Research Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 13
No. 4 (52)

Received:
2017-12-13

Accepted:
2023-12-01

Pages: 41-54

System Dynamic Modeling of Scenarios for the Protection of Groundwater Resources in Drought Conditions in South Khorasan Province, Iran

Mostafa Teimoori [1*], Sayed Mehdi Mirdamadi [2], Sayed Jamal Farajolah Hosseini[3], Samad Rahimisooreh[4] and Mohamadali Afshar Kazemi [5]

1) Assistant Professor, Department of Economics, Extension and Agricultural Education, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2) Associate Professor, Department of Economics, Extension and Agricultural Education, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3) Associate Professor, Department of Economics, Extension and Agricultural Education, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4) Faculty Member of the Institute of Planning Research, Agricultural Economics and Rural Development.
5) Associate Professor, Department of Industrial Management, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran.
*Corresponding author email: m.teimoori1982@yahoo.com

Abstract:
Background and Aim: The purpose of this research is to model scenarios for the protection of underground water resources in South Khorasan province in drought conditions.
Methods: In this regard, this problem was followed using the system dynamics approach and the behavior of the reference variable "Volume of underground water resources of South Khorasan Province" was simulated against different scenarios during the years 2013 to 2014 through the use of Vensim software. The required information was collected by referring to relevant organizations such as South Khorasan Regional Water Organization, South Khorasan Agricultural Jihad Organization and Iran Statistics Center, and the input data of the model was called into the model in the form of an Excel file.
Results: The results of the research showed that applying the control scenario of water resources exploitation in normal drought conditions and drought with low intensity is useful, but applying this scenario in drought conditions of more than 20% will have negative effects on the economic indicators of the agricultural sector. Also, the fourth scenario of the cultivation pattern (emphasis on strategic crops) along with the fifth scenario of the cultivation pattern (drought-resistant crops) have brought the least pressure on underground water resources. Nevertheless, considering that cultivation pattern No. 4 has created the least added value, it cannot be an efficient pattern.
Conclusion: According to the results of the research, if the severity of droughts increases in the coming years, but the current agricultural conditions of South Khorasan province continue in terms of cropping patterns, droughts will not have an effect on economic indicators, because in these conditions, farmers By breaking the ground and extracting more from underground water sources, they will compensate for the lack of rainfall and will show the negative effects of drought on the stock of underground water resources. Considering the effect of the cultivation pattern on underground water resources and economic indicators, it is necessary to think of measures to change the cultivation pattern.
Key words: modeling, drought, scenario, dynamic systems, South Khorasan

10.30495/WSRCJ.2023.31551.10825

مقاله پژوهشی

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال سیزدهم
شماره ٤ (٥٢)

تاریخ دریافت:
۱۳۹۶/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۹/۱۰

صفحات: ٥٤-٤١

مدلسازی پویای سیاست گذاری برای حفاظت منابع آب زیر زمینی در استان خراسان جنوبی در شرایط خشکسالی

مصطفی تیموری[1*]، سید مهدی میردامادی[2]، سیدجمال فرج اله حسینی[3]، صمد رحیمی سوره[4] و محمدعلی افشار کاظمی [5]

۱) استادیار گروه اقتصاد، ترویج و آموزش کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲) دانشیار گروه اقتصاد، ترویج و آموزش کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳) دانشیار گروه اقتصاد، ترویج و آموزش کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۴) عضو هیات علمی موسسه پژوهش‌های برنامه ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی.
۵) دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: m.teimoori1982@yahoo.com

چکیده:

زمینه و هدف: هدف تحقیق حاضر، مدل سازی سناریوهای حفاظت از منابع آب زیر زمینی استان خراسان جنوبی در شرایط خشکسالی می باشد.

روش پژوهش: در این راستا این مسئله با استفاده از رویکرد پویایی سیستم دنبال شد و رفتار متغیر مرجع «حجم منابع آب زیر زمینی استان خراسان جنوبی» در برابر سناریوهای مختلف طی سال های ۱۳۹۲ تا ۱۴۲۰ از طریق کاربرد نرم افزار Vensim شبیه سازی شد. اطلاعات مورد نیاز با مراجعه به سازمان های ذی‌ربط مانند سازمان آب منطقه ای خراسان جنوبی، سازمان جهاد کشاورزی خراسان جنوبی و مرکز آمار ایران جمع آوری گردید و اطلاعات ورودی مدل در قالب فایل اکسل به مدل فراخوانی شد.

یافته ها: نتایج تحقیق نشان داد که اعمال سناریوی کنترل بهره برداری از منابع آب در شرایط خشکسالی نرمال و خشکسالی با شدت پایین، مفید بوده ولی اعمال این سناریو در شرایط خشکسالی بیشتر از ۲۰ درصد، اثرات منفی بر شاخص‌های اقتصادی بخش کشاورزی خواهد داشت. همچنین سناریوی چهارم الگوی کشت (تاکید بر محصولات استراتژیک) به همراه سناریو پنجم الگوی کشت (محصولات مقاوم به خشکی)، کمترین فشار را بر منابع آب زیر زمینی آورده است. با این وجود، با توجه به اینکه الگوی کشت شماره ۴ کمترین ارزش افزوده را ایجاد کرده است، نمی‌تواند الگوی کارآمدی باشد.

نتیجه گیری: با توجه به نتایج تحقیق در صورتی که شدت خشکسالی ها در سال های آینده افزایش یاید ولی شرایط کنونی کشاورزی استان خراسان جنوبی از حیث الگوی کشت ادامه پیدا کند، خشکسالی‌ها بر روی شاخص‌های اقتصادی اثر نخواهد داشت زیرا در این شرایط کشاورزان با کف شکنی و استخراج بیشتر از منابع آب زیرزمینی، کمبود بارندگی ها را جبران خواهند کرد و اثرات منفی خشکسالی بر روی موجودی منابع آب زیرزمینی نمایان خواهد گذاشت. با عنایت به اثر الگوی کشت بر روی منابع آب زیرزمینی و شاخص های اقتصادی، لازم است تمهیداتی جهت تغییر الگوی کشت اندیشیده شود.

کلید واژه‌ها: مدل سازی، خشکسالی، سناریو، سیستم‌های پویا، خراسان جنوبی

10.30495/WSRCJ.2023.31551.10825

مقدمه

انسان روی کره ای زندگی می‌کند که بیش از ۷۱ درصد از سطح آن پوشیده از آب است، حجم کل آب موجود در سطح زمین حدود۱/۴ میلیارد کیلومتر مربع برآورد شده که از این مقدار تنها ۳۵ میلیون کیلومتر مربع یعنی چیزی حدود ۲/۵ درصد آن مربوط به آب‌های شیرین بوده، از کل آب‌های شیرین موجود نیز ۲۴ میلیون کیلومتر مربع چیزی حدود ۷۰ درصد آن یخچال‌ها بوده و ۳۰ درصد آن آب‌های زیرزمینی و ۰/۳ درصد آن را آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها تشکیل می‌دهد و تنها ۲۰۰ هزار کیلومتر مربع یعنی کمتر از ۱ درصد آن قابل استفاده می‌باشد از این مقدار نیز بخش کشاورزی بالاترین مصرف را به خود اختصاص داده به طوری که از کل آب شیرین موجود، حدود ۷۰ درصد را بخش کشاورزی، ۲۲ درصد آن را بخش صنعت و ۸ درصد آن صرف مصارف خانگی می‌شود. سهم بخش کشاورزی در کشورهای در حال توسعه از این مقدار فراتر رفته، به طوری که کشاورزی در این کشورها حدود ۹۰ درصد آب شیرین را مصرف می‌کند. در صد سال اخیر میزان استفاده از آب در جهان بیش از دو برابر نرخ رشد جمعیت بوده و پیش بینی شده که برداشت آب تا سال ۲۰۲۵ در کشورهای در حال توسعه ۵۰ درصد و در کشورهای توسعه یافته ۱۸ درصد افزایش یابد (UN-water, 2012) (Teimoori et al, 2019) .از طرف دیگر پیش بینی شده که در سال ۲۰۲۵ حدود ۱/۸ میلیارد نفر در کشورها و مناطقی زندگی خواهند کرد که در فقر مطلق آب به سر خواهند برد و دو سوم جمعیت جهان نیز در شرایط کمبود آب زندگی خواهند کرد (همان منبع) در سال ۲۰۰۷ تعداد افرادی که در سطح جهان در سوء تغذیه به سر می‌برده اند حدود ۹۲۳ میلیون نفر تخمین زده شده و تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به ۹/۳ میلیارد نفر خواهد رسید. بنابراین آب موجود بایستی سیستم‌های کشاورزی را برای تأمین غذای جمعیت ۲/۷ میلیاردی در حال افزایش جهان را جوابگو باشد(FAO, 2012). این در حالی است که سطح اراضی آبیاری شده در جهان برابر با ۲۷۷ میلیون هکتار بوده که این مقدار تنها ۲۰ درصد از اراضی قابل کشت را تشکیل می‌دهد و ۸۰ درصد از اراضی به علت کمبود آب غیر قابل کشت مانده اند (UN-water,2012) در این بین وقوع حوادثی مانند خشکسالی و تغییر اقلیم بر دامنه وخامت این موضوع افزوده و در حال حاضر خشکسالی، کمبود آب و اثرات آن بر تولیدات کشاورزی و توسعه اقتصادی، یکی از نگرانی‌های عمده جهانی محسوب می‌شود (Liu, et al, 2008). تغییر اقلیم نیز به عنوان یک عامل مهم در بوجود آوردن وضع کنونی و وجود آمدن بحران آب مطرح است و در بسیاری از کشورهای در حال توسعه عرضه آب شیرین به شکل بارش فصلی صورت میگیرد. و چنین بارش‌هایی نیز جهت استفاده کارآمد در فصول موسم بارندگی به سرعت از چرخه خارج می‌شوند (Hinrichsen,2017). از طرف دیگر به علت رشد جمعیت و گسترش بخش‌های کشاورزی، صنعتی و انرژی، تقاضا برای مصرف آب افزایش یافته و کمبود آن هر ساله در بخش‌های زیادی از جهان محسوس تر شده است. عوامل دیگری مانند تغییرات آب و هوایی و آلودگی آب عرضه شده توام با کمبود آب و در سال‌های اخیر سیل‌ها و خشکسالی‌ها به دفعات بیشتری تجربه شده و فاصله ی بین دوره ی خشکسالی کوتاهتر گردیده است(Bates et al., 2008; Ashok and Vijay, 2011; Ashok and Vijay, 2010). با توجه به اینکه بسیاری از کشورهای جهان از سالها پیش با بحران جدی ناشی از کمبود منابع آب مواجه شده اند و با افزایش جمعیت، تغییر سبک زندگی و صنعتی شدن کشورهای در حال توسعه بر دامنه این بحران افزوده شده (Biswas & Tortajada, 2009) می‌توان گفت که مشکلات نظام آب در آینده بی تردید زیادتر شده و آب اهمیت بیشتری پیدا خواهد کرد (Najafi, 2005).

در این راستا سال هاست که محققان تحقیقات متعددی در این زمینه انجام داده اند ولی تعداد اندکی از آنها به صورت جامع و یکپارچه این موضوع را مورد بررسی قرار داده اند (Sterman, 2000; Shahbazbegian and Hjörth and Bagheri, 2006; Bagheri, 2010). بیشتر تحقیقات انجام شده اثرات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی خشکسالی را بررسی نموده اند و نکته قابل توجه در تحقیقات انجام شده فقدان یک نگرش نظام مند نسبت به پدیده خشکسالی بوده و ضروری است برای رویارویی با این چالش و درک منشا و راه حل‌های مشکل ،تفکر خطی و مکانیکی جای خودرا به تفکر غیر خطی و ارگانیک بدهد (Richmond, 1994; Baghery, 2006). لذا، در نیمه دوم قرن بیستم، تفکری با نگاه به کل سیستم شکل گرفت که به دوره عصر سیستم[1] معروف شد. این تفکر مبتنی بر فلسفه جامع‌نگر[2] با رویکرد یکپارچگی[3] (Hjorth and Bagheri 2006) می‌باشد که با تکیه بر حلقه‌های علت و معلولی به توضیح چگونگی وقوع وقایع می‌پردازد (Sterman, 2000) . این نگرش در مطالعات مربوط به تغییرات آب و هوایی و خشکسالی این امکان را فراهم می‌آورد تا بازخوردهای فعالیت‌های انسانی، تغییرات آب و هوایی و عوامل اقتصادی و اجتماعی را به صورت جامع و همه جانبه و روند تغییرات منابع و مصارف و عوامل اثر گذار بر آن را مورد بررسی قرار داده و پیامدهای پیش بینی نشده تصمیم گیری‌ها و سیاست گذاری‌ها را شبیه سازی کند (Salavitabar et al, 2005). همچنین این رویکرد می‌تواند سیاستهایی را برای حل مشکلات آینده آزمایش کرده و از طریق اجرای سناریوهای محتمل مختلف، مشکلات آینده را کاهش دهد (Monasterolo et al, 2015). مولوی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه ای با کاربرد

رویکرد سیستم‌های پویا، مدل یکپارچه مدیریت منابع آب حوضه ارس را تدوین و نتایج اجرای سناریوهای الگوی کشت و کم آبیاری را مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنها نشان داد می‌توان از ترکیب سناریوی کم آبیاری ۴۰ درصد با سناریوهای الگوی کشت وضع موجود یا بهینه، برای کنترل و مدیریت منابع آب حوزه ارس بهره برد. نظری و همکاران (۱۳۸۹)، در مطالعه ای با عنوان "مدل سازی پویای شبکه‌های آبیاری با رویکرد بهره وری آب " نشان داد در صورتی که توسعه آبیاری تحت فشار به عدم رعایت آیش منجر شود و با توسعه سطح کشت همراه باشد، اثرات زیان‌باری را بر روی منابع آب زیرزمینی خواهد داشت. صلوی تبار (۱۳۸۵) در پایان نامه دکترای خود با استفاده از روش داینامیک سیستم مدل منابع و مصارف آب شهری تهران را به منظور ارزیابی روند منابع و مصارف و عوامل موثر بر آن را طراحی کرده و معتقد است که نتایج تحقیق مدیران را به یک ابزار قابل فهم برای درک علل کاهش منابع رهنمون خواهد کرد، گلیان و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقی با عنوان «تحلیل سیاست‌های بهره برداری از منابع آب در حوزه آبریز با روش پویایی سیستم»، دو سناریوی توسعه و بهره برداری منابع آب در سطح حوضه آبریز رودخانه آجی- چای در شرق حوره آبریز دریاچه ارومیه و کاهش نیاز آبی در هر هکتار و اثرات آن بر تراز آب دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار داده اند.

استان خراسان جنوبی به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک جهان و همچنین دوری از مراکز رطوبتی با کمبود بارش و کم آبی شدید مواجه می‌باشد. استان خراسان جنوبی از مناطق خشک کشور محسوب می‌شود و بهره برداری از منابع آب در آن در وضعیت بحرانی می‌باشد. به گونه ای که بر اساس گزارش شرکت مدیریت منابع آب ایران از مجموع ۳۱ دشت واقع درحوزه آبریز استان، تعداد ۱۶دشت ممنوعه بحرانی و ۱۵دشت آزاد محسوب می‌شوند و میانگین نزولات جوی استان برابر با ۱۳۵میلیمتر یعنی چیزی درحد نصف میانگین کشور و یک ششم میانگین جهانی است و حجم سالیانه نزولات جوی استان ۱۲/۲۳میلیارد متر مکعب بوده که ۱۰/۹۶ میلیارد متر مکعب آن از طریق تبخیر وتعریق از دسترس خارج می‌گردد و تنها ۱/۲۷ میلیارد متر مکعب آن به صورت رواناب سطحی ونفوذ به منابع آب زیرزمینی قابل بهره برداری است وحجم آب ورودی به مخازن آب زیرزمینی سالیانه ۰/۹۶۸میلیارد متر مکعب براورد شده است، این در حالیست که میزان برداشت سالیانه از منابع آب زیر زمینی ۱/۱۳ میلیارد متر مکعب است که نشان دهنده برداشت اضافی از سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد (IRAN water resource management company, 2013). علاوه بر مواجهه بودن با کمبود ریزش‌های جوی، این استان با توزیع و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش‌ها نیز روبرو می‌باشد که خود بر پیچیدگی مشکل می‌افزاید. بنابراین، بحث کم آبی و در نهایت بحران آب یک واقعیت عینی در این استان محسوب می‌گردد و محدودیت منابع آب به عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی، مسئله کم آبی را به گونه ای جدی فراروی استان قرار داده است (Ashraf pour, 2002). در این راستا با توجه به وقوع خشکسالی‌های پی در پی در استان خراسان جنوبی و ماهیت چند وجهی و پیچیده ی خشکسالی، این تحقیق بر آن است تا با در نظر گرفتن کلیه جوانب خشکسالی در این استان، این مسئله را به صورت همه جانبه با کاربرد رویکرد سیستم‌های پویا که یک روش جامع و قابل انعطاف است مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

پویایی سیستم‌ها شاخه‌ای از تفکر سیستمیک می‌باشد که به بررسی و مطالعه رفتار پویای سیستم‌های پیچیده می‌پردازد (Forrester 1961). توانایی ویژه مدل‌سازی توسط پویایی سیستم‌ها کشف و رسم فرآیندهای بازخوردی می‌باشد (Sterman 2000). سیستم‌های پیچیده از تعامل حلقه‌های بازخوردی مثبت و منفی تشکیل می‌یابند. حلقه‌های بازخوردی منفی در جهت تعادل در سیستم و تعدیل تغییرات نقش ایفا می نمایند. حلقه‌های مثبت می‌توانند یک واقعه کوچک را تا زمانی که یک حادثه عظیم سیستمیک به وقوع بپیوند، پی در پی تقویت کنند (Sterman, 2000). مراحل مدلسازی ارائه شده توسط تحقیقات عمدتا مشابه بوده و برای رسیدن به هدف مطالعات یک مسیر را طی نموده اند اگر چه ممکن است نحوه ی بیان مراحل مدلسازی کمی با یکدیگر تفاوت داشته باشد، به طوری که استیو[۴] (۲۰۰۳) مراحل مدلسازی را به صورت زیر بیان داشته: ۱) بیان مسئله؛ ۲) شرح سیستم؛ ۳) توسعه مدل؛ ۴) تست مدل؛ ۵) استفاده از مدل برای تجزیه و تحلیل سیاست‌ها.

اطلاعات مورد نیاز در دو مرحله جمع آوری شده است، در مرحله اول برای یافتن اطلاعات بیشتر در رابطه با موضوع تحقیق و آشنایی بیشتر با ادبیات موضوع به کتابخانه‌ها، مراکز اطلاعاتی اینترنتی و مراکز اسناد دانشگاه‌ها و سازمان‌ها و مراکز تحقیقات مراجعه و اطلاعات لازم را گردآوری نمود. در ادامه داده‌های واقعی از طریق مراجعه به سازمان‌های ذی‌ربط مانند سازمان آب منطقه ای استان خراسان جنوبی، سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی و مرکز آمار ایران، جمع آوری گردید. در نهایت اطلاعات جمع آوری شده با استفاده از نرم افزارهای Excel، SPSS و Vensim طی مراحل فوق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و رفتار تک تک شاخص‌های مورد بررسی در استان خراسان جنوبی تا سال ۱۴۲۰ شبیه سازی شده و طی نمودارهای مختلف نمایش داده شدند. به منظوز تجزیه و تحلیل اطلاعات، فرایند مدلسازی بر اساس مراحل ذکر شده در بخش قبل پیگیری شده است.

۱- تعریف مسئله

به منظور تبیین مسئله ی تحقیق، روند رفتار تاریخی متغیر مرجع و متغیرها و مفاهیم کلیدی که بر متغیر مرجع تاثیر گذارند در طول زمان مورد بررسی قرار گرفته و روند تغییرات آن به صورت نمودار نمایش داده شده است.

رفتار تاریخی متغیرها و مفاهیم کلیدی که بر متغیر مرجع تاثیر گذارند در طول زمان به صورت نمودار نمایش داده شده است. در این راستا، با توجه به اینکه تعداد متغیرهای تاثیر گذار بر متغیر مرجع زیاد بوده و بررسی روند تغییرات آنها میسر نمی باشد متغیرهای میزان بارندگی و تولیدات بخش کشاورزی استان انتخاب گردید و روند تاریخی آنها مورد بررسی قرار گرفت.

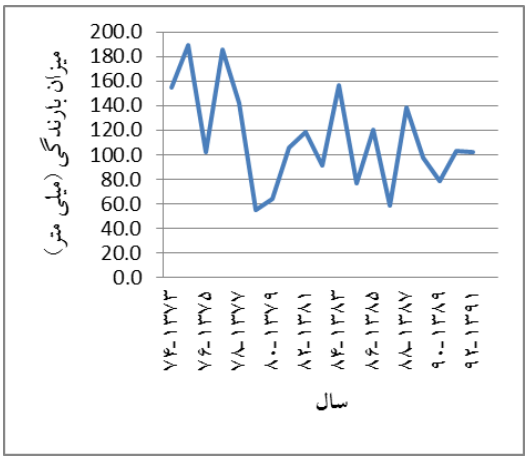
همان طور که در نمودار ۱ قابل مشاهده است، میزان بارندگی در استان خراسان جنوبی طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۱ کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد به طوری که میزان بارندگی در سال ۱۳۷۴ حدود ۱۵۰ میلی متر بوده و این مقدار تا سال ۱۳۹۱ روند کاهشی داشته و به ۱۰۰ میلی متر رسیده که این بیانگر کاهش ۳۷ درصدی در میزان بارندگی است. روند رفتار تاریخی تولیدات بخش کشاورزی استان خراسان جنوبی (نمودار ۲) نشان می‌دهد که میزان تغییرات این متغیر از یک روند نزولی برخوردار بوده، به طوری که در سال ۱۳۷۷، میزان تولیدات بخش کشاورزی استان بیش از ۷۰۰ هزار تن در سال گزارش شده و در سال ۱۳۹۰ این مقدار به کمتر از ۵۰۰ هزار تن رسیده است.

۲- شرح سیستم

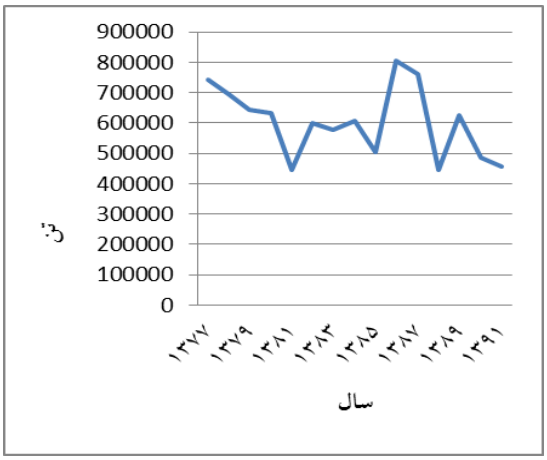
برای تعیین مرز سیستم باید متغیرهای فرعی (متغیرهای تاثیر گذار بر متغیر مرجع) شناسایی شوند، این متغیرها تحت عنوان متغیرهای فرعی نامگذاری می‌شوند. در این راستا در این تحقیق، متغیرهای تاثیرگذار بر شاخص‌های بخش کشاورزان در مقابل خشکسالی بر اساس تکنیک DPSIR[5] و پیشنه تحقیق مورد شناسایی قرار گرفتند. با توجه به اینکه متغیرهای تاثیر گذار بر متغیر مرجع در روش پویایی سیستم‌ها، در دو دسته ی متغیرهای درون زا و برونزا تقسیم بندی می‌شوند، در این تحقیق نیز متغیرهای تاثیر گذار بر بخش کشاورزی استان خراسان جنوبی به به دو دسته ی دورن زا و برون زا دسته بندی شدند، متغیرهای درون زا در درون مرز سیستم قرار می‌گیرند، هم بر سیستم اثر گذاشته و هم از آن اثر می‌پذیرند و متغیرهای برون‌زا یعنی متغیرهایی که در بیرون از مرز سیستم قرار می‌گیرند و بر سیستم اثر می‌گذارند اما از سیستم اثر نمی‌پذیرند. با توجه به دینامیک‌های فعال در مدل تحقیق، متغیر مرجع تحقیق، حجم منابع آب زیرزمینی خراسان جنوبی است و متغیرهای تاثیر گذار بر متغیر مرجع در جدول ۱ قابل ملاحظه است می‌باشد، بنابراین می‌توان گفت که مرز سیستم شامل متغیرها و عواملی است که بر متغیرهای فوق تاثیر می‌گذارند و از آن تاثیر می‌پذیرند. در ادامه پس از شناسایی متغیرهای مرجع و متغیرهای تاثیر گذار بر متغیر مرجع (تعیین مرز سیستم) دینامیکهای نمودار علی- معلولی وسپس نمودار جریان مربوطه ترسیم گردد (نمودار ۳).

۳- توسعه مدل(جریان)

با توجه به اینکه نمودارهای علی- معلولی قابلیت اجرا در نرم افزار را ندارد، به منظور اجرا در نرم افزار، نمودارهای جریان با الهام از نمودارهای علت و معلولی توسعه داده می‌شوند، در این مرحله لازم است تا معادلات حاکم بر متغیرها وارد مدل شده و ساختار و قوانین تصمیم گیری مشخص و پارامترها، روابط رفتاری و شرایط اولیه حاکم تخمین زده شود، نمودار (۴) نشان دهنده ی نمودار جریان مدل تحقیق می‌باشد.



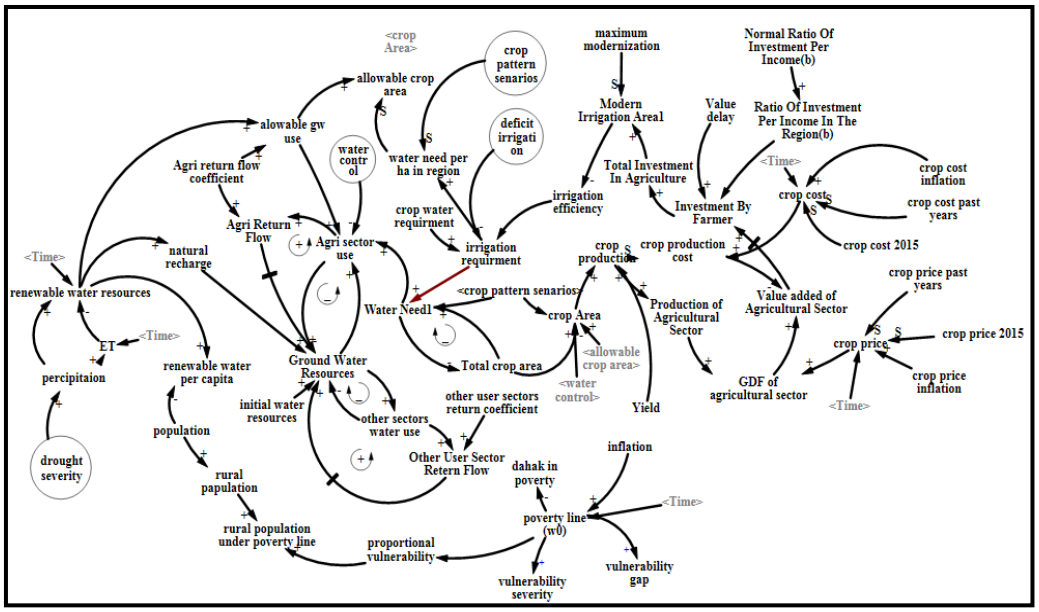
نمودار ۱. تولیدات بخش کشاورزی استان خراسان جنوبی



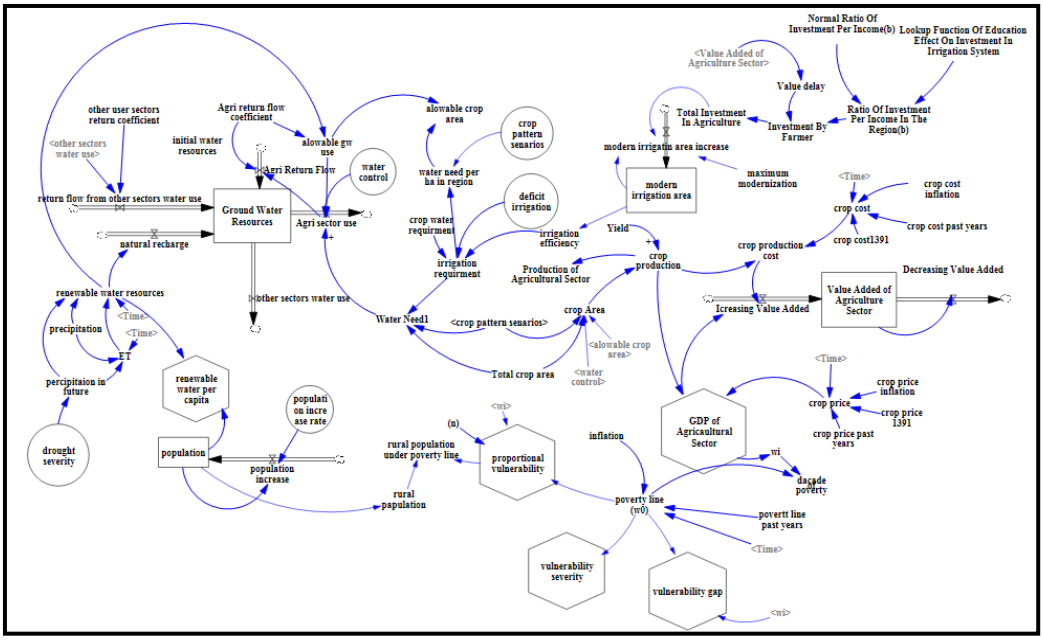
نمودار ۲. میزان بارندگی در استان خراسان جنوبی

جدول ۱. متغیرهای تاثیر گذار بر متغیرهای مرجع تحقیق

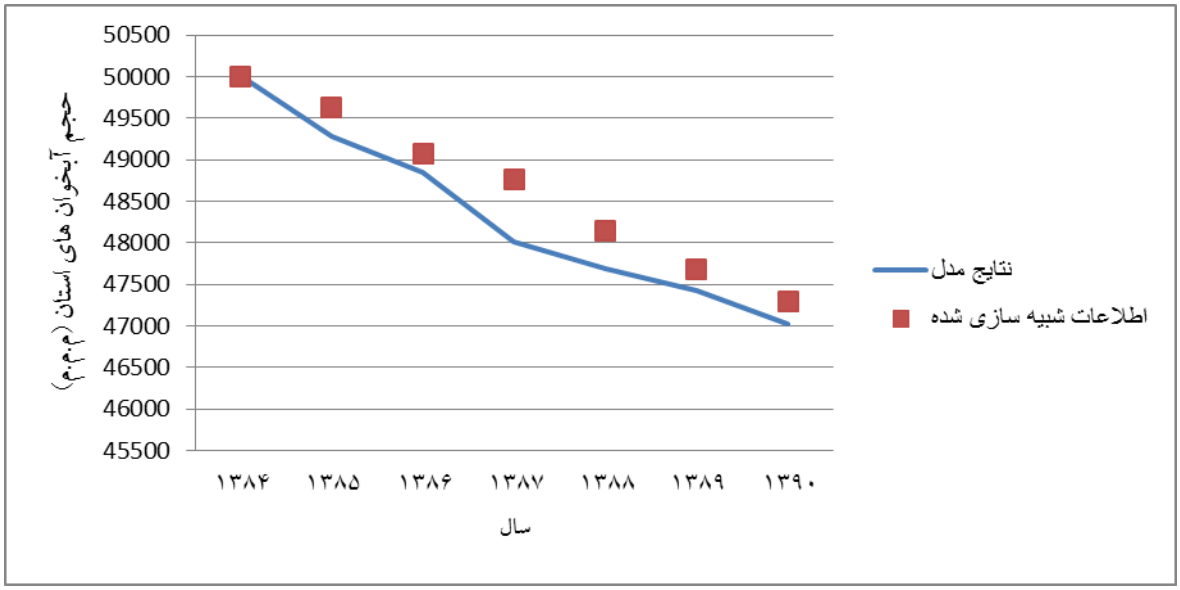
متغیرهای درون زا	متغیرهای برون زا	متغیرهای در نظر نگرفته شده
الگوی کشت	بارندگی	
راندمان آبیاری	مصرف آب دیگر بخش‌های اقتصادی	
نیاز آبی	قیمت محصولات کشاورزی	
حجم منابع آبی	هزینه محصولات کشاورزی	صادرات محصولات کشاورزی
حجم آب تجدید پذیر	سرمایه گذاری دولت در سیستم‌های	واردات محصولات کشاورزی
حجم آب قابل مجاز (در دسترس) بخش کشاورزی	آبیاری تحت فشار	نرخ ارز
تولیدات بخش کشاورزی	تورم	اشتغال بخش کشاورزی
عملکرد محصولات کشاورزی	جمعیت روستایی	
تولید ناخالص بخش کشاورزی	مدیریت عرضه آب (کنترل و عدم	
ارزش افزوده بخش کشاورزی	کنترل بهره برداری از منابع آب)	
سطح زیر کشت		
کم آبیاری		
سرمایه گذاری در سیستم‌های آبیاری تحت فشار		
خط فقر		



نمودار ۱. نمودار علت و معلولی



نمودار ۳. نمودار جریان تحقیق



نمودار ۴. اثر ارزیابی کارآیی مدل در برآورد موجودی آبخوان‌های استان خراسان جنوبی

۴- تست مدل (صحت سنجی مدل)

به منظور اطمینان صحت مدل در ابتدا دادههای مشاهدهای و تخمینی تعدادی از متغیرها توسط مدل مورد مقایسه قرار گرفتند، که نتایج نشان داد خروجی مدل با مقادیر مشاهده ای تفاوت معنی داری نداشته و از یک روند برخوردار بوده است، لذا می‌توان از صحت عملکرد مدل اطمینان حاصل کرد. همچنین توانایی مدل تحت شرایط حدی مورد بررسی قرار گرفت که بیانگر توانایی مدل در شرایط حدی بوده در نهایت به منظور اطمینان از حساسیت سیستم، رفتار تعدادی از متغیرها در شرایط غیر منطقی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان از صحت مدل دارد. در زیر نتیجه مقایسه دادههای مشاهدهای و تخمینی متغیر حجم منابع آبخوان استان خراسان جنوبی ارائه گردیده است.

۵- استفاده از مدل برای تجزیه و تحلیل سیاست ها

مرحله ی نهایی مدلسازی پویایی سیستم ها، کاربرد مدل برای تجزیه و تحلیل سیاست‌ها می‌باشد، در این راستا تاثیر اعمال سناریوهای مختلف برونزا بر متغیرهای مرجع طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۴۲۰ شبیه سازی شده است. سناریوها و سیاست‌های اجرا شده در مدل شامل موارد زیر می‌باشد:

- سناریوهای خشکسالی (شرایط نرمال حاضر، افزایش خشکسالی با شدت ۲۰ درصد، افزایش خشکسالی با شدت ۳۰ درصد، افزایش خشکسالی با شدت ۴۰ درصد)
- سناریوهای مدیریت عرضه آب (کنترل عرضه آب در حد پتانسیل آب تجدید پذیر استان، عدم کنترل عرضه ی آب)
- سناریوهای الگوی کشت (الگوی کشت رایج، الگوی کشت رایج با افزایش ۲۰ درصدی سطح زیر کشت، الگوی کشت رایج با کاهش ۲۰ درصدی سطح زیر کشت، افزایش ۳۰ درصدی سطح زیر کشت محصولات استراتژیک (گندم، جو، زعفران)، کاهش سطوح محصولات پرمصرف به حداقل (ذرت، چغندر قند،پنبه، گلرنگ، پیاز، سیر و یونجه و اختصاص سطح کاهش یافته به محصولات کم مصرف(زعفران، زرشک، پسته، زعفران، زیره، طالبی، هندوانه، خربزه، عدس، نخود، جو و گندم)
- سناریوهای ترکیبی حاصل از تلفیق سناریوهای فوق توضیحات بیشتر پیرامون سناریوهای فوق در جدول ۲ خلاصه شده است.

نتایج و بحث

با توجه به اثر اجتناب ناپذیر اعمال سناریوهای خشکسالی، الگوی کشت، عرضه ی آب، بر وضعیت منابع آب زیرزمینی، در این قسمت اثر سناریوهای یاد شده بر موجودی آبخوان‌های استان خراسان جنوبی مورد بررسی قرار گرفته است.

- سناریوهای خشکسالی

نمودارهای ۵ و ۶ تاثیر سناریوهای خشکسالی در شرایط اعمال مدیریت عرضه آب (کنترل و عدم کنترل بهره برداری از این منابع)، در الگوی کشت و شرایط آبیاری و سرمایه گذاری وضع حاضر، بر موجودی آبخوان‌های استان را نشان می‌دهد، همان طور که در نمودار ۵ مشهود است در صورتی که شرایط کنونی کشاورزی ادامه پیدا کند ولی شدت خشکسالی‌ها افزایش

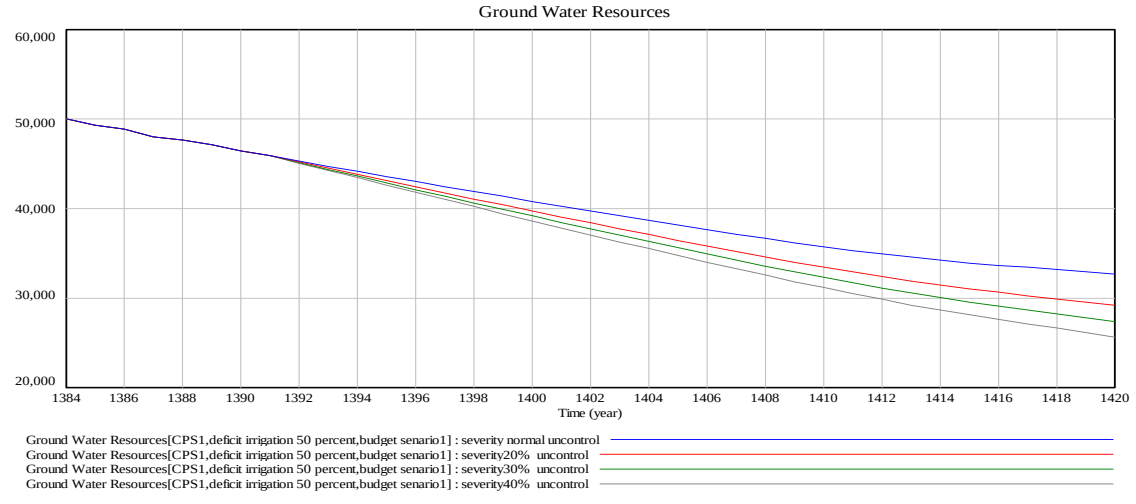
جدول ۲. سناریوها و سیاست‌های اجرا شده در مدل به منظور شبیه سازی متغیرهای مرجع در شرایط خشکسالی بر بخش کشاورزی خراسان جنوبی

سناریو	سطوح اعمال سناریو	علامت در مدل
	شرایط نرمال حاضر	Normal
سناریوهای خشکسالی Drought Severity	افزایش خشکسالی با شدت ۲۰ درصد	Severity 20%
	افزایش خشکسالی با شدت ۳۰ درصد	Severity 30%
	افزایش خشکسالی با شدت ۴۰ درصد	Severity 40%
مدیریت عرضه آب Water Supply Management	کنترل عرضه آب در حد پتانسیل آب تجدید پذیر استان	Control
	عدم کنترل عرضه ی آب	Un-control
سناریوهای الگوی کشت Crop pattern	الگوی کشت رایج	CPS 1(Crop Pattern Scenario1)
	الگوی کشت رایج با افزایش ۲۰ درصدی سطح زیر کشت	CPS 2(Crop Pattern Scenario2)
	الگوی کشت رایج با کاهش ۲۰ درصدی سطح زیر کشت	CPS 3(Crop Pattern Scenario3)
	افزایش ۳۰ درصدی سطح زیر کشت محصولات استراتژیک (گندم، جو، زعفران) کاهش سطوح محصولات پرمصرف به حداقل (ذرت، چغندر قند،پنبه، گلرنگ، پیاز، سیر و یونجه و اختصاص سطح کاهش یافته به محصولات کم مصرف(زعفران، ، زرشک، پسته، زعفران، زیره، طالبی، هندوانه، خربزه، عدس، نخود، جو و گندم)	CPS 4(Crop Pattern Scenario4)
		CPS 5(Crop Pattern Scenario5)

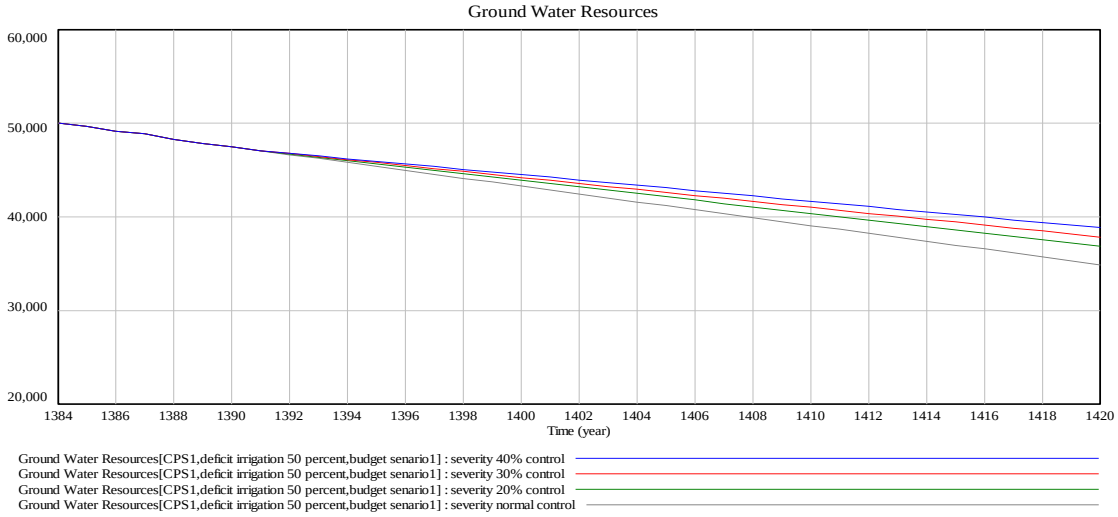
یابد و کنترلی روی بهره برداری از منابع آبی اعمال نگردد، تنزل حجم آبخوان تحت سناریوهای خشکسالی افزایشی بوده و با افزایش شدت خشکسالی، کاهش سطح موجودی آبخوان‌های استان از سرعت بیشتری برخوردار خواهد زیرا از یک طرف،کشاورزان در خشکسالی‌های با شدت بیشتر، کسری آب مورد نیازی که در شرایط نرمال از بارندگی تامین می‌نموده اند، را بدون محدودیت از منابع زیرزمینی استخراج می‌نمایند و فشار بیشتری بر منابع آب زیر زمینی می‌آورند، از طرفی دیگر نیز به علت کاهش بارندگی‌ها در خشکسالی‌های با شدت بیشتر، میزان تغذیه ی آبخوان‌ها کاهش می‌یابد.

حجم آبخوان استان تحت سناریوهای خشکسالی مختلف و در شرایط کنترل بهره برداری (نمودار ۶)، حاکی از این است که در این حالت نیز تنزل حجم آبخوان‌های استان از یک روند افزایش برخوردار بوده زیرا در این شرایط میزان بهره برداری بخش کشاورزی از منابع آب، کنترل گردیده است، ولی روی میزان برداشت دیگر بخش‌ها مانند شرب، صنعت و ... کنترلی اعمال نگردیده است و این بخش‌ها بدون محدودیت از منابع زیرزمینی استفاده نموده اند.

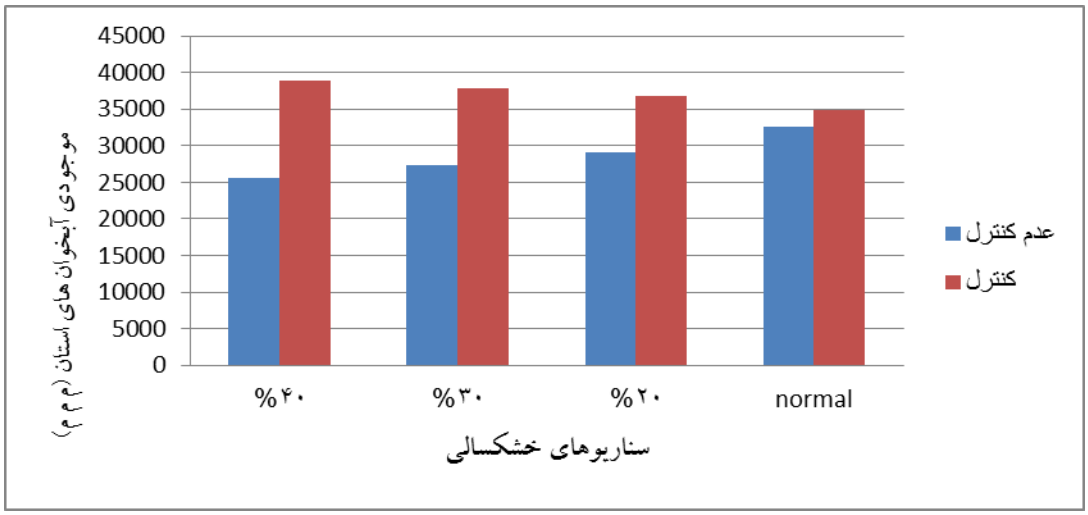
همچنین مقایسه‌ی حجم منابع زیرزمینی در خشکسالی‌های با شدت متفاوت در نمودار ۷ قابل ملاحظه است و نشان می‌دهد که حجم منابع آب زیرزمین در خشکسالی‌های با شدت بیشتر، در افق ۱۴۲۰ بیشتر خواهد بود، زیرا با افزایش شدت خشکسالی، میزان آب تجدید پذیر استان کاهش یافته، در نتیجه میزان برداشت مجاز کشاورزان از منابع زیرزمینی نیز کاهش یافته، که این خود میزان اضافه برداشتی که از ظرفیت آب تجدید پذیر منابع زیرزمینی برداشت شده (۳۶ درصد سهم منابع سطحی) کاهش یافته در نتیجه این امر باعث بهبود شرایط منابع آب در خشکسالی‌های با شدت بیشتر شده است.



نمودار ۵. اثر سناریوهای خشکسالی در شرایط عدم کنترل بهره برداری از منابع آب در الگوی کشت و شرایط آبیاری وضع موجود بر موجودی آبخوان‌های استان (میلیون مترمکعب)



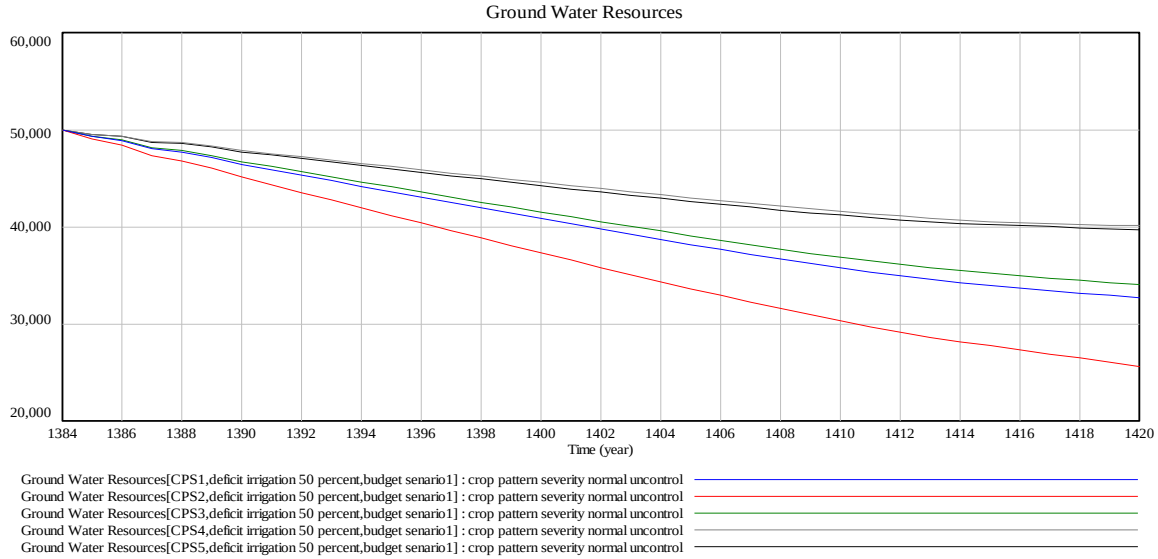
نمودار ۶. اثر سناریوهای خشکسالی در شرایط کنترل بهره برداری از منابع آب در الگوی کشت و شرایط آبیاری وضع موجود بر موجودی آبخوان‌های استان (میلیون مترمکعب)



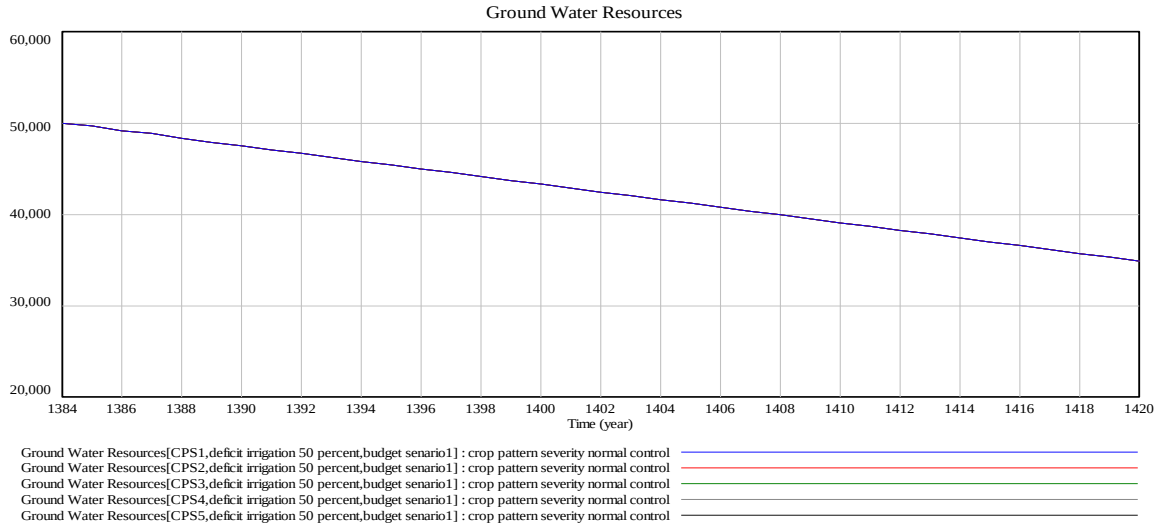
نمودار ۷. اثر سناریوهای خشکسالی در شرایط کنترل و عدم کنترل بهره برداری از منابع آب استان در افق ۱۴۲۰

اثر الگوی کشت بر موجودی آبخوان‌های استان خراسان جنوبی

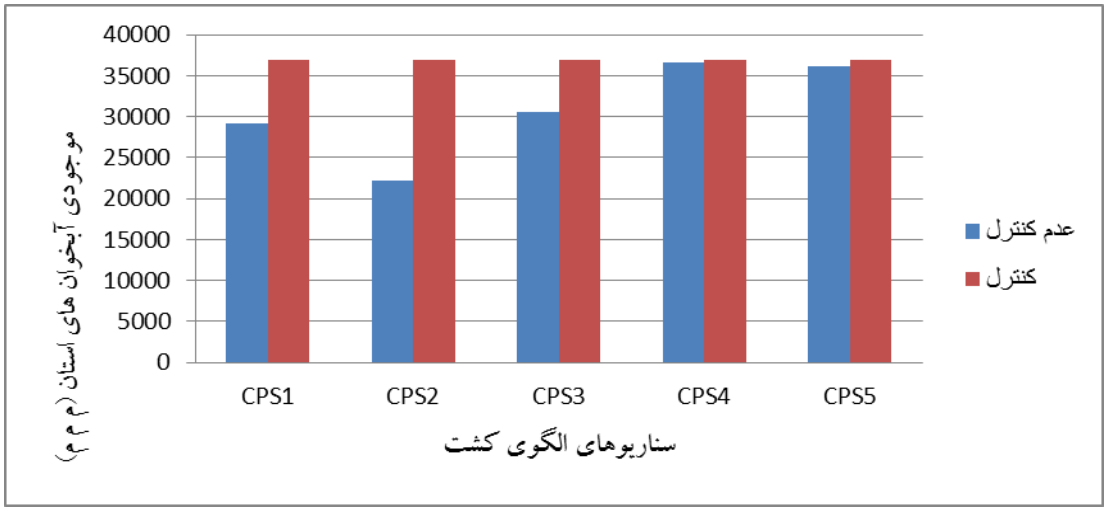
نمودار ۸ و ۹ اثر اعمال سناریوهای الگوی کشت بر تغییرات حجم آبخوان‌های استان در شرایط خشکسالی نرمال و اعمال سناریوی مدیریت عرضه منابع آبی را نشان می‌دهد، همان طور که در نمودار۵ قابل مشاهده است اعمال سناریوهای مختلف الگوی کشت بدون کنترل بهره برداری از منابع آب بر حجم منابع آب زیرزمینی اثر چشمگیری داشته به طوری اعمال الگوی کشت ۴ و ۵ کمترین فشار را بر منابع آب زیر زمینی و در مقابل اعمال الگوی کشت ۲ که سطح زیر کشت موجود در آن ۲۰ درصد افزایش داشته، بیشترین فشار را بر این منابع داشته است. همچنین اثر اعمال سناریوهای الگوی کشت بر تغییرات حجم آبخوان‌های استان در شرایط کنترل بهره برداری بهره برداری از منابع آب نشان می‌دهد با توجه به اعمال سناریوی کنترل بهره برداری از منابع آبی، میزان بهره برداری در کلیه ی سناریوهای الگوی کشت، برابر بوده در نتیجه اثر یکسانی بر منابع آب داشته اند (نمودار ۹). مقایسه اثر الگوی کشت بر روی موجودی آبخوان‌های استان در شرایط کنترل و عدم کنترل بهره برداری از منابع آب در افق ۱۴۲۰ حاکی از این است که در صورت اعمال سناریوی کنترل بهره برداری، میزان منابع آب نسبت به سناریوی عدم کنترل از حجم بیشتری برخوردار خواهد بود و حجم منابع آب در سناریوهای الگوی کشت ۴ و ۵ که میزان مصرف آب در آن پایین است در شرایط کنترل و عدم کنترل تفاوتی نداشته است زیرا میزان مصرف این دو الگو در شرایط عدم کنترل پایین بوده و نیاز آبی آنها در صورت کنترل نیز تامین می‌گردد (نمودار ۱۰).



نمودار ۸. اثر الگوی کشت بر موجودی آبخوان‌های استان در شرایط عدم کنترل بهره برداری از منابع آب



نمودار ۹. اثر الگوی کشت بر موجودی آبخوان‌های استان در شرایط کنترل بهره برداری از منابع آب



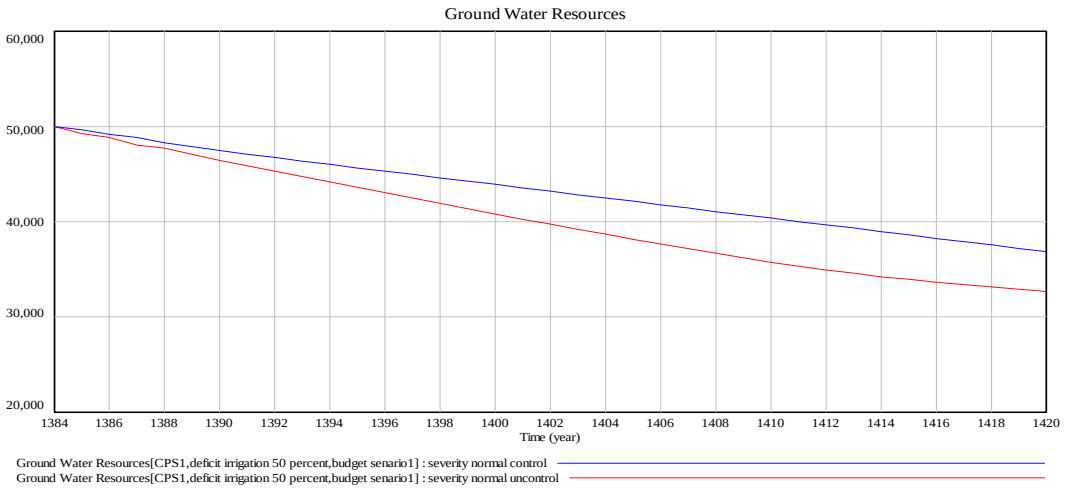
نمودار ۱۰. اثر الگوی کشت بر روی موجودی آبخوان‌های استان در شرایط کنترل و عدم کنترل بهره برداری از منابع آب در افق ۱۴۲۰

- مدیریت عرضه آب (کنترل بهره برداری از منابع آب)

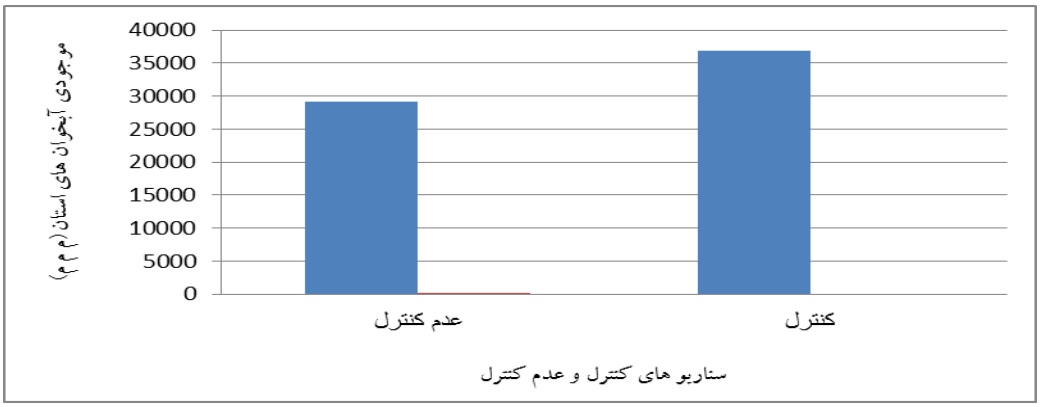
نمودارهای ۱۱ و ۱۲ به منظور بررسی تاثیر مدیریت عرضه آب (کنترل بهره برداری از منابع آب) بر موجودی آبخوان‌های استان خراسان جنوبی، ارائه شده است. همچنان که مشاهده می گردد، با توجه به اینکه کشاورزان در برداشت از منابع زیر زمین با محدودیت روبرو بوده اند بنابراین حجم برداشت از منابع زیرزمینی کاهش یافته و موجودی آبخوان‌های استان در سناریوی اعمال کنترل بهره برداری از منابع آب، نسبت به سناریوی عدم کنترل، در تمامی سال‌های مورد بررسی، تفاوت فاحشی داشته و بیشتر بوده است. مقایسه ی موجودی آبخوان‌های استان در افق ۱۴۲۰ نیز به وضوح نشان می‌دهد که اجرای سناریوی کنترل بهره برداری از منابع آب زیر زمینی، تاثیر بسزایی در بهبود حجم آبخوان‌ها داشته است (نمودار ۱۳).

سناریوی ترکیبی خشکسالی و الگوی کشت در شرایط کنترل و عدم کنترل بهره برداری از منابع آب

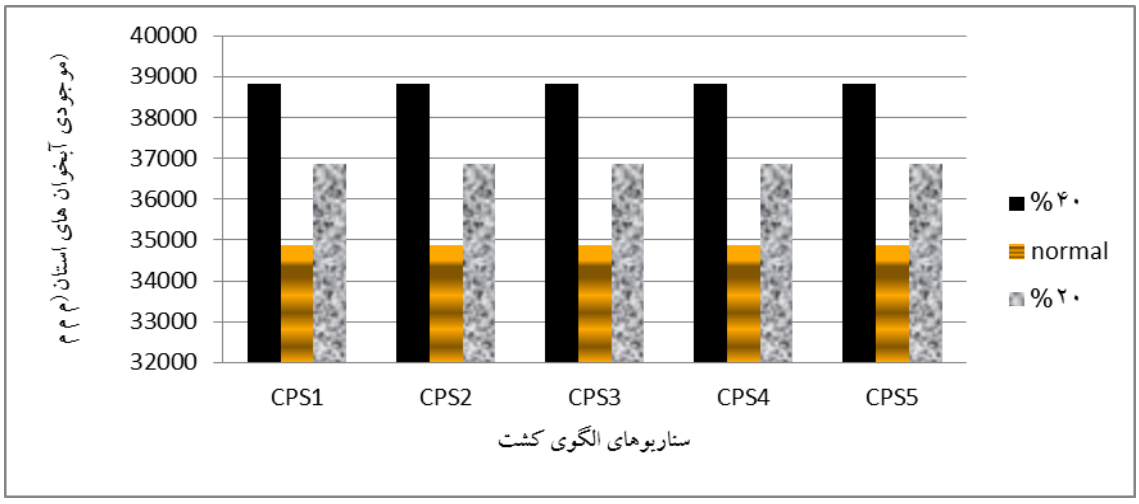
جهت بررسی اثر خشکسالی و الگوی کشت در شرایط عدم کنترل بهره برداری از منابع آب به صورت توام، سناریوی ترکیبی حاصل از سه سناریوی فوق شبیه سازی شد و نتایج آن در نمودار ۱۴ ارائه شده و گواهی می‌دهد که در وضعیت خشکسالی‌های متفاوت در صورتی که کنترل بهره برداری از منابع آب زیرزمینی اعمال گردد هیچ کدام از الگوهای کشت از حیث تاثیرگذاری بر منابع آب تفاوتی با یکدیگر ندارند زیرا آب عرضه شده برای هر ۵ سناریوی کشت یکسان بوده است و این مقدار از نیاز آبی هیچ کدام از سناریوهای الگوی کشت بیشتر نبوده است، ولی مطابق با نمودار ۱۵ در صورتی که سناریوی کنترل بهره برداری از منابع آب اعمال نگردد و کشاورزان بدون محدودیت بتوانند آب مورد نیاز خود را از منابع زیرزمینی استخراج نمایند بیشترین فشار بر روی منابع آب توسط الگوی کشت ۲ اعمال خواهد شد و از این حیث الگوهای ۴ و ۵ نسبت به دیگر الگوها از شرایط مناسب تری برخوردار می‌باشند.



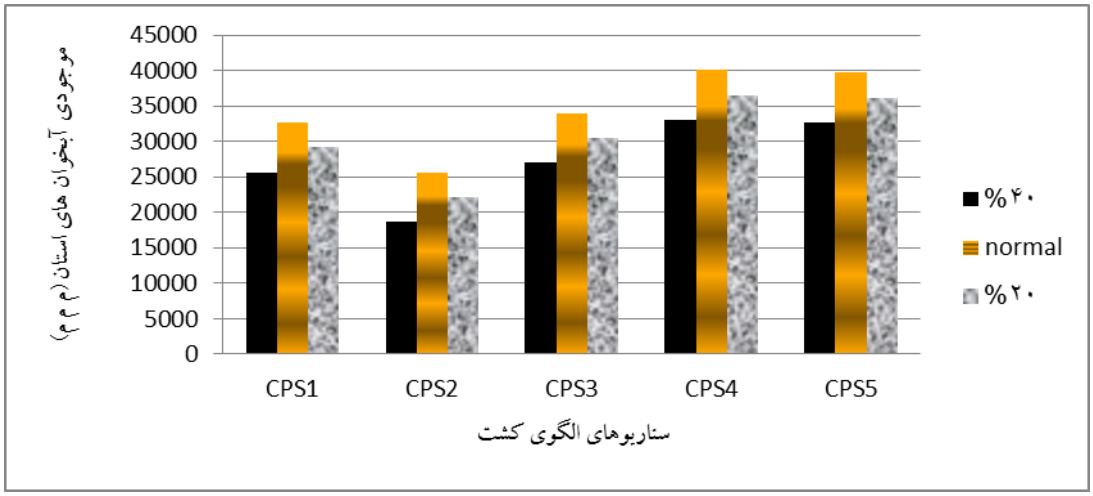
نمودار ۱۱. اثر سناریوهای کنترل و عدم کنترل بهره برداری از منابع آب بر موجودی آبخوان‌های استان



نمودار ۱۳. اثر الگوی کشت بر روی موجودی آبخوان‌های استان در شرایط کنترل و عدم کنترل بهره برداری از منابع آب در افق ۱۴۲۰



نمودار ۱۴. اثر سناریوهای ترکیبی خشکسالی و الگوی کشت در شرایط کنترل بهره برداری از منابع آب بر روی موجودی آبخوان‌های استان در افق ۱۴۲۰



نمودار ۱۵. اثر سناریوهای ترکیبی خشکسالی و الگوی کشت در شرایط عدم کنترل بهره برداری از منابع آب بر روی موجودی آبخوان‌های استان در افق ۱۴۲۰

نتیجه گیری و پیشنهادها

- یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد در صورتی که شدت خشکسالی‌ها در سال‌های آینده افزایش یابد ولی شرایط کنونی کشاورزی استان خراسان جنوبی از حیث الگوی کشت ادامه پیدا کند، خشکسالی‌ها بر روی شاخص‌های اقتصادی اثر نخواهد داشت زیرا در این شرایط کشاورزان با کف شکنی و استخراج بیشتر از منابع آب زیرزمینی، کمبود بارندگی‌ها را جبران خواهند کرد و اثرات منفی خشکسالی بر روی موجودی منابع آب زیرزمینی نمایان خواهد گذاشت. همچنین اعمال سناریوی کنترل بهره برداری از منابع آب در شرایط خشکسالی نرمال و شدت پایین حاکی از این است که در این شرایط خشکسالی، اعمال کنترل بهره برداری از منابع آب، از یک طرف باعث جلوگیری از تخلیه ی آب زیر زمینی گشته و از طرف دیگر، این سناریو اثر منفی بر شاخص‌های اقتصادی نداشته است زیرا در این شرایط خشکسالی توانسته اند خود را با شرایط سازگار کنند و با بهره وری بهتر، آب در دسترس خود را مدیریت کنند و این نشان از مدیریت بالای کشاورزان در این شرایط دارد. بنابراین می‌توان گفت در صورتی که شرایط کنونی خراسان جنوبی (خشکسالی نرمال) ادامه پیدا کند، اعمال سناریوی کنترل بهره برداری از منابع آب، مفید خواهد بود زیرا در این شرایط کشاورزان خواهند توانست کمبود آب را با مدیریت بهینه جبران نماید. ولی اگر در شرایط خشکسالی بیشتر از ۲۰ درصد، سناریوی کنترل بهره برداری از منابع آب اعمال گردد و کشاورزان با محدودیت برداشت از منابع آب زیرزمینی روبرو باشند، شدت تنزل موجودی آب زیرزمینی کاهش خواهد یافت و این امر باعث بهبود وضعیت حجم آبخوان‌های استان می‌گردد.

با توجه به اینکه در بین سناریوهای الگوی کشت، الگوی کشت ۵ (کاهش سطوح محصولات پرمصرف به حداقل (ذرت، چغندر قند،پنبه، گلرنگ، پیاز، سیر و یونجه) و اختصاص سطح کاهش یافته به محصولات کم مصرف(زعفران، ، زرشک، پسته، زعفران، زیره، طالبی، هندوانه، خربزه، عدس، نخود، جو و گندم)) در شرایط کنترل و عدم کنترل بهره برداری از منابع آب، کمترین فشار را بر منابع زیر زمینی داشته و شاخص‌های اقتصادی در آن از شرایط مناسب تری برخوردار بوده است بنابراین اگر از نقطه نظر مالک مزرعه به مسئله پرداخته شود، که شاخص درآمد برای وی اهمیت دارد این الگو بهترین است و یا اگر از نقطه نظر مدیران بخش کشاورزی که شاخص مقدار محصول به ازای واحد آب را مهم تلقی می‌کنند باز این الگو از جایگاه بالایی برخوردار است. بنابراین می‌توان پیشنهاد کرد که تغییر الگوی کشت یک ضرورت در شرایط خراسان جنوبی است و در این راستا الگوی کشت ۵ می‌تواند به عنوان سناریوی برتر انتخاب شود.

-با عنایت به اثر الگوی کشت بر روی منابع آب زیرزمینی و شاخص‌های اقتصادی، لازم است تمهیداتی جهت تغییر الگوی کشت اندیشیده شود، این تمهیدات می‌تواند در برگیرنده ی اجرای برنامه‌های آموزشی- ترویجی و نظارتی و حمایتی باشد، به طوری که می‌توان با ایجاد سامانه الگوی کشت که در آن کشاورزان موظف به ثبت محصولات کشت شده و میزان کشت خود جهت دریافت نهاده‌های کشاورزی باشند، می‌تواند در این راه کارساز باشد. نتایج تحقیق مولوی و همکاران (۱۳۹۵) در حوزه ارس و نظری (۱۳۸۹) در دشت قزوین نشان داد که که تغییر الگوی کشت و مدیریت کنترل آب می‌تواند در این مناطق کارساز باشد.

-نتایج بررسی تاثیر سناریوهای مدیریت عرضه ی منابع آب بر روی شاخص‌های مورد بررسی حاکی از این است که سناریوی کنترل بهره برداری از منابع آبی، اثر مثبت چشمگیری بر موجودی آبخوان‌های استان خراسان جنوبی داشته به طوری که

موجودی آبخوان‌های استان در سناریوی اعمال کنترل بهره برداری از منابع آب، نسبت به سناریوی عدم کنترل، در تمامی سال‌های مورد بررسی، تفاوت فاحشی داشته و بیشتر بوده است. این در حالی است که بر خلاف اینکه میزان مصرف آب کاهش یافته، اثر آن بر شاخص‌های اقتصادی چشمگیر نبوده و کشاورزان توانسته اند آب در دسترس خود را مدیریت کنند. بنابراین می‌توان گفت که این سناریو در شرایط خشک خراسان جنوبی می‌تواند به عنوان یک سیاست کارآمد عمل نموده و می‌تواند در این شرایط بس کارساز باشد. به بیانی دیگر می‌توان گفت که سناریوی کنترل بهره برداری از منابع آب یک راهکار موثر در بهبود وضعیت موجودی آب زیر زمینی و مدیریت آن در کنار تغییر الگوی کشت می‌باشد.

Reference:

Ashrafpour, S. (2002). Investigating management requirements in reducing the effects of drought in the south of South Khorasan province, Executive Management Master's Thesis, Management Research and Training Institute, (affiliated to the Ministry of Energy). [in Persian].

Iran Water Resources Management Company, (2013). Statistical charts of the water sector, Tehran. [in Persian].

Salavitabar, A. R., Zarghami, M., Abrishamchi, A. (2006), System Dynamic Model in Tehran Urban Water Management, Journal of Water and Wastewater, 17 (3): 12-28. [in Persian].

Gelyan, S., Abrishamchi, A., Tajrishi, M, (2007)., Analysis of water resources exploitation policies in the catchment basin with system dynamics method, Journal of Water and Wastewater, 18 (3): 70-80. [in Persian].

Nazari, B. (2016). Dynamic modeling of irrigation networks with a water efficiency approach, specialized doctoral thesis on irrigation and drainage, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, University of Tehran. [in Persian].

Molavi, H., Liaghat, A.M., Nazari, B. (2017), Assessment of policies of changes in cropping pattern and deficit irrigation management using system dynamics modeling (Case study: Aras basin), 6 (2): 217-236. [in Persian].

Ashok K. Mishra and, Vijay P. Singh. 2010. A review of drought concepts, Journal of Hydrology 391 (2010) 202–216.

Ashok K. Mishra and, Vijay P. Singh. 2011. Drought modeling – A review, Journal of Hydrology 403 (2011) 157–175.

Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P. (Eds.), 2008. Climate Change andWater. Technical Paper, International Panel on Climate Change (IPCC) Secretariat, Geneva.

Biswas, A. & Tortajada, C. 2009. Changing global water management landscape, in: A. Biswas, C. Tortajada & R. Izquierdo (Eds) Water Management in 2020 and Beyond, pp. 1–34 (Berlin-Heidelberg: Springer).

FAO, 2012. global information system on water and agriculture, http://www.fao.org/nr/aquastat/.

Forrester, J. W., 1961. Industrial Dynamics. MIT Press, Cambridge, MA .Gagnon, B., G.

Hjörth P. and Bagheri A., 2006. Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach. In: Futures, 38, p. 74-92.

Liu,c Golding,D. and Gong, G. 2008. Farmers Coping Response to the low flows in the lower yellow river: A case study of temporal dimensions of vulnerability. Global Enviromental Change, 18, pp: 543-553.

Monasterolo. I., Pasqualino. R., and Mollona. E. 2015. The role of System Dynamics modelling to understand food chain complexity and address challenges for sustainability policies, Frederick S. Pardee Centre for the Study of the Longer Range Future, Boston University (USA) and Ircres-CNR (IT); Department of Computer Science and Engineering, University of Bologna (IT); Global

Richmond B., 1994. 'System dynamics / systems thinking: Let's just get on with it', International Systems Dynamics Conference, Sterling, Scotland, available at; http://www.hps-inc.com/st/st.html.

Shahbazbegian. M. R and A. Bagheri,. 2010. Representing systemic strategies to cope with drought impacts using system dynamics modeling. Case study: Hamadan province, Iran, Options Méditerranéennes, A no. 95,32-38.

Stave, A, K. 2003. A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada, Journal of Environmental Management 67, 303–313.

Sterman, J. 2000. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Irwin/McGraw Hill, ISBN 0-07-231135-5.

UN-water .2012. The United Nations World Water Development Report. Available at: http://www.unwater.org/statistics, Last access 12/10/2012.

Teimoori, M., Mirdamadi, S.M., & Hosseini, S.J. 2019. Modeling of climate change effects on groundwater resources: the application of dynamic systems approach. International Journal of Agricultural Management and Development, 9(2), 107-118.

یادداشت‌ها

[1] *System Age*
[2] *Holism*
[3] *Integrated Approach*
[4] *Stave*
[5] 'D*riving forces*', '*Pressures*', '*States*', '*Impacts*', '*Responses*'