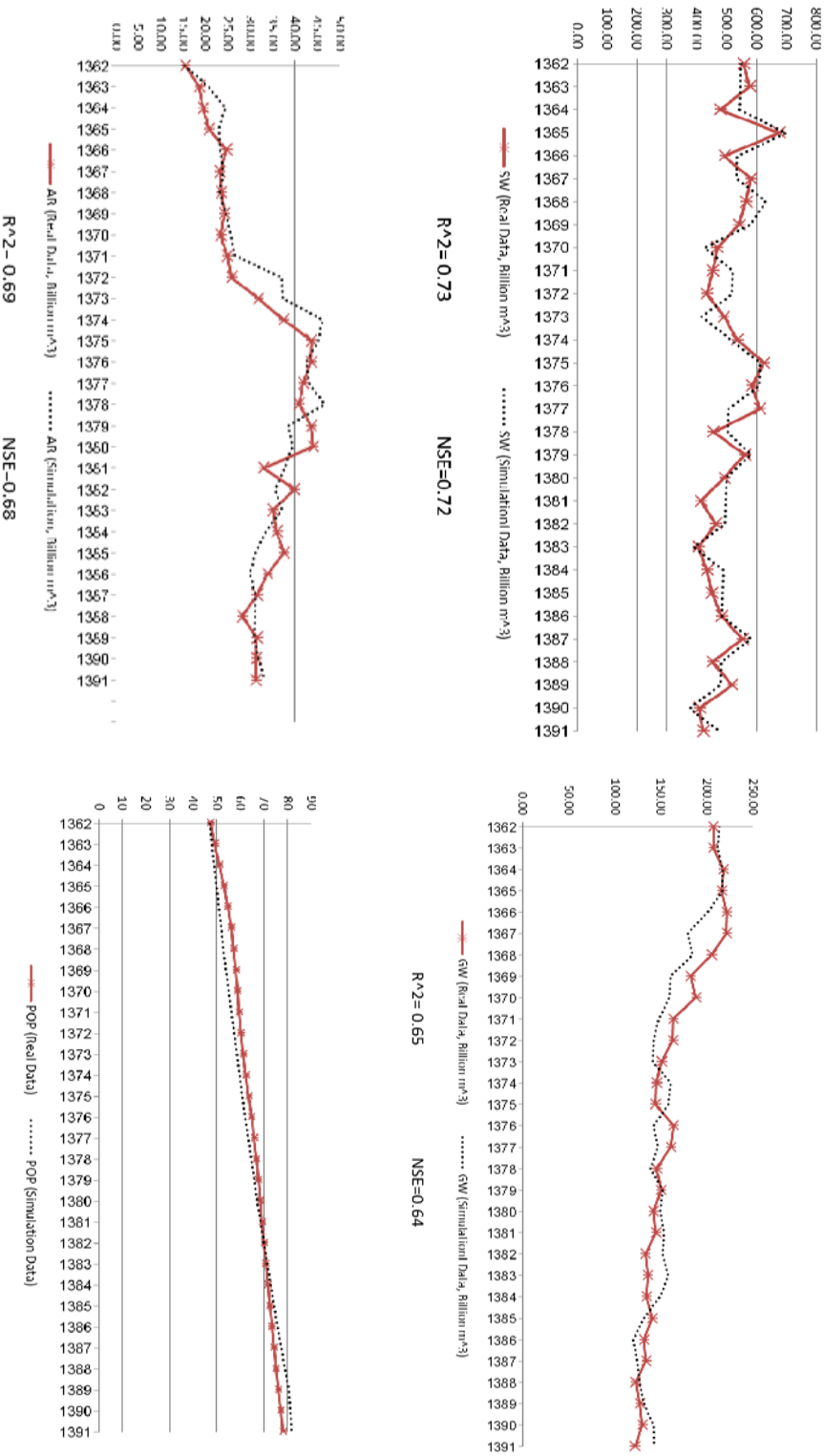
که نتایج حاصل از آماره‌های R^2 و NSE[1] نشان از مورد قبول بودن مدل دارد.

الف) سناریوی وضعیت موجود: در جدول ۹ نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل دینامیکی به صورت آماری برای بخش‌های هیدرولوژی تقاضای آب، بخش اقتصادی و جمعیتی پرداخته شده است نشان داده شده است.

جدول ۹ نتایج حاصل از شبیه سازی منابع آبی ایران را برای دوره‌ی ۱۴۴۲-۱۳۹۲ نشان می‌دهد، واضح است که منابع آبی ایران رو به کاهش است و طی ۵۰ سال آینده به شدت تخلیه خواهند شد. بر اساس نتایج روند تخلیه آب‌های سطحی بسیار شدید می‌باشد و از

1-Nash-Sutcliffe Efficiency

۴۵۰ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۲ بـه ۳۷۱ میلیـارد مترمکعـب در سال ۱۴۳۲ کـاهش خواهـد یافـت. ذخیـره آب پشـت سـدها و سـایر آب‌های ذخیره‌شده روند نزولی در طی سال‌های آینده خواهند داشت و از ۳۰ میلیارد مترمکعب به ۱۹ میلیارد مترمکعب کاهش خواهد یافت و مقدار آبهای زیرزمینی قابل استخراج از ۱۲۰ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۲ به ۶۹ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۳۲ کاهش خواهد یافت.



شکل ۳- نتایج صحت سنجی مدل برای متغیرهای منابع آب سطحی (Sw)، منابع آب ذخیره شده(AR)، منابع آب زیرزمینی (GW) بر حسب میلیارد متر مکعب و جمعیت (POP) بر حسب میلیون نفر برای دوره‌ی ۹۱-۱۳۶۲

Figure 3. The results of model verification for the variables of surface water (Sw), Reservior (AR), groundwater (GW) in billion cubic meters and a population (POP) in million people for a period of 1361-92

جدول ۹- نتایج آماری پیش‌بینی مدل دینامیکی بخش‌های هیدرولوژی و اقتصادی-اجتماعی

Table 9- Predicted statistical results of dynamic model for hydrological and socio-economic dynamic

سال	آبهای ذخیره شده در پشت سدها (میلیارد مترمکعب)	آبهای زیرزمینی (میلیارد مترمکعب)	آبهای سطحی (میلیارد مترمکعب)	قیمت آب کشاورزی (ریال)	شاخص قیمت محصولات کشاورزی	صادرات بخش کشاورزی (هزار میلیارد ریال)	واردات بخش کشاورزی (هزار میلیارد ریال)	عرضه بخش کشاورزی (هزار میلیارد ریال)	تقاضای محصولات کشاورزی (هزار میلیارد ریال)	جمعیت (میلیون نفر)	کمبود آب در بخش کشاورزی (میلیارد مترمکعب	کمبود آب در بخش غیر کشاورزی (میلیارد مترمکعب
Year	Reservior Water (Billion m^3)	Ground Water (Billion m^3)	Surface Water (Billion m^3)	Agricultural price Water (Iranian Rials)	Agricultural Product Price Index	Agricultural Export (Thousand Billion Iranian Rials)	Agricultural Import (Thousand Billion Iranian Rials)	Agricultural Production (Thousand Billion Iranian Rials)	Agricultural product Demand (Thousand Billion Iranian Rials)	Population (Million People)	Agricultural Shortage Water (Billion m^3)	Non-Agricultural Shortage Water (Billion m^3)
1392	30.00	120.00	450.00	1000.00	100.00	3.82	31.40	141.71	186.25	78.00	365.97	1.70
1393	29.69	118.56	448.35	1010.81	101.40	3.74	31.40	137.53	191.92	79.57	365.99	1.74
1394	29.38	117.14	446.71	1021.62	102.82	3.67	31.71	136.16	197.76	81.18	366.01	1.79
1395	29.07	115.74	445.10	1032.43	104.26	3.60	31.71	133.46	203.79	82.81	366.04	1.84
1396	28.77	114.35	443.51	1043.24	105.72	3.52	31.71	132.13	207.90	84.48	366.06	1.88
1397	28.47	112.98	441.95	1054.04	107.21	3.49	32.03	130.82	214.24	86.18	366.08	1.93
1398	28.18	111.63	440.40	1064.85	108.72	3.42	32.03	130.82	220.76	87.92	366.10	1.98
1399	27.88	110.29	438.87	1075.66	110.25	3.35	32.03	129.52	225.22	89.69	366.12	2.03
1400	27.60	108.97	437.37	1086.47	111.80	3.29	32.35	129.52	232.08	91.50	366.14	2.09
1401	27.31	107.66	435.88	1097.28	113.38	3.22	32.35	128.23	239.15	93.29	366.16	2.14
1402	27.03	106.37	434.41	1108.09	114.98	3.16	32.35	128.23	243.98	94.98	366.18	2.19
1403	26.75	105.10	432.97	1118.90	116.61	3.13	32.68	126.95	248.91	96.57	366.20	2.23
1404	26.48	103.84	431.54	1129.71	118.26	3.06	32.68	126.95	253.93	98.06	366.22	2.28
1405	26.21	102.60	430.14	1140.51	119.93	3.00	32.68	125.69	259.06	99.44	366.24	2.32
1406	25.94	101.37	428.75	1151.32	121.63	2.94	32.68	125.69	264.30	100.73	366.26	2.35
1407	25.67	100.16	427.38	1162.13	123.36	2.89	32.68	125.69	266.95	101.92	366.28	2.39
1408	25.41	98.96	426.03	1172.94	125.11	2.86	33.01	124.44	272.35	103.02	366.29	2.42
1409	25.15	97.77	424.70	1183.75	126.89	2.80	33.01	124.44	275.08	104.02	366.31	2.45
1410	24.90	96.60	423.38	1194.56	128.69	2.74	33.01	124.44	277.85	104.93	366.33	2.48
1411	24.65	95.45	422.09	1205.37	130.52	2.69	33.01	123.20	280.64	105.75	366.35	2.50
1412	24.40	94.30	420.81	1216.18	132.38	2.64	33.01	123.20	283.46	106.48	366.36	2.53
1413	24.15	93.18	419.55	1226.99	134.27	2.58	33.01	123.20	286.31	107.14	366.38	2.55
1414	23.91	92.06	418.31	1237.79	136.19	2.56	33.01	121.97	286.31	107.71	366.40	2.56
1415	23.66	90.96	417.08	1248.60	138.13	2.51	33.01	121.97	289.19	108.20	366.41	2.58
1416	23.43	89.87	415.87	1259.41	140.11	2.46	33.01	121.97	289.19	108.61	366.43	2.59
1417	23.19	88.80	414.68	1270.22	142.11	2.41	33.01	121.97	292.09	108.96	366.45	2.61
1418	22.96	87.73	413.51	1281.03	144.14	2.36	33.34	120.76	292.09	109.23	366.46	2.62
1419	22.73	86.68	412.35	1291.84	146.21	2.34	33.34	120.76	292.09	109.44	366.48	2.62
1420	22.50	85.65	411.20	1302.65	148.30	2.29	33.34	120.76	292.09	109.58	366.49	2.63
1421	22.28	84.62	410.08	1313.46	150.43	2.25	33.34	119.56	292.09	109.67	366.51	2.63
1422	22.06	83.61	408.97	1324.27	152.59	2.20	33.34	119.56	292.09	109.69	366.52	2.64
1433	19.77	79.44	368.17	543.16	178.61	1.80	33.01	112.60	277.85	106.91	366.82	2.61
1434	19.58	78.64	366.81	553.97	181.19	1.77	33.01	112.60	275.08	106.44	366.83	2.60
1435	19.39	77.86	365.47	564.78	183.82	1.73	33.01	112.60	275.08	105.94	366.84	2.59
1436	19.20	77.08	364.16	575.59	186.48	1.70	33.01	111.48	272.35	105.42	366.85	2.57
1437	19.01	76.31	362.86	586.40	189.18	1.66	33.01	111.48	269.64	104.87	366.86	2.56
1438	18.83	75.54	361.59	597.21	191.93	1.63	33.01	111.48	266.95	104.31	366.88	2.55
1439	18.65	74.79	360.35	608.02	194.71	1.62	33.01	110.37	264.30	103.72	366.89	2.53
1440	18.47	74.04	359.12	618.83	197.54	1.58	33.01	110.37	261.67	103.11	366.90	2.52
1441	18.29	73.30	357.91	629.63	200.41	1.55	32.68	110.37	259.06	102.49	366.91	2.50
1442	18.11	72.57	356.73	640.44	203.32	1.52	32.68	109.27	256.49	101.85	366.92	2.49

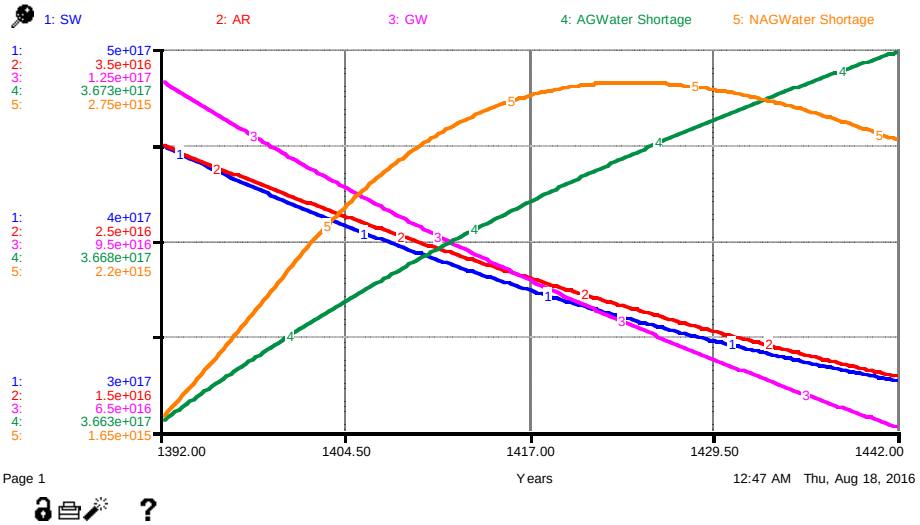
Source: Research findings مأخذ:یافته‌های تحقیق

جمعیت کشور در ابتدا با نرخ نزولی افزایش خواهد یافت و سپس با نرخ نزولی کاهش خواهد یافت و به طوری که از ۷۸ میلیون نفر در ابتدای دوره به بیشتر از ۱۰۴ میلیون در سال ۱۴۳۲ افزایش خواهد یافت. با کاهش منابع آب در طول دوره‌های آینده و افزایش جمعیت، قیمت آب از ۱۰۰۰ ریال در سال ۱۳۹۲ به ۱۵۳۲ ریال در پایان دوره افزایش یابد و شاخص قیمت محصولات کشاورزی نیز از ۱۰۰ در سال ۱۳۹۲ به ۱۷۶ در سال ۱۴۳۲ خواهد رسید. بر اساس نتایج تقاضا برای آب در طول دوره‌های آینده افزایش خواهد یافت، این در حالی است که کمبود آب در بخش کشاورزی از ۳۶۵ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۹۲ به ۳۶۶ میلیارد متر مکعب افزایش در پایان خواهد یافت و کمبود آب در بخش غیر کشاورزی نیز از ۱/۷ به ۲/۶۱ میلیارد متر مکعب در پایان دوره افزایش خواهد یافت.

همچنین بر اساس جدول ۹ پیش بینی می‌شود که تولید بخش به دلیل کاهش منابع آبی و تغییرات اقلیمی روند کاهشی داشته باشد کشاورزی در ابتدای دوره از ۱۴۱/۲۳ به ۱۱۴/۸۷ هزار میلیارد ریال در سال ۱۴۳۲ کاهش خواهد یافت. تقاضا برای محصولات کشاورزی از ۱۸۷/۱۲ در ابتدای دوره به ۲۸۰ هزار میلیارد ریال افزایش خواهد یافت. تابع صادرات از ۳/۸۰ در ابتدای دوره ۱/۸۴ هزار میلیارد ریال در پایان دوره کاهش خواهد یافت. واردات بخش کشاورزی روند افزایشی خواهد داشت و از ۳۱/۴۴ به ۳۳ هزار میلیارد ریال افزایش خواهد یافت.

نتایج سناریوها: الف) سناریو تغییرات اقلیمی: در این قسمت نتایج حاصل از درصد تغییرا ت متغیرها برای سناریوی کاهش ۱۰ درصدی بارش و افزایش یک درجه سانتی گراد دما به صورت همزمان نشان داده شده است. نتایج سناریوی تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که اثر این سناریو بر تخلیه منابع آب و کاهش و تولید بخش کشاورزی شدید می‌باشد.

نمودار ۱ نتایج حاصل از شبیه سازی اثر تغییرات اقلیمی را بر منابع آبی ایران برای دوره‌ی ۱۴۴۲-۱۳۹۲ نشان می‌دهد، بر اساس نتایج روند تخلیه آب‌های سطحی بسیار شدید می‌باشد و از ۴۵۰ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۲ به ۳۲۶ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۳۲ کاهش خواهد یافت. ذخیره آب پشت سدها و سایر آب‌های ذخیره‌شده روند نزولی در طی سال‌های آینده خواهند داشت و از ۳۰ میلیارد مترمکعب به ۱۷/۸۹ میلیارد مترمکعب کاهش خواهد یافت و مقدار آب‌های زیرزمینی قابل استخراج از ۱۲۰ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۲ به ۶۵ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۴۲ کاهش خواهد یافت. با توجه به نمودار ۱ تقاضا برای آب در طول دوره‌های آینده افزایش خواهد یافت، این در حالی است که کمبود آب در بخش کشاورزی از ۳۶۵ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۹۲ به ۳۶۶ میلیارد متر مکعب افزایش در پایان خواهد یافت و کمبود آب در بخش غیر کشاورزی نیز از ۱/۷ به ۲/۶۱ میلیارد متر مکعب در پایان دوره افزایش خواهد یافت. در نمودار ۲ اثر تغییرات بر روند تولیدات بخش کشاورزی، تقاضای محصولات، واردات و صادرات محصولات کشاورزی برای دوره‌ی ۱۴۴۲-۱۳۹۲ پیش‌بینی شده است.



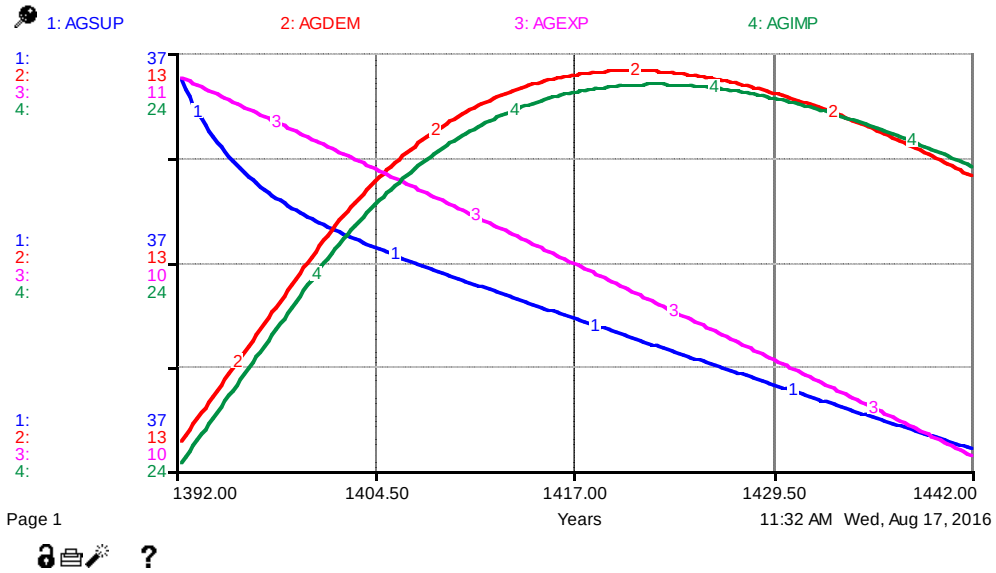
شکل ۱- روند تخلیه آب‌های سطحی (*SW*)، زیرزمینی (*GW*) و ذخیره‌شده (*AR*) و روند کمبود آب در بخش‌های کشاورزی (*AGWaterShortage*) و غیر کشاورزی (*NAGWaterShortage*)-(واحد متغیرها میلیمترمکعب)

Figure 1-The depletion trend of surface water (SW), groundwater aquifers (GW) and reservoir (AR)) and non-agricultural water shortages (NAGWaterShortage)- (mm^3)

مأخذ:یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

بر اساس نمودار ۲ پیش‌بینی می‌شود که تولید بخش به دلیل کاهش منابع آبی و تغییرات اقلیمی روند کاهشی داشته باشد کشاورزی در ابتدای دوره از ۱۴۱/۲۳ به ۱۰۲/۹۱ هزار میلیارد ریال در سال ۱۴۴۲ کاهش خواهد یافت. تقاضا برای محصولات کشاورزی از ۱۸۶ در ابتدای دوره به ۲۵۶ هزار میلیارد ریال افزایش خواهد یافت. تابع صادرات از ۳/۸۰ در ابتدای دوره به ۱/۵۲ هزار میلیارد ریال در پایان دوره کاهش خواهد یافت. واردات بخش کشاورزی روند افزایشی خواهد داشت و از ۳۱/۴ به ۳۲ هزار میلیارد ریال افزایش خواهد یافت.



شکل ۲- روند تولید (*AGSUP*)، تقاضا (*AGDEM*)، واردات (*AGIMP*) و صادرات (*AGEXP*) محصولات کشاورزی (لگاریتم متغیرها بر حسب ریال)

Figure 2- Agricultural product trend (AGSUP) and demands (AGDEM), imports (AGIMP) and exports (AGEXP) of Agricultural Products (logarithm of variables in terms of Iranian Rial)

مأخذ:یافته‌های تحقیق

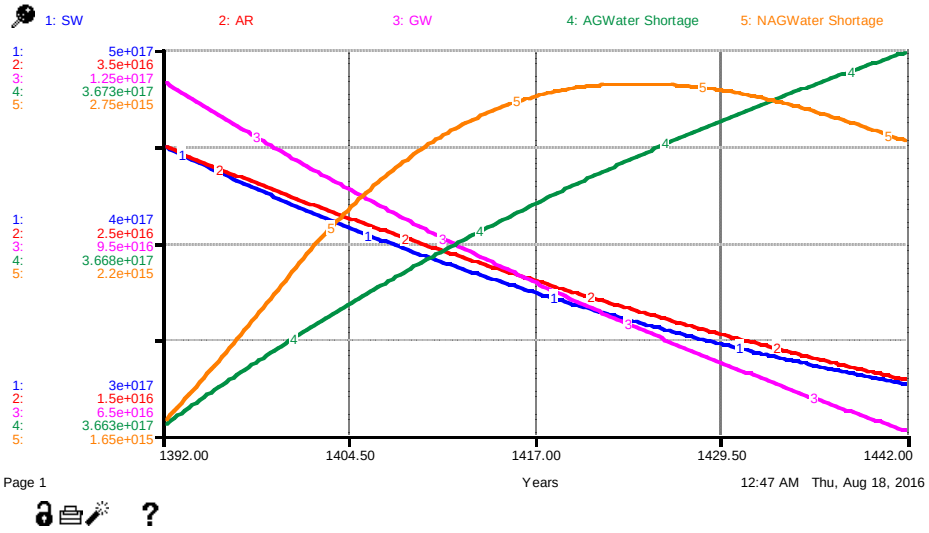
Source: Research findings

ب) سناریو مدیریت منابع آب: در این قسمت نتایج حاصل از شبیه‌سازی دو سناریوی مدیریتی افزایش ۱۰ درصدی هزینه استخراج آبهای زیر زمینی (کاهش بر داشت) و شبیه‌سازی افزایش ۱۰ درصد در آب‌های ورودی به بیلان آب کشور از طریق واردات آب نشان داده شده است.

نمودار ۳ نتایج حاصل از شبیه سازی اثر کاهش برداشت از آب‌های زیرزمینی را بر منابع آبی ایران برای دوره‌ی ۱۴۴۲-۱۳۹۲ نشان می‌دهد، بر اساس نتایج آب‌های سطحی از ۴۵۰ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۲ به ۳۵۷ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۴۲ کاهش خواهد یافت. ذخیره آب پشت سدها و سایر آب‌های ذخیره‌شده روند نزولی در طی سال‌های آینده خواهند داشت و از ۳۰ میلیارد مترمکعب به ۱۸/۱۲ میلیارد مترمکعب کاهش خواهد یافت و مقدار آب‌های زیر زمینی قابل استخراج از ۱۲۰ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۲ به ۷۵/۶۹ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۴۲ کاهش خواهد یافت. با توجه به نمودار ۱ تقاضا برای آب در طول دوره‌های آینده افزایش خواهد یافت، این در حالی است که کمبود آب در بخش کشاورزی از ۳۶۵ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۲ به ۳۶۶ میلیارد مترمکعب افزایش در پایان خواهد یافت و کمبود آب در بخش غیر کشاورزی نیز از ۱/۷ به ۲/۴۸ میلیارد مترمکعب در پایان دوره افزایش خواهد یافت. در نمودار ۴ اثر تغییرات بر روند تولیدات بخش کشاورزی، تقاضای محصولات، واردات و صادرات محصولات کشاورزی برای دوره‌ی ۱۴۴۲-۱۳۹۲ پیش‌بینی شده است. در نمودار ۴ روند تولیدات بخش کشاورزی، تقاضای محصولات، واردات و صادرات محصولات کشاورزی برای دوره‌ی ۱۴۴۲-۱۳۹۲ پیش‌بینی شده است.

بر اساس نمودار ۴ پیش‌بینی می‌شود که تولید بخش به دلیل کاهش منابع آبی و کاهش برداشت از منابع آب‌های زیر زمینی روند کاهشی داشته باشد کشاورزی در ابتدای دوره از ۱۳۸/۹۱ به ۱۱۰/۳۷ هزار میلیارد ریال در سال ۱۴۴۲ کاهش خواهد یافت. تقاضا برای محصولات کشاورزی از ۱۸۶/۱۲ در ابتدای دوره به ۲۵۶ هزار میلیارد ریال افزایش خواهد یافت. تابع صادرات از ۳/۸۰ در ابتدای دوره ۱/۵۲ هزار میلیارد ریال در پایان دوره کاهش خواهد یافت. واردات بخش کشاورزی روند افزایشی خواهد داشت و از ۳۱/۴ به ۳۲/۶۸ هزار میلیارد ریال افزایش خواهد یافت. نمودار ۵ نتایج حاصل از شبیه‌سازی

سناریوی اثر انتقال آب از خارج کشور به داخل را بر منابع آبی ایران را برای دوره‌ی ۱۴۴۲-۱۳۹۲ نشان می‌دهد.

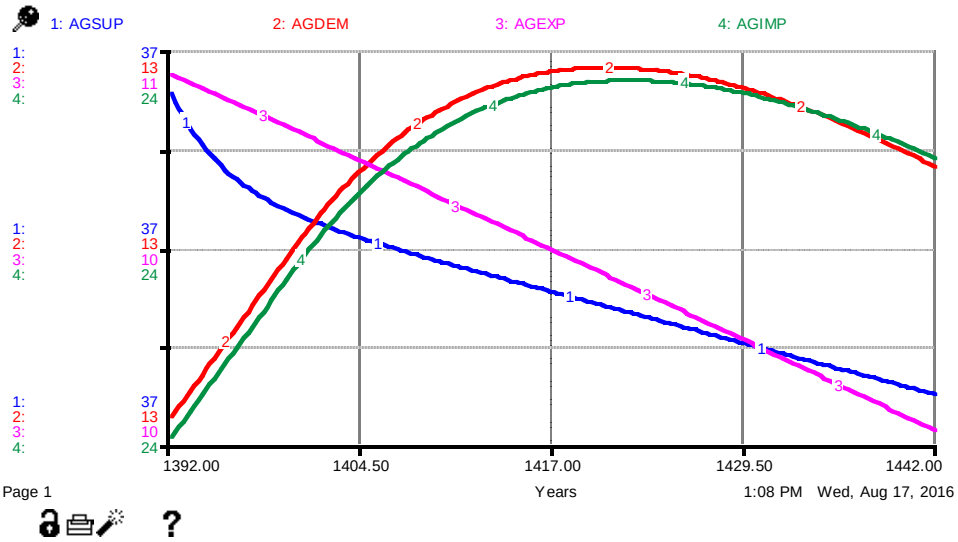


شکل ۳- روند تخلیه آب‌های سطحی (*SW*)، زیرزمینی (*GW*) و ذخیره‌شده (*AR*) و روند کمبود آب در بخش‌های کشاورزی (*AGWaterShortage*) و غیر کشاورزی (*NAGWaterShortage*)-(واحد متغیرها میلیمترمکعب)

Figure 3- The depletion trend of surface water (SW), groundwater aquifers (GW) and reservoir (AR)) and non-agricultural water shortages (NAGWaterShortage)- (mm^3)

مأخذ:یافته‌های تحقیق

Source: Research findings



شکل ٤- روند تولید (*AGSUP*)، تقاضا (*AGDEM*)، واردات (*AGIMP*) و صادرات (*AGEXP*) محصولات کشاورزی (لگاریتم متغیرها بر حسب ریال)

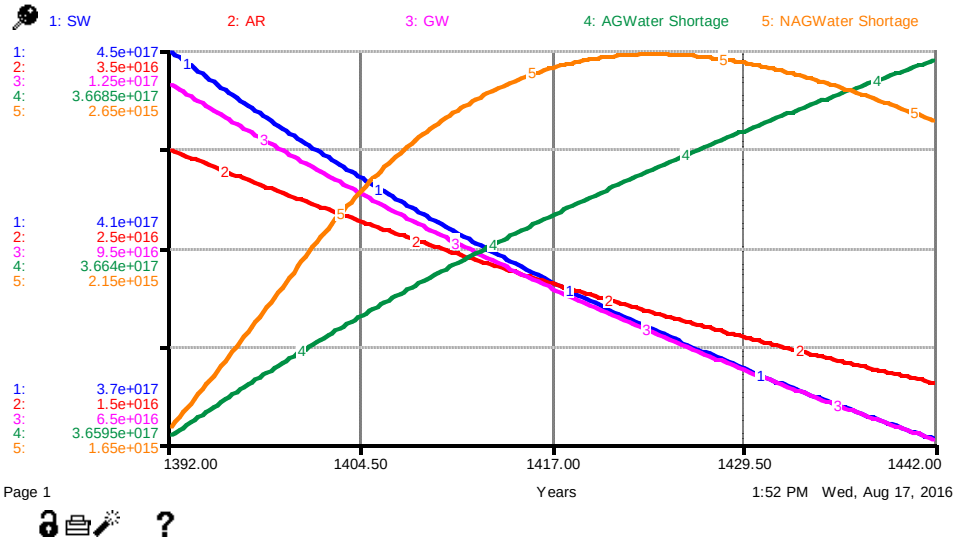
Figure 4- Agricultural product trend (AGSUP) and demands (AGDEM), imports (AGIMP) and exports (AGEXP) of Agricultural Products (logarithm of variables in terms of Iranian Rial)

مأخذ:یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

نمودار ۵ نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوی انتقال آب از خارج کشور به داخل را بر منابع آبی ایران را برای دوره‌ی ۱۴۴۲-۱۳۹۲ نشان می‌دهد. بر اساس نتایج روند تخلیه آب‌های سطحی بسیار شدید می‌باشد و از ۴۵۰ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۲ به ۳۷۱ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۴۲ کاهش خواهد یافت. ذخیره آب پشت سدها و سایر آب‌های ذخیره‌شده روند نزولی در طی سال‌های آینده خواهند

داشت و از ۳۰ میلیارد مترمکعب به ۱۸/۱۳ میلیارد مترمکعب کاهش خواهد یافت و مقدار آب‌های زیر زمینی قابل استخراج از ۱۲۰ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۲ به ۶۵ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۴۲ کاهش خواهد یافت. این در حالی است که کمبود آب در بخش کشاورزی از ۳۶۵ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۹۲ به ۳۶۶ میلیارد متر مکعب افزایش خواهد یافت و کمبود آب در بخش غیر کشاورزی نیز از ۱/۷ به ۲/۴۷ میلیارد متر مکعب در پایان دوره افزایش خواهد یافت. در نمودار ۶ روند تولیدات بخش کشاورزی، تقاضای محصولات، واردات و صادرات محصولات کشاورزی برای دوره‌ی ۱۳۹۲-۱۴۴۲ پیش بینی شده است.

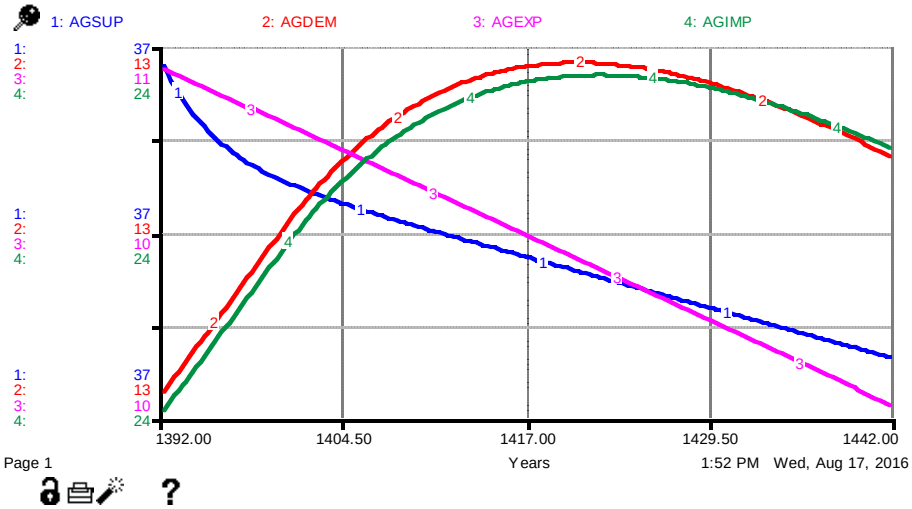


شکل ۵- روند تخلیه آب‌های سطحی (*SW*)، زیرزمینی (*GW*) و ذخیره‌شده (*AR*) و روند کمبود آب در بخش‌های کشاورزی (*AGWaterShortage*) و غیر کشاورزی (*NAGWaterShortage*)-(واحد متغیرها میلیمترمکعب)

Figure 5- The depletion trend of surface water (SW), groundwater aquifers (GW) and reservoir (AR)) and non-agricultural water shortages (NAGWaterShortage)- (mm^3)

مأخذ:یافته‌های تحقیق

Source: Research findings



شکل ٦- روند تولید (*AGSUP*)، تقاضا (*AGDEM*)، واردات (*AGIMP*) و صادرات (*AGEXP*) محصولات کشاورزی (لگاریتم متغیرها بر حسب ریال)

Figure 6- Agricultural product trend (AGSUP) and demands (AGDEM), imports (AGIMP) and exports (AGEXP) of Agricultural Products (logarithm of variables in terms of Iranian Rial)

مأخذ:یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

نتایج این سناریو نشان می‌دهد که انتقال آب در ابتدا از میزان کمبود آب در بخش کشاورزی و غیر کشاورزی کم خواهد کرد و در صورت میزان بیشتری انتقال آب می‌توان انتظار داشت که کمبودها در بخش‌های مختلف کاهش یابند و در آن صورت در بلند مدت انتظار احیای منابع آبی را داشت.

بر اساس نمودار ۶ پیش‌بینی می‌شود که تولید بخش به دلیل کاهش منابع آبی و تغییرات اقلیمی روند کاهشی داشته باشد کشاورزی در ابتدای دوره از ۱۴۱/۷۱ به ۱۱۱/۴۸ هزار میلیارد ریال در سال ۱۴۴۲ کاهش خواهد یافت. تقاضا برای محصولات کشاورزی از ۱۸۶ در ابتدای دوره به ۲۵۶ هزار میلیارد ریال افزایش خواهد یافت. تابع صادرات از ۳/۸۲ در ابتدای دوره ۱/۵۲ هزار میلیارد ریال در پایان دوره کاهش خواهد یافت. واردات بخش کشاورزی روند افزایشی خواهد داشت و از ۳۱/۴ به ۳۲/۶۸ هزار میلیارد ریال افزایش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها

هدف از مدل سازی در این تحقیق، ایجاد و توسعه یک مدل شبیه سازی برای بالا بردن سطح شناخت از منابع و مصارف منابع آبی کشور و دینامیک آن می‌باشد تا با ارائه راه‌حل‌هایی، سیستم بتواند عملکرد مناسب خود در آینده را حفظ کند. در این تحقیق با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم به بررسی اثر تولید بخش کشاورزی بر تخلیه منابع آبی ایران با استفاده از مدل علت و معلولی برای افق زمانی ۱۴۴۲ پرداخته و این مدل در چهار بخش هیدرولوژی، تقاضای آب، بخش های اقتصادی و اجتماعی توسعه داده شد. در این مدل همچنین اثر سناریوهای تغییرات اقلیمی و مدیریتی منابع آبی ایران بر تخلیه منابع آبی کشور و تولید بخش کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. شبیه سازی مدل برای دوره های گذشته نشان داد که نتایج حاصل از صحت سنجی مدل از نظر آماری معنی‌دار و قابل قبول هستند. این نکته قابل ذکر است که تابع تولید در این تحقیق تنها یک معادله تجربی است و این گونه توابع غالباً برای یک منطقه نتایج بهتر و دقیق‌تری ارائه می‌دهند، اما بدلیل محدودیت های آماری مورد نیاز، به نگاهی تجربی و تخمینی بسنده شد و تنها سعی شد نمایی کلی از تولید بخش کشاورزی فراهم آورده شود.

نتایج حاصل از شبیه سازی مدل نشان داد که منابع آبی ایران اعم از آب‌های سطحی، ذخیره شده و زیرزمینی به شدت تخلیه خواهند شد. بنابراین بایستی اقدامات جدی در راستای مدیریت مصرف منابع در بخش کشاورزی و غیر کشاورزی در حوزه مصرف، افزایش کارایی و بازگردانی آب‌های مصرفی صورت گیرد. این در حالی است که تولید بخش کشاورزی نیز به طور تقریبی ۲۳ درصد در طول دوره‌ی مورد بررسی کاهش خواهد یافت و جمعیت کشور نیز روند افزایشی طی خواهد کرد. بنابراین باید اقدامات جدی به منظور تأمین امنیت غذایی از طریق واردات و کنترل جمعیت صورت گیرد تا کمبود منابع آبی در بخش کشاورزی و شرب جبران گردد. نتایج نشان داد که تعیین بازار برای منابع آبی کشور تأثیر منفی بر مصرف آب خواهد گذاشت لذا، تعیین قیمت شفاف برای منابع آبی به طوری که دست ذی‌النفعان از تخلیه منابع آبی کوتاه شود، می‌تواند کمک شایانی به تخصیص بهتر و احیای منابع آبی کشور نماید. همچنین استفاده از تکنولوژی‌های جدید در محدود کردن تبخیر آب‌های سطحی و ذخیره شده می‌تواند از هدر رفتن منابع جلوگیری کند، چرا که بیشترین تلفات آب‌ها مربوط به تبخیر از سطح منابع می‌باشد. با توجه به اینکه بخش کشاورزی بیشترین سهم را از مصرف منابع آبی دارد، بایستی کنترل بیشتری بر مصرف آب در این بخش صورت گیرد و سهم بخش کشاورزی از مصرف منابع آبی کشور کاهش یابد، برای این کار لازم است که سرمایه گذاری‌های لازم در زمینه مدرن کردن سیستم‌های آبیاری صورت گیرد.

نتایج سناریوی تغییرات اقلیمی بیانگر این مطلب است که کاهش بارش و افزایش دما تخلیه منابع آبی کشور را شدت خواهند بخشید، بنابراین با توجه به پدیده تغییرات اقلیمی که در قرن اخیر شاهد آن هستیم بایستی اقدامات جدی در راستای مصرف آب در بخش کشاورزی و غیر کشاورزی صورت گیرد. نتایج تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که تولید بخش کشاورزی نسبت به حالت موجود نیز در حدود ۶ درصد بیشتر کاهش خواهد یافت. لذا با توجه به افزایش جمعیت، واردات نیز بیشتر از حالت پایه افزایش خواهد یافت که ممکن است تأمین امنیت غذایی از لحاظ مالی و ذخیره ارزی با مشکل مواجه شود و لذا این بحث را پیش خواهد آورد که با توجه به کاهش صادرات محصولات کشاورزی، سایر بخش‌های اقتصادی نیز با توجه به وابسته بودن اقتصاد کشور به درآمدهای حاصل از فروش نفت توانایی تأمین مالی واردات نیازهای غذایی کشور را نداشته نباشد. لذا بایستی اقدامات جدی به منظور محدود کردن پدیده رشد جمعیت و تأمین زیر ساخت‌های لازم به منظور تأمین امنیت غذایی انجام گیرد.

نتایج حاصل از سناریوهای مدیریتی نیز نشان دادند که کاهش برداشت ۱۰ درصدی از آب های زیرزمینی فقط به در حدود چهار درصد وضعیت آب‌های زیرزمینی را بهبود خواهد بخشید و تأثیر چشمگیری در سایر بخش ها نخواهد گذاشت بنابراین به منظور بهبود وضعیت آب‌های زیرزمینی باید برداشت از آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های مجاز و غیرمجاز به میزان بیشتر از ۱۰ درصد کاهش یابد. همچنین نتایج انتقال آب از خارج کشور به داخل یا از طریق شیرین سازی آب دریاها نشان می‌دهد که بیشتر آب‌های سطحی را احیا خواهد کرد، اما این در حالی است که کمبود آب در بخش کشاورزی و

غیر کشاورزی را به میزان قابل توجهی کاهش خواهد داد، لذا با افزایش میزان انتقال آب از سایر منابع خارج از بیلان آب کشور می‌توان انتظار داشت که کمبود آب در بخش‌های کشاورزی و غیر کشاورزی را به حداقل ممکن برسد و در آن صورت انتظار احیای منابع آب زیرزمینی و سایر منابع ذخیره شده را داشت.

منابع

1- Alami M.T., Farzin S., Ahmadi M.H., Qabalayy B. 2014. Dams and underground water system dynamics modeling for water management (Case Study: Dam Golak), Civil Engineering Journal and environment, Volume 44, Issue 1. (in Persian with English abstract)
2- Ardakanian R., Karimi A., 2010. Construction and Application of long-term water allocation in evaluating the effects of water policy, civil engineer Sharif, age 2-27, No. 1, pp. 95-105. (in Persian)
3- Balali H., Viaggi D. 2015. Applying a System Dynamics Approach for Modeling Groundwater Dynamics to Depletion under Different Economical and Climate Change Scenarios,. Water 2015, 7, 5258-5271; doi:10.3390/w7105258.
4- Barro, R. J. 1998. Notes on growth accounting. NBER Working Paper (W6654).
5- Bazargan-Lari M.R., Kerachian R., Mansoori A. 2009. A Conflict-Resolution Model for the Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources that Considers Water-Quality Issues: A Case Study,. Environmental Management, 43:470–482, DOI 10.1007/s00267-008-9191-6.
6- Braude1 E., Hauser Sh., Sinuany-Stern Z., Oron G. 2015. Water Allocation Between the Agricultural and the Municipal Sectors Under Scarcity: A Financial Approach Analysis., Water Resour Manage, 29:3481–3501., DOI 10.1007/s11269-015-0986-y.
7- Central Bank of the Islamic Republic of Iran 2016, statistical time series data port, www.cbi.ir/. (visited 1 Januarey 2016).
8- Chen, C., Kalra, A., and Ahmad, S. 2015. Exploring Water Management Strategies in an Inland Arid Area Using Dynamic Simulation Model. World Environmental and Water Resources Congress 2015: pp. 1009-1018. doi: 10.1061/9780784479162.098.
9- Davies E.G.R., Simonovic S.P. 2011. Global water resources modeling with an integrated model of the social–economic–environmental system, Advances in Water Resources 34 (2011) 684–700.
10- FAO. 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Agricultural production, Export and Import, http://www.fao.org/statistics/en/. (visited 8 Januarey 2016).
11- Felfelani F., Movahed A.J., Zarghami M. 2013. Simulating hedging rules for effective reservoir operation by using system dynamics: a case study of Dez Reservoir, Iran.
12- Forrester, J.W. 1973. World dynamics, 2nd Ed., Wright Allen Press, Cambridge, Massachusetts.
13- Gies Lauren M.S. 2013. Drought Policy Development and Assessment in East Africa Using Hydrologic and System Dynamics Modeling. A Thesis Submitted to the Faculty of Purdue University .
14- Golmohammadi,F.2008. Agricultural Extension System for Sustainable Development in Iran: Situations and Problems. Accepted for oral presentation in:agricultural extetion 2008, Centre for Extension, Entrepreneurship Advancement(APEEC), University Putra Malaysia.
15- Hoekstra, A. Y., Chapagain A. K. 2007 "Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern", Water Resour Manage, Vol 21, P35-48.
16- Khan Sh.,Yufeng L., Ahmad A., 2007. System Dynamics Modeling for Water Savings and Conjunctive Water Management,. ASIMMOD2007, Chiang Mai, Thailand.
17- Khan, M. and Knight, M.D.1988. Important Compression and Export Performance in Developing Countries. Review of Economics and Statistics, Vol. 70, No. 2, pp. 315-321.
18- Luo, Y., Cui, Y., Shahbaz Khan., Zhang, Z and X. Zhu. 2005. Sustainable irrigation water management in the lower yellow river basin : A system dynamics approach. Intenational Commission On Irrigation And Drainage, 52: 1- 6.
19- Mahmodi J., Minaee M.H. 2010. Using System Dynamics to Model Rod Bar Supply Chain in Iranian Market., International Journal of Industrial Engineering & Production Research (2010) pppp.. 129-135.
20- Naseri H.R., Ahmadi S., SalaviTabar R. 2011. Exploitation of water resources modeling dam downstream Shahrchay (Urmia) system dynamic model, Journal of Geological Survey of Iran, Issue 16, pp. 97-108. (in Persian)
21- Ozolins, G., Kalnins R., Sile R. 2007. Agricultural production and income dynamics in Latvia. In Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamics Society, July 29 – August 2, 2007, Boston, Massachusetts, USA, ISBN 978-0-9745329-8-1.

22- SalaviTabarR., Zarghami M., Abrishamchi A. 2006. System dynamics model in urban water management in Tehran., Water and sanitation, No. 59. (in Persian with English abstract)
23- ShafiJud M., Abrishamchi A., SalaviTabar R. 2012. The assessment of water resource development projects in the basin multi-reservoir of darrehrod using performance indicators., Water and sewage (3). (in Persian)
24- Shirangi E., Kerachian R., Bajestan M.S. 2008. A simplified model for reservoir operation considering the water quality issues: Application of the Young conflict resolution theory., Environ Monit Assess, 146:77–89., DOI 10.1007/s10661-007-0061-0.
25- Simonovic, S. P. 2003. "Canada Water, A Tool for Modelling Canadian Water Resources",Presentation at the Canadian Commission for UNESCO (CCU), Annual General Meeting, 1-2 Ottawa, 1-2.
26- Statistical Center of Iran, 2016. statistical time series data port, www.amar.org.ir/. (visited 1 Januarey 2016).
27- Statistics on Agriculture, 2016. Office of Statistics and Information Technology, Ministry of Agriculture, www.maj.ir. (visited 15 Januarey 2016).
28- Sterman, JD. 2000. Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World., McGraw-Hill. Boston.
29- Tua Y., Zhou X., Gange J., Liechty M., Xu J., Levb B. 2015. Administrative and market-based allocation mechanism for regionalwater resources planning., Resources, Conservation and Recycling 95 (2015) 156–173
30- Vira, V., Narnicka K. 2003. Semi-subsistence farming in Latvia: Its production function and what will be the impact of proposed EU support? In SSE Riga Working Papers.
31- Ward, F.A.; Booker, J.F., Michelsen A.M. 2006. Integrated economics, hydrologic, and institutional analysis of policy responses to mitigate drought impacts in rio grande basin", ASCE Journal of Water Resources Planning and Management, 132(6).
32- Water Resources Management Centre and the Islamic Republic of Iran ,2016. statistical time series data port, www.wrm.ir/. (visited 10 Januarey 2016).
33- Water Resources Management Centre and the Islamic Republic of Iran ,2016. Annual report of precipitation, surface currents and water volume in reservoirs, www.wrm.ir/. (visited 10 Januarey 2016).
34- World Bank, 2016, World DataBank, http://databank.worldbank.org/data/home.aspx. (visited 4 Januarey 2016).
35- Xia X., Leng Poha K. 2013. Using system dynamics for sustainable water resources management in Singapore, DOI: 10.1016/j.procs.2013.01.017.
36- Xiang N., Yan J., Sha J., Xu F. 2014. Dynamic Modeling and Simulation of Water Environment Management with a Focus on Water Recycling, 6, 17-31; doi:10.3390/w6010017.
37- Zhang Z.W.X., Zhao Y., Song W.B. 2014. Development tendency analysis and evaluation of the waterecological carrying capacity in the Siping area of Jilin Province inChina based on system dynamics and analytic hierarchy process, Ecological Modelling 275 (2014) 9– 21.
38- Zhu j., Wang X., Zhang L., Cheng H.,Yanga Zh. 2014. System dynamics modeling of the influence of the TN/TPconcentrations in socioeconomic water on NDVI in shallow lakes, Ecological Engineering.