

Dynamic Analysis of Sustainable Management of Energy Resources Based on Linking Water, Food and Energy Resources in the Carbon Sequestration Project in Iran

Gholam Ahmad Goharshahi*, Ali Sardarshahraki**, Javad Shahraki***, Neda Ali
Ahmadi****

Original Article	Receive Date: 2024 Sep 27	Accept Date: 2024 Nov 09	Page: 207-230
------------------	---------------------------	--------------------------	---------------

Abstract

Considering the changes in demand resulting from population growth and economic growth in the twenty one-year horizon, the crisis of water, food and energy resources, especially energy resources, is very serious. The present study deals with the dynamic analysis of sustainable management policies of energy resources based on the correlation of water, food and energy resources using the system dynamics approach. The initial modeling and simulation of the model was based on the data of South Khorasan province (Sarbisheh and darmian). Vensim software was used for modeling and simulation of this research. Based on the results of the validation and calibration analysis, the model is consistent with reality and the behavior of the model is consistent with the behavior of the system in reality. So that most of the optimal values of the Nash-Sutcliffe criterion are greater than 0.5 and the root mean square error is close to zero. In addition, the coefficient of determination is more than 0.80. As a result of the simulation of the proposed solutions, a combination of water and food demand management policy and energy resource management was chosen as the best solution. So that by increasing the use of new energies (wind and solar) and also increasing the efficiency of irrigation by developing the lands covered by the pressure irrigation network and modifying the consumption pattern, it is selected as the sustainable management policies of energy resources.

Keywords: Carbon sequestration project, Resource Security, System Dynamics, Sustainable Energy Management, Water-food-energy Nexus

JEL Classification: Q10, Q13.

* PhD student in Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

** Associate Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran (Corresponding Author)
a.shahraki65@gmail.com

*** Associate Professor of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

**** PhD in Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

تحلیل پویای مدیریت پایدار منابع انرژی مبتنی بر همبست منابع آب،

غذا و انرژی

در پروژه بین‌المللی ترسیب کربن در ایران

غلام احمد گوهرشاهی^{*}، علی سردار شهرکی^{**}، جواد شهرکی^{***}، ندا علی احمدی^{****}

نوع مقاله: پژوهشی	تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۶	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹	شماره صفحه: ۲۳۰-۲۰۷
-------------------	--------------------------	-------------------------	---------------------

چکیده

با توجه به افزایش جمعیت و اقتصادی در افق بیست و یک ساله، بحران منابع آب، غذا و به خصوص منابع انرژی خیلی جدی است. مطالعه حاضر به تحلیل پویای سیاست‌های مدیریت پایدار منابع انرژی مبتنی بر ارتباط منابع آب، غذا و انرژی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم پرداخته است. مدل سازی و شبیه سازی اولیه مدل بر مبنای داده‌های استان خراسان جنوبی (سریش و درمیان) صورت گرفت. برای مدل سازی و شبیه سازی این پژوهش از نرم افزار ونسیم استفاده شد. بر اساس نتایج پژوهش، اعتبارسنجی، کالیبراسیون و رفتار مدل با واقعیت مطابقت دارد بطوریکه بسیاری از مقادیر مطلوب معیار نش- ساتکلیف بیشتر از ۰/۵ و خطای جذر میانگین مربعات عددی نزدیک به صفر است. علاوه بر این، ضریب تعیین بیشتر از ۰/۸۰ است. در نتیجه شبیه سازی راهکارهای پیشنهادی، ترکیبی از سیاست مدیریت تقاضای آب و غذا و مدیریت منابع انرژی به عنوان بهترین راهکار، انتخاب گردید. به طوری که با افزایش به کارگیری انرژی‌های نو (بادی و خورشیدی) و همچنین افزایش راندمان آبیاری با توسعه اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری تحت فشار و اصلاح الگوی مصرف، به عنوان اصلی ترین سیاست مدیریت پایدار منابع انرژی است.

واژه‌های کلیدی: امنیت منابع، پویایی سیستم، پروژه ترسیب کربن، مدیریت پایدار انرژی، همبست (پیوند) آب و غذا و انرژی

طبقه‌بندی JEL: Q10, Q13.

* دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
** دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان زاهدان، ایران (نویسنده مسئول)
*** دانشیار اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان زاهدان، ایران
**** دانش‌آموخته دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان زاهدان، ایران

فصلنامه مجلس و اقتصاد، سال دوم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳

DOI: 10.22034/mec.2024.17177.1054

۱- مقدمه

آب، غذا و انرژی به عنوان بخشی از خدمات تأمینی اکوسیستم، منابعی ضروری هستند که در بسیاری از کشورها در بخش های جداگانه و مستقل از یکدیگر مدیریت می شوند. توسعه سیاست های مدیریتی بخشی سال هاست که امنیت منابع طبیعی را با خطر مواجه کرده است. پیوند آب، غذا و انرژی رویکردی نوین است که به مدیریت یکپارچه منابع در راستای تقویت خدمات اکوسیستم جهت دستیابی به توسعه پایدار کمک می کند. با توجه به وضعیت منابع و مصارف، تشدید کمبود منابع آب موجود و افزایش نارضایتی های اجتماعی در ایران لزوم به کارگیری ابزاری راهبردی برای ارزیابی امنیت منابع تحت سیاست های مختلف احساس می شود (راور و همکاران، ۱۳۹۶).

همبستگی ذاتی از سه بخش، نیازمند همکاری و اعتقاد ذینفعان در بخش های دولتی و خصوصی به مدل و مدیریت مسائل پایداری به شیوه ای نظام مند و جامع است. بر این اساس یکی از راهبردهای پیشنهادی توسعه نهادی برای سیاست گذاری و گفتمان بخش های مختلف درگیر در این همبسته برای دستیابی به اجماع و اساس مشترک است. در این بین وزارتخانه های نیرو، کشاورزی و صنعت، معدن و تجارت نقش اصلی را در این میان ایفا می کنند. هماهنگی بین سه بخش معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، معاونت امور آب و معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو و درگیر شدن دفتر برنامه ریزی راهبردی و تلفیقی به منظور تدوین طرح های توسعه ای و ساماندهی به امور مربوط و همچنین هماهنگی با معاون امور آب و خاک به منظور بهبود بهره وری آب و ساماندهی مصرف آب در بخش کشاورزی لازم به نظر می رسد. پایش تولید مواد غذایی و نظارت بر صنایع کشور نیز به منظور استفاده بهینه از انرژی و منابع آب کشور باید مد توجه قرار بگیرد. توسعه صنایع کشور بر اساس اقتصاد محیط زیستی و کالای پاک نیز مؤثر است. مجلس شورای اسلامی با تدوین قوانین بالادستی در زمینه توسعه صنایع، استفاده از منابع انرژی و آبی و همچنین هماهنگی بین ارگان های مسئول و تعیین نقش هر نهاد در رسیدن به توسعه پایدار نقش بسیار مهمی دارد.



شکل ۱. رابطه پویا بین بخش های آب، غذا و انرژی

۲- ادبیات تحقیق

۲-۱- مبانی نظری تحقیق

تناسب آب، غذا و انرژی یک چشم انداز کلی از پایداری است که تلاش می‌کند با تعادل میان منابع مختلف، منافع مردم و محیط زیست را تأمین نماید. اهمیت همبست آب، غذا و انرژی با حداقل اثرات زیست محیطی و حداکثر منافع اجتماعی و اقتصادی، همراه است (لونی و همکاران^۱، ۲۰۲۲). رویکرد همبست، از طریق یکپارچه سازی، سبب افزایش بهره‌وری چرخه آب، غذا و انرژی می‌گردد. با توجه به ضرورت پیوند آب، غذا و انرژی به ارتباط استراتژیک آن با توسعه پایدار اشاره شده است و با بررسی سیاست‌های این سه بخش، به حصول اطمینان نسبت به هدفمندسازی جهت استفاده بهتر از منابع پرداخته شده است (صفایی و همکاران، ۱۳۹۸).

توجه به اینکه توسعه پایدار یک رویکرد همه جانبه است، بسیار حائز اهمیت است. پرداختن به توسعه تنها در یک بخش بدون در نظر گرفتن اثرگذاری آن بر سایر بخش‌ها، همواره مشکلات عدیده‌ای ایجاد کرده است که با نگاهی ساده به تاریخ توسعه برش مثال‌های فراوان آن را می‌توان یافت. بدین منظور برای جلوگیری از تنش‌های جدی محیط زیستی باید دیدگاه و رویکرد همبستگی را مدنظر قرارداد. موضوع توسعه پایدار و شاخص‌های ناظر بر آن‌ها موضوع فرا بخشی و جامع بوده که کلیه ابعاد توسعه اقتصادی و اجتماعی، فرهنگی و نیز سلامت محیط زیست را شامل می‌شود. بر اساس چنین شاخص‌هایی کشورها در آینده ارزیابی خواهند شد. در کشور ایران تاکنون توجه شایانی به موضوع توسعه پایدار و توجه به شاخص‌های آن صورت نگرفته است. بدین منظور ادغام این شاخص‌ها در تدوین سیاست حوزه‌های مختلف و اجرای آن در برنامه‌های توسعه، ضروری است. الزام است به این شاخص‌ها به عنوان شاخص‌های هدف در حوزه‌های مختلف توسعه، توجه شود. (شاه محمدی و همکاران، ۱۳۹۶)

با توجه به منابع محدود و ارزشمند آب و انرژی و افزایش تنش آبی، تأمین آب و انرژی کافی به منظور تأمین غذای موردنیاز جمعیت رو به رشد جهانی از چالش‌های پیشروی بشر، محسوب می‌شود (بیزیکوا و همکاران^۲، ۲۰۱۳).

یکی از پروژه‌هایی که در راستای برنامه بسیج جوامع محلی جهت مدیریت منابع طبیعی در ایران اجرا شده، پروژه بین‌المللی ترسیب کربن در دشت حسین آباد غیناب سربیشه در استان خراسان جنوبی است. پروژه ترسیب کربن کار مشترک دولت جمهوری اسلامی ایران، برنامه عمران ملل متحد^۳ و تسهیلات زیست محیطی جهانی^۴ است. محل اجرای پروژه اراضی است که به علت هم جوار با مرز افغانستان درگذشته

1. looni et al.

2. bizikva et al.

3. UNDP

4. GEF

با حضور پناهندگان افغانی در این قسمت به شدت تخریب یافته است و هدف پروژه نیز یافتن روش‌های مقرون به صرفه و پایدار برای احیای این منطقه بیابانی است. این پروژه به منظور بسط و توسعه دیدگاه‌های مشارکتی در احیای مراتع و افزایش توان و ظرفیت ترسیب کربن این منطقه و نیز بهبود وضعیت اجتماعی و اقتصادی ساکنان محلی اجرا گردیده است، از این رو بر بسیج و توانمندسازی جامعه محلی به عنوان ابزار اساسی برای مدیریت مراتع و فعالیت‌های اقتصادی تکیه داشته که در این راستا گروه‌های توسعه روستایی از طریق نشست‌ها و گفتگوهای مداوم در تعدادی از روستاهای منطقه تشکیل و با انجام آموزش‌های متنوع به آن‌ها و تکیه بر راهبردهای خاصی مانند جلب مشارکت زنان، از این جامعه به عنوان همیاران دائم در مدیریت و احیای مراتع منطقه استفاده گردیده است (یاری و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۲- پیشینه تحقیق

در ارتباط با این پژوهش، مطالعات خارجی و داخلی متعددی انجام شده که در زیر به مواردی از آن‌ها اشاره می‌شود:

۲-۲-۱- مطالعات خارجی

سونگ و همکاران^۱ (۲۰۱۸)، به کاربرد مدل سازی پویا برای شبیه سازی سیاست‌های بهینه در مورد حفاظت از آب در شهر ژانگی آکوا^۲ در کشور چین پرداختند و نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۵ اهداف حفاظت از آب، با نرخ کاهش سالانه انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۱۲٫۶٪ محقق می‌شود. ژانگ و همکاران^۳ (۲۰۱۷)، در خصوص رویکرد بهینه سازی پیوند منابع آب، غذا و انرژی^۴ در کشاورزی برای مقابله با خشک سالی در ایالات متحده پژوهشی انجام دادند که نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد آبیاری می‌تواند نقش کلیدی در توقف تلفات محصول داشته باشد لذا سرمایه گذاری قابل توجهی روی آب و انرژی برای محدود کردن اثرات منفی خشک سالی مورد نیاز است و مسئله بهینه سازی چند معیار توسعه یافته در این مطالعه نشان می‌دهد که عملکرد بهینه محصول لزوماً با حداکثر عملکرد مطابقت ندارد و در نتیجه باعث صرفه جویی بالقوه آب و انرژی می‌شود. کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی^۵ در کنگره مکزیک (۲۰۱۷)، موضوع پیوند آب، غذا و انرژی نکسوس را به عنوان یکی از محورهای مورد بحث مطرح کرد و در این کنگره، چند مقاله در مورد نکسوس ارائه شد.

1. Song et al.
2. zhangjiakou
3. Zhang et al.
4. WFE
5. ICID



شکل ۲. همبست منابع آب، غذا و انرژی

در مطالعه‌ای که فنگ و همکاران^۱ (۲۰۱۶)، در زمینه رویکردهای نکسوس^۲ (همبست) اتصالات بین سامانه‌های تأمین آب، تولید برق و محیط زیست^۳ داشتند نتایج نشان داد که رویکرد دینامیک سیستم در مدل سازی این پیوند در منطقه هوانگ کارآمد است. فرآیند تکامل هم‌زمان به چهار مرحله چرخه‌ای (مراحل بهره‌برداری، زوال، افسردگی و بهبودی) تقسیم می‌شود و پس از هزاران سال با یک چرخه ثابت خاتمه می‌یابد. مشاهدات به دست آمده با مدل سازی پیوند، روشن تر است و درک تعاملات بین دستگاه‌های جفت شده را بهبود می‌بخشد.

با توجه به اهداف توسعه پایدار و افزایش جمعیت و به تبع آن کاهش منابع، از سال ۲۰۱۵ به بعد سازمان ملل متحد مجموعه‌ای را باهدف دستیابی به توسعه پایدار درازمدت جوامع انسانی موسوم به SDGs جهت تضمین دسترسی به غذا، آب و انرژی نسل‌های آینده در دستور کار خود قرار داده است (هلپ^۴، ۲۰۱۵).

۲-۲-۲- مطالعات داخلی

نتایج پژوهش علی احمدی و همکاران (۱۴۰۰)، در خصوص شبیه‌سازی سیستم منابع آب حوزه آبخیز هیرمند نشان می‌دهد که سیاست‌های راندمان آبیاری ۷۰ درصد در بخش کشاورزی و کاهش تلفات آب (کاهش تبخیر آب) به میزان ۵۰ درصد مبتنی بر سناریوهای پیشنهادی توسط مدل اجرا گردیده و نتایج بررسی نشان داد که هر یک از این راهکارها، باعث کاهش کمبود آب در سال‌های آتی می‌گردد ولی بهترین نتیجه در سناریوی اول (راندمان آبیاری ۷۰ درصد) در بخش کشاورزی حاصل شده است.

در پژوهشی که کیهان پور و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی شبیه‌سازی مدیریت پایدار منابع آب برای ارزیابی تأثیر توسعه اجتماعی-اقتصادی بر امنیت منابع آب، غذا و انرژی در استان خوزستان در ایران پرداخته پس از شبیه‌سازی مدل دینامیک سیستم آب، غذا، انرژی و با در نظر گرفتن نتایج تحلیل حساسیت، ترکیبی از استراتژی‌های تقاضای آب و مدیریت منابع غذایی

1. Feng et al.
2. Nexus
3. WPE
4. HLPE

به عنوان بهترین سیاست‌ها انتخاب شدند. از این رو ۱۶ درصد افزایش راندمان آبیاری، ۱۰ درصد بهبود الگوی کشت، ۶ درصد کاهش تلفات محصولات کشاورزی، ۵ درصد کاهش تقاضای غذا به دلیل تلفات غذایی و ۵ درصد افزایش سالانه در عملکرد کشاورزی به عنوان سیاست‌های مدیریت پایدار منابع آب انتخاب شده است.

در تحقیقی که گودرزی و همکاران (۱۳۹۸)، در بروجرد انجام دادند دریافتند که تغییرات پیش‌بینی شده حاکی از تغییرات آب و هوایی در ۲۰ سال آینده است و تغییرات در بارش و دما می‌تواند بر روی منابع آب، غذا و انرژی اثر بگذارد. سناریوهای مختلفی برای منابع آب موجود، مصارف انرژی و الگوی کشت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با در نظر گرفتن شاخص بهره‌وری نرمال شده آب مصرفی به تنهایی، بهترین سناریو، کاهش ۲۰ درصدی آورد رودخانه با حداکثر بهره‌وری ۵۴ درصدی برای شبکه آبیاری نکوآباد است. بر اساس شاخص بهره‌وری نرمال شده انرژی بهترین سناریو، انسداد چاه‌های غیرمجاز با حداکثر بهره‌وری ۴۹ درصدی برای شبکه آبیاری مهیار شمالی است؛ در صورتی که با در نظر گرفتن شاخص ترکیبی اولویت بندی سناریوها در شبکه‌های مختلف تغییر کرده است. این تحقیق نشان داد که هرچند هر یک از شاخص‌های بهره‌وری به تنهایی منعکس کننده اثرات تک بعدی هر یک از سیاست‌ها در شبکه‌ای مختلف می‌باشند، اما با استناد به تنها یک شاخص نمی‌توان در مورد اثربخشی سیاست‌ها تصمیم‌گیری قطعی نمود. همچنین در مجموع می‌توان اظهار داشت که در نظر گرفتن هم‌زمان پیوند آب، غذا و انرژی در تحلیل عملکرد شبکه‌های آبیاری و انتخاب سیاست‌های برتر امری ضروری است. در سند راهبردی آمایش استان خراسان جنوبی (۱۳۹۸) نسخه نهایی آن توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان برای اجرا به دستگاه‌های اجرایی استان ابلاغ گردید در بخش اهداف بنیادین توسعه فضایی استان علاوه بر حوزه‌های اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی به حفاظت و مدیریت بهره‌برداری منابع طبیعی و منابع آب، کشاورزی پایدار و کم‌نهاد، تأمین انرژی پایدار و پاک، تأکید گردیده است.

نتایج مطالعه‌ای که راور و همکاران (۱۳۹۷)، انجام دادند، یک مدل شبیه‌سازی تفکیک شده مکانی-زمانی بر اساس رویکرد پیوندی آب، غذا و انرژی برای ارزیابی امنیت منابع انجام شد نشان داد که سیاست‌های ترکیبی پیشنهادی بخش کشاورزی و محیط زیست بیشترین تأثیر را در تغییر وضعیت سیستم همبست منابع آب، غذا و انرژی و تأمین نیاز زیست محیطی تالاب گاوخونی داشته و اجرای ترکیبی سیاست‌های تغییر الگوی کشت و افزایش بهره‌وری محصول و کنترل برداشت آب زیرزمینی علاوه بر امنیت آب‌های سطحی (۴٪) و امنیت آب‌های زیرزمینی (۵٪) را افزایش داد، باعث کاهش آب برای تولید غذا (۱۸٪) شد و کاهش انرژی برای استحصال آب (۲۶٪) گردید. آب، غذا و انرژی به عنوان بخشی از خدمات تأمین اکوسیستم، منابعی ضروری هستند که در بسیاری از کشورها در بخش‌های جداگانه و مستقل از یکدیگر مدیریت می‌شوند. توسعه سیاست‌های مدیریتی بخشی از سیاست‌هاست که امنیت منابع طبیعی را با خطر مواجه کرده است. پیوند آب، غذا و انرژی رویکردی نوین است که به مدیریت یکپارچه منابع در راستای تقویت خدمات اکوسیستم جهت دستیابی به توسعه پایدار کمک می‌کند. با توجه به وضعیت منابع و مصارف، تشدید کمبود منابع آب موجود و افزایش نارضایتی‌های اجتماعی در ایران لزوم به کارگیری ابزاری راهبردی برای ارزیابی امنیت منابع تحت سیاست‌های مختلف احساس می‌شود. پژوهش حاضر ابزاری جهت ارزیابی امنیت منابع با در نظر گرفتن خدمات تأمین اکوسیستم در بخشی از حوضه آبریز گاوخونی پیشنهاد نموده است. اجزاء اصلی این مدل سازی سه زیرسیستم منابع و مصارف آب، غذا و انرژی هستند که با شناسایی و شبیه سازی بازخوردهای متقابل بین

این زیرسیستم‌ها و اثر آن بر روی سیستم اصلی می‌توان تأثیر سیاست‌های مختلف بخشی و بین بخشی یا ترکیبی از آن‌ها را بر روی امنیت منابع حوضه بررسی کرد (راور و همکاران، ۱۳۹۷).

در مطالعه‌ای که ارشدی و باقری (۱۳۹۲)، در خصوص تحلیل سیستم منابع آب حوضه کارون از منظر پایداری با رویکرد پویایی سامانه‌ها از نگرش پویایی سامانه‌ها و نرم‌افزار ونسیم^۱ به منظور ارزیابی وضعیت این حوضه استفاده گردیده است. نتایج حاکی از آن است که خطرات و سناریوی بیرونی در مقایسه با سیاست حاکم در کشاورزی، صنعت و خدمات تأثیر ناچیزی بر کیفیت آب رودخانه دارد و این مطلب بیانگر این است که در راستای کاهش آسیب‌پذیری حوضه باید تمرکز بیشتری بر نگرش حاکم و سیاست‌های اعمالی برای تأمین غذا و انرژی در حوضه داشت.

اغلب نتایج مطالعات اخیر نشان می‌دهد با توجه به تغییراتی که در میزان آب‌های سطحی و زیرزمینی در حال وقوع است بایستی تمهیدات لازم را در سال‌های آتی جهت مقابله با این تغییرات برای تأمین آب مورد نیاز بخش کشاورزی و به تبع آن بخش غذا و انرژی و همچنین محیط‌زیست در قالب سیاست‌های مختلف بخشی و بین بخشی و سناریوهای ترکیبی اتخاذ نمود تا ضمن حفظ امنیت منابع آب، امنیت منابع غذا و انرژی و محیط‌زیست نیز فراهم گردد.

۳- روش‌شناسی تحقیق

در پژوهش حاضر از مدل‌سازی پویایی سیستم برای بررسی وضعیت آب در منطقه سریش و درمیان (خراسان جنوبی) استفاده شده است. در این مدل‌سازی از پیوند بین آب، غذا و انرژی استفاده شده است که پویایی بین دستگاه‌های متفاوت قابل درک با استفاده از حلقه‌های بازخورد پویا و غیرخطی معادلات دیفرانسیل بوده است (فنگ و همکاران^۲، ۲۰۱۱). برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی این پژوهش از نرم‌افزار ونسیم استفاده شد. نرم‌افزار ونسیم نوعی ابزار شبیه‌سازی تصویری است که به صورتی ساده و انعطاف‌پذیر ساخت نمونه‌های گوناگون را ممکن می‌سازد. این نرم‌افزار به کاربر امکان تعریف، ذخیره، شبیه‌سازی، تحلیل و بهینه‌سازی مدل‌های سیستم دینامیک را می‌دهد.

پژوهش حاضر در استان خراسان جنوبی (سومین استان پهناور ایران) با مساحت ۱۵۰۸۰۰ کیلومترمربع و با شرایط اقلیمی متنوع در شرق کشور واقع شده است. این استان با مرکزیت بیرجند، از شمال به استان خراسان رضوی و از شرق به طول ۳۳۱ کیلومتر دارای مرز مشترک با کشور افغانستان بوده و از غرب به استان‌های یزد، اصفهان و سمنان و از جنوب به استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان محدود می‌گردد. خراسان جنوبی بر اساس تقسیمات کشوری، در سال ۱۳۸۳ با مصوبه هیئت دولت و مجلس شورای اسلامی با حضور چهار شهرستان از خراسان بزرگ منتزع شد. بر اساس مطالعات آمایش سرزمین و تدوین سند راهبردی توسعه استان خراسان جنوبی که توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گزارش گردیده (۱۳۹۹)، این استان دارای ۱۱ شهرستان، ۲۸ شهر، ۲۵ بخش، ۶۱ دهستان و ۳۵۵۵ آبادی است. شهرستان‌های این استان شامل بیرجند، قاینات، طبس، فردوس، نهبندان، سراوان، سریش، درمیان، بشرویه، خوسف و زیرکوه می‌باشند.

1. Vensim
2. Feng et al.



شکل ۳. موقعیت جغرافیایی منطقه

در این پژوهش به تحلیل پویایی سیاست‌های مدیریت پایدار منابع آب مبتنی بر همبست منابع آب، غذا و انرژی با توجه به تغییرات رشد جمعیت و تغییر اقلیم در یک افق ۲۱ ساله (۱۳۹۰-۱۴۱۰) با استفاده از رویکرد پویایی سامانه‌ها پرداخته شده است. جمع‌آوری اطلاعات سری زمانی به استناد نتایج عملکرد و داده‌های سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی و محیط‌زیست استان خراسان جنوبی، منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان جنوبی و شرکت‌های برق، گاز، آبفا و آب منطقه استان خراسان جنوبی و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان خراسان جنوبی (۱۴۰۰) مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، برای داده‌های جمعیت و نرخ‌های رشد از سایت مرکز آمار ایران (۱۴۰۰) استفاده شده است.

۳-۱- سیستم پویا

در مطالعه حاضر بر اساس رویکرد پویایی سیستم به مدل‌سازی و شبیه‌سازی مدیریت پایدار منابع آبی با استفاده از نرم‌افزار Vensim DSS پرداخته شده است. مفاهیم نظری پویایی سیستم بر اساس اصلی تفکر سیستمی است که دنیا را متشکل از کل‌هایی به نام سیستم می‌داند. خواص سیستم از جمع خواص اجزا آن به دست نمی‌آید، بلکه حاصل مطالعه اجزا و روابط آن‌هاست، درواقع سیستم برابر با جمع اجزای خود نیست و باید به عنوان یک کل مدنظر قرار گیرد (استرمن^۱، ۲۰۰۰؛ سونگ و همکاران^۲، ۲۰۱۸؛ کوتیر و همکاران^۳، ۲۰۱۶). پویایی سامانه‌ها روشی برای مطالعه و مدیریت سامانه‌ها و دارای بازخورد است. شبیه‌سازی^۴ سیستم معمولاً منجر به درک جدیدی از ساختار و رفتار سیستم می‌گردد که دور بعدی امکان تهیه مدل‌های کامل‌تری را فراهم می‌کند. همچنین مدل‌های پویایی سامانه‌ها امکان واردکردن

1. Stermane
2. Song et al.
3. Kotir et al.
4. Simulation

متغیرهای کیفی و کمی را به طور هم زمان در سیستم فراهم می سازد. این امتیاز مهمی است که در مدل های ریاضی پیاده سازی آن بسیار مشکل است (دوران انسالدو و همکاران^۱، ۲۰۱۷) برای درک بهتر از رفتار سیستم لازم است روابط بین متغیرهای سیستم تدوین شده و با استفاده از کامپیوتر، مقدار متغیر در طول زمان شبیه سازی شود.

✓ گام های حل مسئله در رویکرد پویایی های سیستم

- ۱- درک سیستم
 - ۲- شناسایی و تعریف مسئله
 - ۳- مفهوم سازی سیستم (روابط علی معلولی - بازخوردهای اطلاعاتی)
 - ۴- صورت بندی مدل (متغیرهای تصمیم - جریان های فیزیکی اطلاعات)
 - ۵- شبیه سازی و اعتبارسنجی
 - ۶- تحلیل و بهبود سیاست
 - ۷- اجرای سیاست
- مقادیر متغیرهای ذخیره و ضرایب ثابت در نظر گرفته شده در مدل، در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. شناسایی مقادیر مهم متغیرهای پیوند آب، غذا و انرژی

منبع Source	واحد Unit	مقادیر اولیه مورد استفاده Initial values used	متغیرها Variables
سازمان مدیریت و برنامه ریزی	۹۴۵۶۷ نفر	کل جمعیت	متغیر ذخیره Save variable
شرکت آب منطقه استان	۱،۱۴۵ میلیون مترمکعب	منابع آب سطحی	
آمارنامه جهاد کشاورزی	۱۲،۹۱۴ میلیون مترمکعب	منابع آب زیرزمینی	
"	۴۷۱۸،۵ تن	منابع غذای کشاورزی	
"	۳۲۳۰،۸ تن	منابع غذای دام	
"	۴۱۳۵۰۰ راس	تعداد دام (سبک/سنگین)	
"	۲۶۲۱۲،۷ هکتار	سطح زیر کشت	متغیر ثابت Fixed variable
منابع طبیعی و آبخیزداری	۲۷۵۰۰۰ هکتار	سطح مراتع و جنگل ها	
آمارنامه جهاد کشاورزی	۴۰۰ کیلوگرم	سرانه مصرف غذا (انسان)	
"	۴۴۸ کیلوگرم	سرانه مصرف علوفه دام (سبک)	
"	۷۲۶۲ کیلوگرم	سرانه مصرف علوفه دام (سنگین)	
"	۷۹۵ مترمکعب	سرانه نیاز آبی دام سبک	
"	۵۲۵۸ مترمکعب	سرانه نیاز آبی دام سنگین	

منبع تحقیق: یافته های پژوهش

۳-۲- مدل مدیریت پایدار منابع انرژی مبتنی بر همبست منابع آب، غذا و انرژی خراسان جنوبی (سربیشه و درمیان)

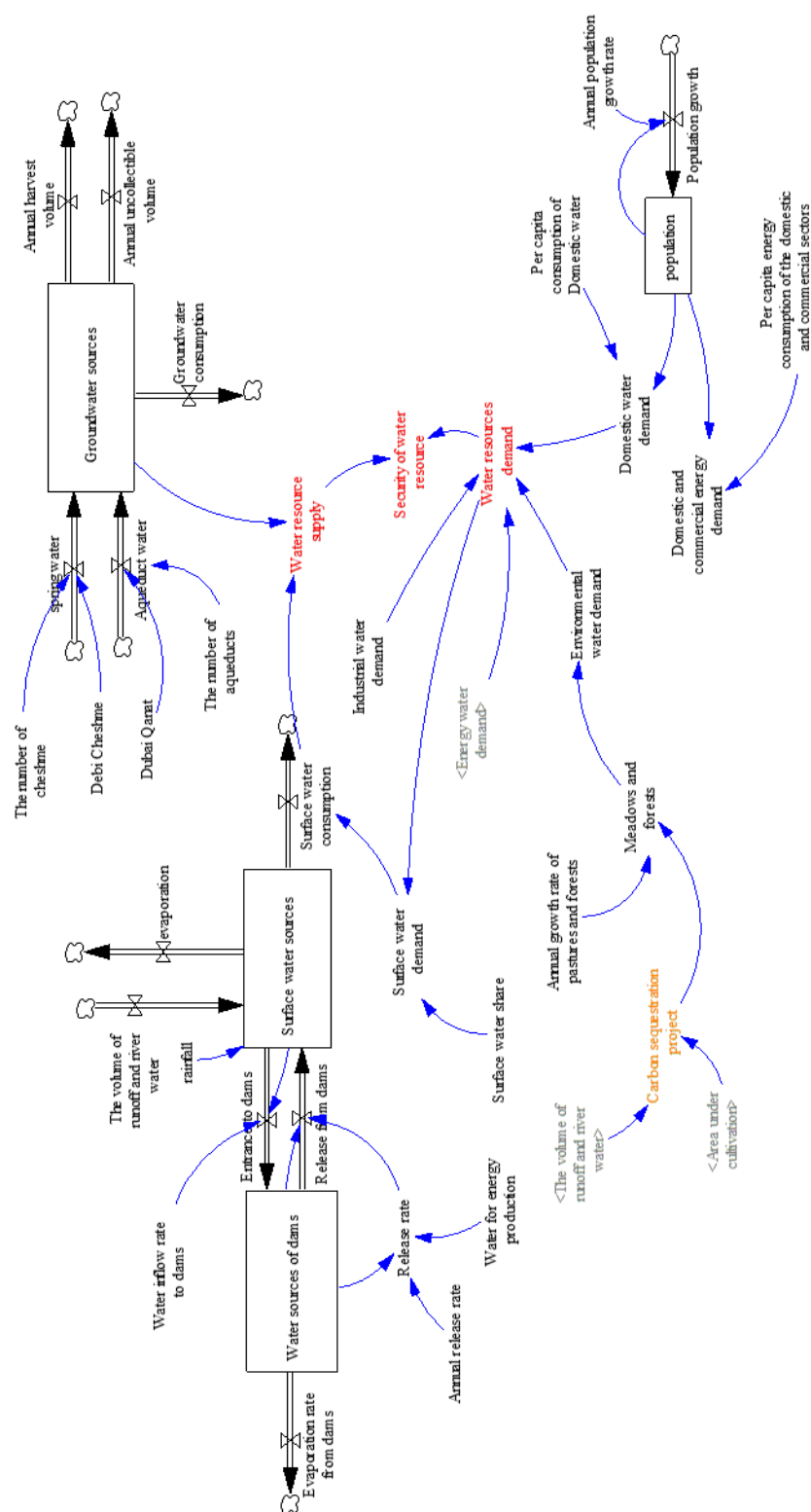
مدل مدیریت و پایداری منابع آب مبتنی بر همبست منابع آب، غذا و انرژی بر مبنای تئوری دینامیک سامانه‌ها توسعه یافته است.

نمودار ذخیره و جریان (SFD) زیرسیستم منابع آب

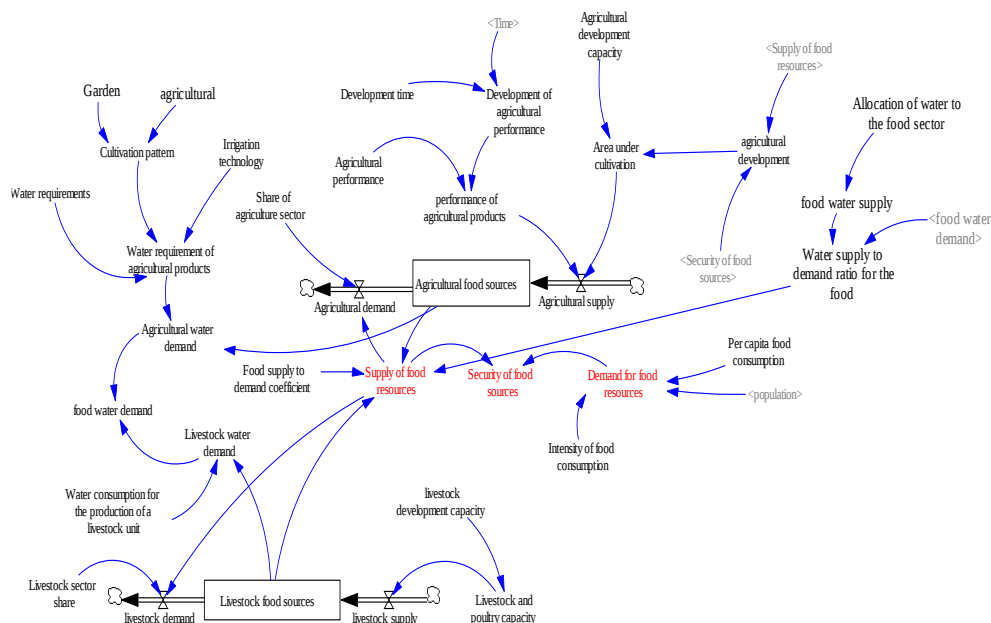
حلقه جریان- ذخیره زیرسیستم عرضه و تقاضا آب، متغیرهای چرخه عرضه و تقاضای آب، تأمین آب و اکوسیستم منطقه سربیشه و درمیان را نشان می‌دهد. طرح‌های انتقال آب، روابط متقابل آب‌های سطحی، زیرزمینی، سدها، هیدرولوژی منطقه و تأمین آب در منطقه اجزای اصلی این زیرسیستم را تشکیل می‌دهد (شکل ۴). همان‌گونه که در شکل (۴)، مشاهده می‌شود، ویژگی‌های اقلیمی و عرضه و تقاضای آب منطقه از قبیل میزان بارندگی و تبخیر در منطقه را نمایش می‌دهد. در نمودار حلقه جریان- ذخیره، دینامیک بین این اجزا با استفاده از پیکان‌های علامت‌دار نشان داده شده است که به صورت روابط علی و معلولی مثبت و یا منفی علامت‌گذاری شده است. علاوه بر این نمودار حلقه علی و معلولی، مداخلات انسانی که به منظور تأمین آب صورت می‌گیرد (انتقال آب بین حوضه‌ای) را نشان می‌دهد که این امر سبب افزایش قابلیت دسترسی به آب به منظور تأمین نیاز آب شرب، صنعت، کشاورزی و در نهایت محیط زیست شده است.

زیرسیستم منابع غذا

بیشترین مصرف آب در منطقه سربیشه و درمیان مربوط به بخش کشاورزی است. زیرسیستم غذا تعریف شده در این مدل به دودسته زراعی و باغی طبقه‌بندی شده است. حلقه‌های علی و معلولی زیرسیستم غذا برای کل محصولات کشاورزی در شکل (۵)، نشان داده شده است. میزان سطح زیر کشت مربوط به کل سطح زیر کشت محصولات باغی و زراعی است. تأمین و نیاز آب در بخش کشاورزی ارتباط مثبت با کل سطح زیر کشت در این بخش دارد. اگر مصرف آب در بخش کشاورزی با راندمان بالای آبیاری همراه شود موجب به حداقل رسیدن اتلاف آب و افزایش مصرف آب خالص می‌شود. استفاده از زمین به عنوان یک عنصر کلیدی در دستگاه‌های منابع آب در نظر گرفته می‌شود. تغییر در سطح زیر کشت مربوط به نیاز آب برای کشاورزی است و بر عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، چهار شاخص، سطح زیر کشت، عملکرد محصول، عملکرد در واحد سطح، عرضه و تقاضای غذا برای این زیرسیستم طراحی شده است.



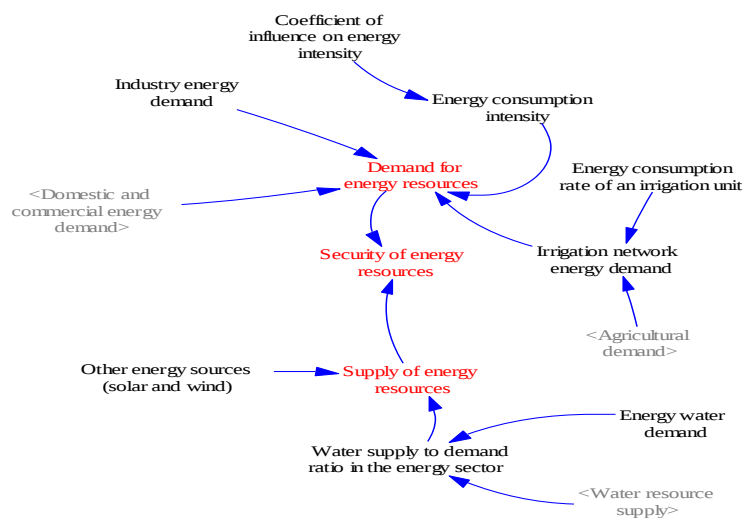
شکل ۴. نمودار ذخیره و جریان زیرسیستم منابع آب



شکل ۵. نمودار ذخیره - جریان زیرسیستم منابع غذا

زیرسیستم منابع انرژی

شکل (۶)، بیانگر عرضه انرژی شامل منابع ورودی از طریق شبکه سراسری توزیع برق کشور و برق تولیدی نیروگاه سیکل ترکیبی قاینات و انرژی‌های نو (خورشیدی و بادی) که در حال توسعه در منطقه است. همچنین، تقاضای انرژی، شامل میزان مصارف برق برای بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی و خدمات است و امنیت منابع انرژی به صورت اختلاف بین عرضه و تقاضای انرژی در زیرسیستم منابع انرژی در نظر گرفته شده است.



شکل ۶. نمودار ذخیره - جریان زیرسیستم منابع انرژی

۴- نتایج و تحلیل یافته‌های تحقیق

در این پژوهش، ابتدا مدل همبست مفهومی تبیین شده برای منطقه مورد مطالعه خراسان جنوبی (سریش و درمیان) شامل ۳ زیرسیستم شامل آب، غذا، انرژی گسترش داده است. سپس با توجه به نمودارهای علی و معلولی زیرسیستم‌ها، نمودارهای ذخیره- جریان ترسیم شده است. علاوه بر این، معادلات حاکم بر متغیرها وارد مدل گردیده شد و مدل صحت سنجی شد. در آخر اعمال سناریوهایی چون بهبود عملکرد تولید محصولات (۳۰٪)، کاهش سرانه تقاضا غذا (۶٪) و ترکیبی از سناریو افزایش سطح زیر کشت و بهبود عملکرد تولید محصولات انجام شد.

شبیه‌سازی تولید مدل پویا در افق زمانی ۲۱ ساله انجام گرفته است. سال مبنا در مدل ۱۳۹۰ است و برای ارزیابی بهتر عملکرد مدل، کل سری زمانی به دو مجموعه داده تقسیم می‌گردد. بخش اول که شامل ۱۳۹۵-۱۳۹۰ که برای مدل کالیبره سازی استفاده می‌شود و یک مجموعه داده دیگر که ۱۴۰۰-۱۳۹۶ برای اعتبارسنجی مدل استفاده می‌شود. شش متغیر ذخیره برای انجام کالیبراسیون و اعتبار سنجی، شامل جمعیت، منابع غذایی دامی، منابع غذایی کشاورزی، منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی و منابع آب سدها مورد استفاده می‌شود.

در این مطالعه مدل از طریق مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده از مدل با داده‌های مشاهده شده انجام می‌شود. در آزمون روند داده‌های شبیه‌سازی شده با مدل با داده‌های مشاهده شده مطابقت داده می‌شود. به علت اینکه هر یک از ابزارهای آماری در راستای مقایسه داده‌های تاریخی و تولید شده دارای محاسن و معایبی در بررسی‌های آماری است، در این آزمون ابتدا داده‌های تاریخی و داده‌های تولید شده ترسیم شده، سپس آزمون خطا با استفاده از ضریب تعیین R^2 ، معیار نش- ساتکلیف و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) برای ارزیابی عملکرد بیشتر مدل انجام می‌شود (چن و وی^۱، ۲۰۱۴).

جدول ۲. آزمون‌های مدل پارامترهای آماری

اعتبارسنجی						کالیبراسیون								متغیر
R ²	۱۴۰۰	۹۹	۹۸	۹۷	۹۶	R ²	۹۵	۹۴	۹۳	۹۲	۹۱	۹۰	سال	
۰٫۹۳	۱٫۵۷	۱٫۳۶	۱٫۲۸	۱٫۶	۰٫۶۲	۰٫۷۴	۰٫۹۹	۱٫۲	۰٫۹۲	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۰٫۹۹	NSE	جمعیت
	۰٫۳۶	۰٫۳۳	۰٫۳۲	۰٫۲۹	۰٫۲۲		۰٫۲۸	۰٫۳۱	۰٫۱۲	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۲۸	RMSE	
۰٫۷	۰٫۹۶	۰٫۹۹	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۰٫۹۴	۰٫۹۹	۰٫۹۴	۰٫۹۶	۰٫۷۷	۰٫۶۹	۰٫۵۸	NSE	منابع
	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۲۸		۰٫۲۸	۰٫۰۶	۰٫۲۸	۰٫۱۷	۰٫۲۳	۰٫۲۲	RMSE	غذایی دامی
۰٫۷۴	۰٫۹۷	۰٫۹۹	۰٫۸۲	۰٫۱۵	۰٫۸۶	۰٫۹۹	۰٫۷۵	۰٫۹۶	۰٫۴۶	۰٫۶۸	۰٫۸۴	۰٫۹۹	NSE	منابع
	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۲۶	۰٫۱۱	۰٫۰۷		۰٫۲۵	۰٫۲۸	۰٫۱۹	۰٫۲۳	۰٫۲۶	۰٫۲۸	RMSE	غذایی
۰٫۶۵	۰٫۹۱	۰٫۹۸	۰٫۷۵	۰٫۸۸	۰٫۹۳	۰٫۷۶	۰٫۵۶	۰٫۸۹	۰٫۲۸	۰٫۶۹	۰٫۵۵	۰٫۵۴	NSE	منابع آب
	۰٫۲۷	۰٫۲۸	۰٫۲۵	۰٫۱۵	۰٫۱۶		۰٫۲۱	۰٫۱۸	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۲۱	۰٫۲۱	RMSE	سطحی

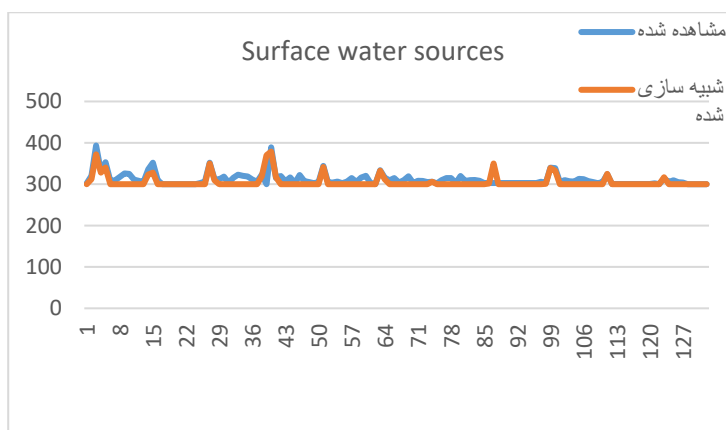
متغیر		کالیبراسیون										اعتبارسنجی				
سال	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	R ²	۹۶	۹۷	۹۸	۹۹	۱۴۰۰	R ²			
منابع آب	NSE	۱	۰.۳۹	۰.۸۲	۰.۷۲	۰.۱۲	۰.۵۴	۰.۸۷	۰.۹۱	۰.۸۸	۰.۵۴	۰.۵۵	۰.۲۹	۰.۸۵		
زیرزمینی	RMSE	۰.۲۸	۰.۱۸	۰.۱۴	۰.۲۴	۰.۱	۰.۲۱		۰.۰۸	۰.۲۱	۰.۲۱	۰.۲۱	۰.۱۵			
منابع آب	NSE	۰.۱۲	۰.۵۴	۰.۱۱	۰.۰۸۹	۰.۵۴	۰.۵۵	۰.۹۲	۰.۲۹	۰.۲۸	۰.۷۵	۰.۹۸	۰.۹۱	۰.۸۴		
سدها	RMSE	۰.۱	۰.۲۱	۰.۰۹	۰.۰۸۶	۰.۲۱	۰.۲۱		۰.۱۵	۰.۲۵	۰.۲۸	۰.۲۸	۰.۲۷			

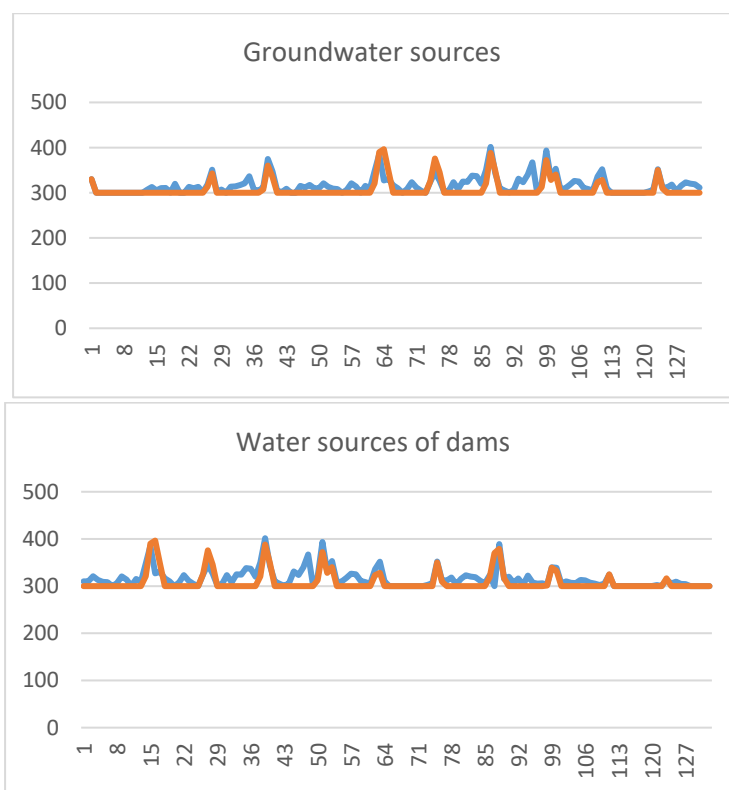
۴-۱- نتایج کالیبراسیون

نتایج حاصل از آزمون مدل در جدول (۲) نشان داده شده است. مقادیر شبیه سازی نشان دهنده هماهنگی خوب با مشاهدات است. در جدول (۲) مقادیر ضریب تعیین بین داده های شبیه سازی شده و مشاهده شده تمامی متغیرهای سطح بالاتر از ۰/۷۰ درصد است و تمامی مقادیر در معیار نش- ساتکلیف (NSE) مقدار آن بیشتر از ۰/۵ و همچنین مقدار خطای جذر میانگین مربعات ($RMSE$) کمتر از ۰/۳ است که این نتایج مبنای خوبی برای اعتبارسنجی مدل و پیش بینی های ساخته شده با استفاده از مدل ارائه می دهد.

۴-۲- نتایج اعتبارسنجی

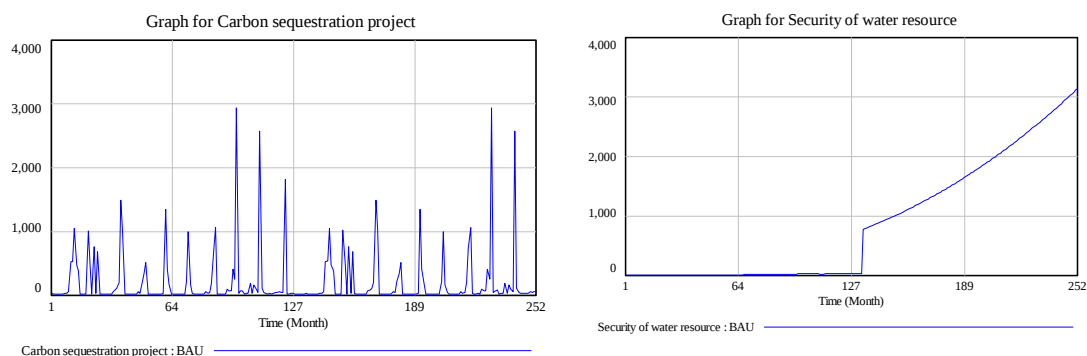
برای تأیید مدل، یک سری آزمون های کیفی و کمی انجام می شود. این دو نوع آزمون برای ارزیابی اینکه آیا مدل دقیقاً برای نشان دادن سیستم واقعی استفاده می شود. نتایج اعتبارسنجی نشان می دهد که شبیه سازی مدل با داده های مشاهده شده بسیار سازگار است (جدول ۱). اکثر مقادیر مطلوب معیار نش- ساتکلیف (NSE) بیشتر از ۰/۵ و خطای جذر میانگین مربعات ($RMSE$) عددی نزدیک به صفر دارد. علاوه بر این، ضریب تعیین (R^2) بیشتر از ۰/۸۰ است. علاوه بر این در شکل (۷)، خطای انتگرال گیری نیز رفتار متغیرهای مدل را تأیید می کند.

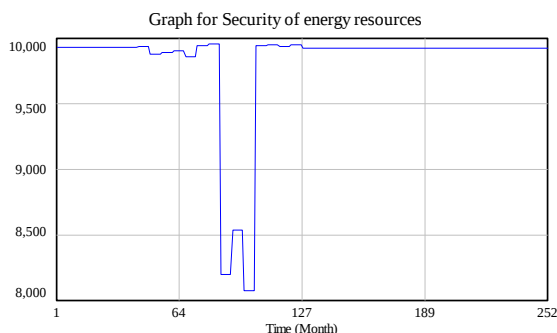




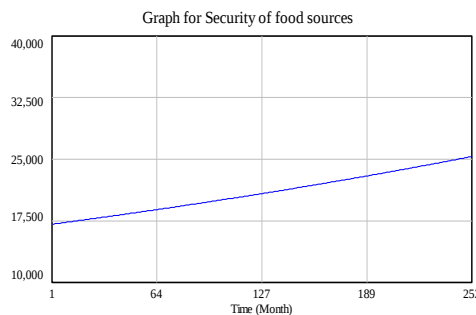
شکل ۷. نتایج اعتبارسنجی مدل: آزمون خطای انتگرال گیری

پس از اینکه آزمون‌های اعتبارسنجی با موفقیت انجام شد، شبیه‌سازی اولیه در افق ۲۱ ساله انجام شد. در شکل (۸) تغییرات هر یک از متغیرهای کلیدی نمودار جریان که رفتار آن‌ها برای تعیین وضعیت کلی پردازش و اهمیت دارد، ارائه گردیده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در طول افق شبیه‌سازی بیست ساله (۱۳۹۰ - ۱۴۱۰) امنیت منابع آب و غذا روند افزایشی را طی خواهند کرد و امنیت منابع انرژی و پروژه ترسیب کربن روند ثابت را طی می‌کنند.





Security of energy resources : BAU



Security of food sources : BAU

شکل ۸. رفتار متغیرهای امنیت منابع آب، امنیت منابع غذا، امنیت منابع انرژی و پروژه ترسیب کربن در افق شبیه‌سازی

با توجه به نتایج اعتبارسنجی و کالیبراسیون مدل و نیز به استناد راهکارهای مدیریت بحران منابع آبی، سیاست‌های مدیریت یکپارچه منابع آب با استفاده از نظر خبرگان راهکارهایی تحت عنوان سیاست مدیریت عرضه و تقاضای منابع غذا در این مطالعه ارائه شده است. پس از آن با اعمال هر یک از سیاست‌ها در مدل، نتایج بر روی متغیرهای هدف شامل امنیت آب، امنیت غذا، امنیت انرژی و پروژه ترسیب کربن برآورد شده است. در ادامه به تشریح سیاست‌ها پرداخته می‌شود.

۴-۳- سیاست مدیریت عرضه و تقاضای منابع انرژی

با توجه به مطالعات در زمینه مدیریت انرژی که پتانسیل صرفه جویی و جلوگیری از اتلاف انرژی را مصرف انرژی برآورد کرده است، میزان بهینه‌سازی در هریک از بخش‌ها در نظر گرفته شده است؛ که در این مطالعه افزایش ۳۰ درصد به‌کارگیری انرژی‌های بادی و خورشیدی (جایگزین سوخت‌های فسیلی) و افزایش تولید ۵۰ درصدی آن و همچنین ترکیبی از سناریوهای مدیریت عرضه و تقاضای منابع انرژی با مدیریت عرضه و تقاضای منابع آب با توجه به مجوز احداث چندین نیروگاه خورشیدی در سربیشه و درمیان برای افزایش تولید در شهرستان‌ها اعمال می‌گردد.

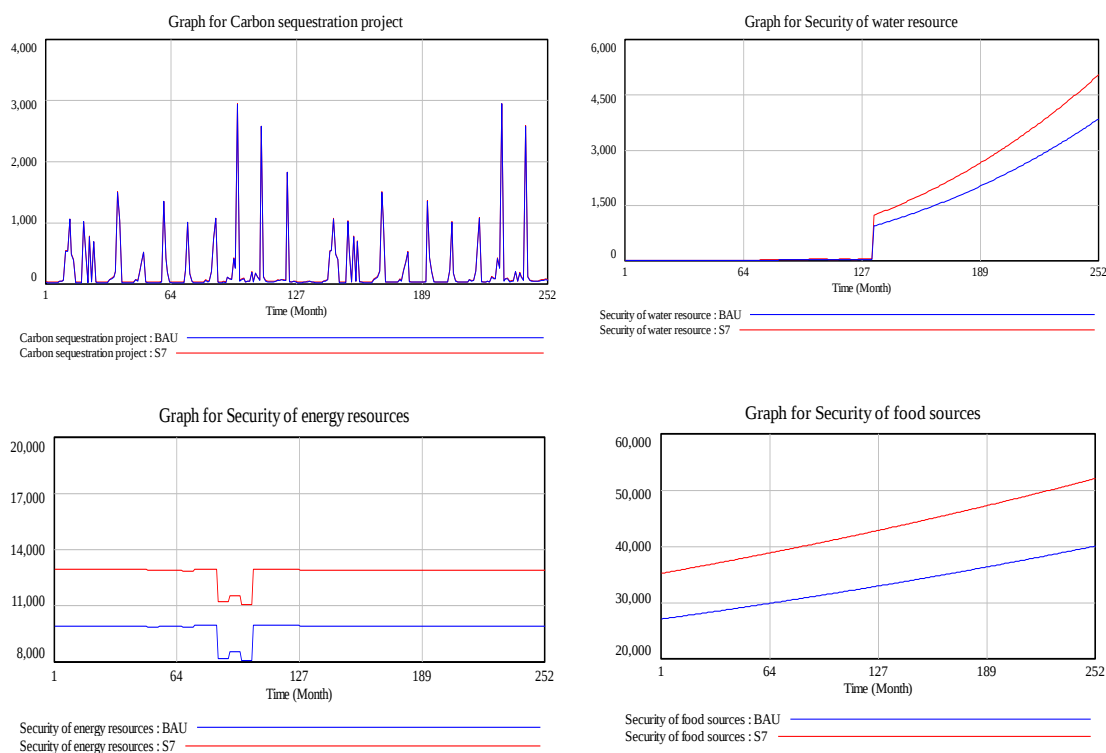
۴-۴- سناریوهای پیشنهادی

در این مرحله از پژوهش، سیاست‌های مدیریتی در مدل پویایی سیستم منطقه مورد مطالعه خراسان جنوبی (سربیشه و درمیان) شبیه‌سازی شده است. در این راستا می‌توان با سیاست‌هایی چون احداث نیروگاه‌های خورشیدی و بادی با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه سبب تولید کسری انرژی در منطقه باشیم. سناریوهای پیشنهادی و نتایج حاصل در ادامه تشریح شده است.

۵-۴. سناریوهای مدیریت عرضه و تقاضای انرژی

۴-۵-۱. سناریوی افزایش ۳۰ درصدی به کارگیری انرژی بادی و خورشیدی

این سناریو با اعمال افزایش ۳۰٪ به کارگیری انرژی های نو و جایگزین انرژی های فسیلی، اجرا شده است. طبق نتایج به دست آمده در این سناریو بر اساس مدل سیستم دینامیک در زیرسیستم آب، امنیت آب از $31/436 \text{ m}^3$ به 57538 m^3 افزایش خواهد یافت و همان طور که در شکل (۹)، ملاحظه می گردد، این سناریو نسبت به سناریوی پایه رشد بیشتری داشته است. همچنین، مطابق جدول (۳)، پیش بینی می شود در سال ۱۴۱۰ پروژه ترسیب کربن از $1464/29$ واحد به 3337 واحد افزایش یابد که کمترین مقدار را در بین سناریوهای پیش بینی شده در این پژوهش به خود اختصاص می دهد. امنیت غذا از 119136 kg به 155076 kg نیز روند افزایشی را داشته و امنیت انرژی نیز با صرفه جویی 36000 kw افزایش می یابد؛ بنابراین، می توان با به کارگیری شیوه های نوین آبیاری هم زمان با بهبود راندمان آبیاری و بهره گیری از ظرفیت انرژی های خورشیدی و بادی به عنوان انرژی های نو در این مناطق ضمن افزایش عملکرد ترسیب کربن و بهبود شاخص های محیط زیست منطقه به راهکارهای پایدار امنیت منابع و همچنین، مدیریت پایدار بهینه منابع آب در قالب همبست منابع آب، غذا و انرژی دست یافت.



شکل ۹. امنیت منابع آب، غذا انرژی در سناریو مدیریت عرضه و تقاضای انرژی

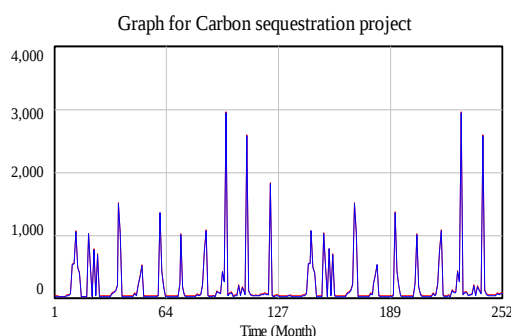
جدول ۳. مقایسه امنیت منابع آب، غذا، انرژی و پروژه ترسیب کربن بین شرایط فعلی با افزایش سناریوی ۳ درصد انرژی جایگزین

سناریوی هفتم (S7)	سال ۱۳۹۰	سال ۱۴۱۰
امنیت آب (شرایط فعلی)	31.162 M ³	43939 M ³
امنیت آب (S7)	31.436 M ³	57538 M ³
وضعیت پروژه ترسیب کربن (شرایط فعلی)	1390.59 unit	3230 unit
وضعیت پروژه ترسیب کربن (S7)	1464.29 unit	3337 unit
امنیت غذا (شرایط فعلی)	327530 kg	476477 kg
امنیت غذا (S7)	425793 kg	619424 kg
امنیت انرژی (شرایط فعلی)	119136 kw	kw 119076
امنیت انرژی (S7)	155136 kw	155076 kw

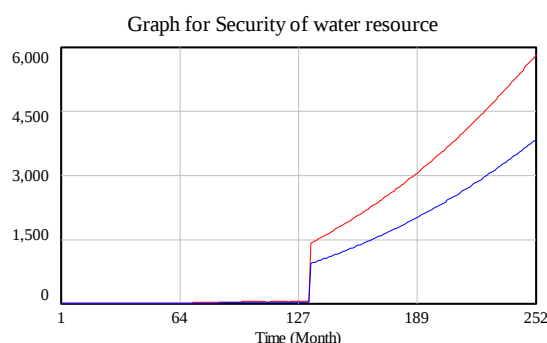
منبع: یافته‌های پژوهش

۴-۵-۲. سناریوی افزایش ۵۰ درصدی به کارگیری انرژی بادی و خورشیدی

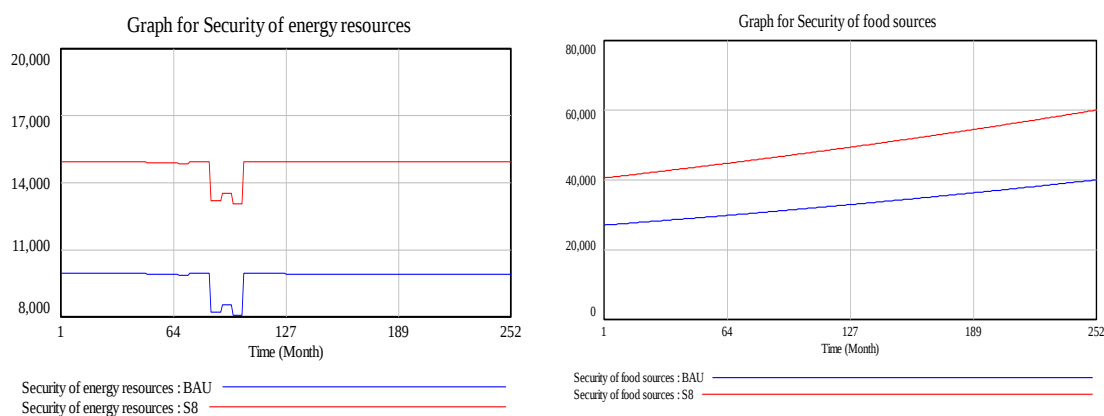
این سناریو با اعمال افزایش ۵۰٪ با به کارگیری انرژی‌های نو، اجرا شده است. طبق نتایج به دست آمده در این سناریو بر اساس مدل سیستم دینامیک در زیرسیستم آب، امنیت آب از 43939 m^3 به 57538 m^3 افزایش خواهد یافت و همان طور که در شکل (۱۰)، ملاحظه می‌گردد، این سناریو نسبت به سناریوی پایه رشد بیشتری داشته است. همچنین، مطابق جدول (۴)، پیش‌بینی می‌شود در سال ۱۴۱۰ پروژه ترسیب کربن از ۳۲۳۰ واحد به ۳۴۰۹ واحد افزایش یابد که بیش‌ترین افزایش ترسیب کربن را در بین سناریوی پیش‌بینی شده در این پژوهش به خود اختصاص می‌دهد. امنیت غذا از 476477 kg به 619424 kg نیز بیش‌ترین روند افزایشی را داشته و امنیت انرژی نیز با صرفه جویی 60000 kw افزایش می‌یابد؛ بنابراین، می‌توان با به کارگیری شیوه‌های نوین آبیاری هم‌زمان با بهبود عملکرد محصولات و بهره‌گیری از ظرفیت انرژی‌های خورشیدی و بادی به عنوان انرژی‌های نو در این مناطق ضمن افزایش عملکرد ترسیب کربن و بهبود شاخص‌های محیط زیست منطقه به راهکارهای پایدار امنیت منابع و همچنین، مدیریت پایدار بهینه منابع آب در قالب همبست منابع آب، غذا و انرژی دست یافت.



Carbon sequestration project : BAU
Carbon sequestration project : S8



Security of water resource : BAU
Security of water resource : S8



شکل ۱۰. امنیت منابع آب، غذا انرژی در سناریو مدیریت عرضه و تقاضای انرژی

با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه این سناریو افزایش انرژی شیوه‌های (بادی و خورشیدی) (S8) بهترین گزینه موجود برای مدیریت پایدار منابع آب و گزینه مطلوب همبست آب، غذا و انرژی و همچنین وضعیت مطلوب برای پروژه ترسیب کربن، شناخته شد.

جدول ۴. مقایسه امنیت منابع آب، غذا، انرژی و پروژه ترسیب کربن بین شرایط فعلی با افزایش سناریوی ۵۰ درصد انرژی جایگزین

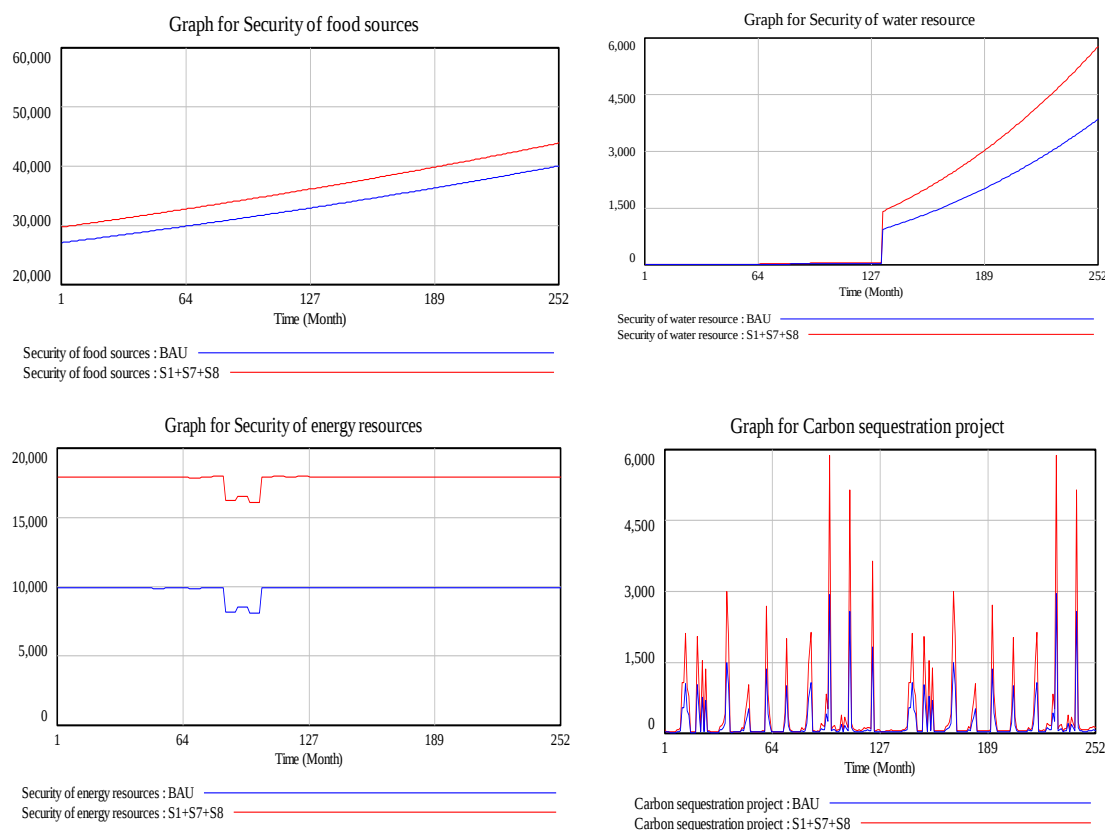
سال ۱۴۱۰	سال ۱۳۹۰	سناریوی هشتم (S8)
43939 M ³	31.162 M ³	امنیت آب (شرایط فعلی)
66605 M ³	31.613 M ³	امنیت آب (S8)
3230 unit	1390.59 unit	وضعیت پروژه ترسیب کربن (شرایط فعلی)
3409 unit	1513.42 unit	وضعیت پروژه ترسیب کربن (S8)
476477 kg	327530 kg	امنیت غذا (شرایط فعلی)
714718 kg	491299 kg	امنیت غذا (S8)
kw 119076	119136 kw	امنیت انرژی (شرایط فعلی)
179076 kw	179136 kw	امنیت انرژی (S8)

منبع: یافته‌های پژوهش

۴-۵-۳. سناریوی ترکیب مدیریت عرضه و تقاضای منابع آب (افزایش راندمان آبیاری) و افزایش ۸۰٪ انرژی‌های جایگزین

این سناریو با اعمال هم‌زمان افزایش راندمان آبیاری به میزان ۶۰٪، افزایش ۸۰٪ به کارگیری انرژی‌های نو اجرا شده است. راندمان آبیاری را بر اساس سیستم آبیاری مدرن (آبیاری تحت فشار قطره‌ای) در منطقه سربیشه و درمیان می‌توان به میزان ۶۰٪ در بخش کشاورزی افزایش داد. طبق نتایج به دست آمده در این سناریو بر اساس مدل سیستم دینامیک، در زیرسیستم آب، امنیت آب از 43939 m^3 به 66605 m^3 افزایش خواهد یافت. همان‌طور که در شکل (۱۱)، ملاحظه می‌گردد این سناریو نسبت به سناریوی پایه رشد بیشتری داشته است؛ بنابراین، افزایش راندمان آبیاری در کنار افزایش

انرژی‌های جایگزین (بادی و خورشیدی) بر کاهش تقاضای آب این بخش و همچنین کاهش کمبود انرژی در سیستم اثرگذار است. در شرایط حاضر بخش کوچکی از اراضی منطقه با استفاده از دستگاه‌های آبیاری مدرن آبیاری می‌گردد. افزایش بهره‌وری مصرف نیازمند برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری مناسب است. اعمال سیاست‌های تشویقی و حمایتی از طرح‌های بهینه مصرف آب می‌تواند در افزایش راندمان تأثیرگذار واقع گردد. همچنین، مطابق جدول (۵)، پیش‌بینی می‌شود تحت این سناریو در سال ۱۴۱۰ پروژه ترسیب کربن از ۳۲۳۰ واحد به ۶۳۷۲ واحد و امنیت غذا از ۴۷۶۴۷۷ kg به ۵۲۲۴۵۱ kg و امنیت انرژی با صرفه جویی ۹۶۰۰۰ kW انرژی الکتریسیته افزایش می‌یابد که می‌تواند دلیل این تأثیرات مثبت و افزایشی، بالابردن راندمان آبیاری در بخش کشاورزی باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در کلیه بخش‌ها اثرگذاری سناریو ترکیبی بیشتر است و به عنوان بهترین سناریو انتخاب می‌گردد.



شکل ۱۱. امنیت منابع آب، غذا انرژی در سناریو مدیریت عرضه و تقاضای آب

جدول ۵. مقایسه امنیت منابع آب، غذا، انرژی و پروژه ترسیب کربن بین شرایط فعلی با سناریو ترکیبی

سناریوی ترکیبی (S1+S7+S8)	سال ۱۳۹۰	سال ۱۴۱۰
امنیت آب (شرایط فعلی)	31.162 M ³	43939 M ³
امنیت آب (S1+S7+S8)	42.517 M ³	65891 M ³
وضعیت پروژه ترسیب کربن (شرایط فعلی)	1390.59 unit	3230 unit
وضعیت پروژه ترسیب کربن (S1+S7+S8)	2720.88 unit	6372 unit
امنیت غذا (شرایط فعلی)	327530 kg	476477 kg
امنیت غذا (S1+S7+S8)	359486 kg	522451 kg
امنیت انرژی (شرایط فعلی)	119136 kw	kw 119076
امنیت انرژی (S1+S7+S8)	215136 kw	215076 kw

۵- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد‌های سیاستی

با افزایش روزافزون تقاضای جمعیت برای آب، غذا و انرژی در سال‌های آینده، فشار بر این سه بخش افزایش یافته و اهمیت تناسب میان آب، غذا و انرژی ضرورت می‌یابد. با توجه به ضرورت و اهمیت این مسئله، مطالعه حاضر باهدف تحلیل پویای مدیریت پایدار منابع انرژی مبتنی بر پیوند منابع آب، غذا و انرژی در استان خراسان جنوبی (سربیشه و درمیان) با استفاده از آزمون تکرار رفتار کالیبراسیون و صحت‌سنجی شد. نتایج به‌دست‌آمده از آزمون نشان داد که مدل شبیه‌سازی شده، نتایج و رفتار قابل قبول با مشاهدات واقعی داده است.

۱) بر اساس نتایج به دست آمده، در سال‌های آینده با روند فعلی، تأمین نیاز انرژی در منطقه مورد مطالعه (سربیشه و درمیان) با بحران جدی روبرو است. بر این مبنا، می‌توان از راهکارهای پیشنهادی قابل اجرا باهدف مدیریت صحیح مصرف برای رساندن وضعیت سیستم به یک سطح قابل پذیرش و مطمئن استفاده نمود.

۲) با استفاده از رویکرد پویایی سیستم می‌توان تأثیر شرایط مختلف را در مدیریت سیستم و اثرات طولانی مدت آن‌ها را مورد تحلیل قرار داده و سیاست‌های مناسب را اتخاذ نمود. در مدل پویایی سیستم با استفاده از سیاست‌هایی در جهت افزایش تولید انرژی در منطقه از تشدید بحران انرژی و خاموشی در شهر و روستا جلوگیری می‌شود.

۳) طبق نتایج پژوهش، با توجه به وجود همبست (پیوند) بین منابع آب، غذا و انرژی اصلاح الگوی مصرف آب با توجه به کاهش ساعت کاری چاه‌های برقی منجر به صرفه‌جویی انرژی می‌گردد.

با توجه میزان تولید برق نیروگاه‌های خورشیدی هم‌زمان با اوج تقاضای مصرف برق کشور در فصل تابستان و با تولید بیش از ۱۲ گیگاوات ساعت انرژی به‌طور سالیانه ضمن کمک به تأمین تقاضا در ساعات اوج مصرف، میزان مصرف سوخت‌های فسیلی را حدود ۴ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. همچنین در فرآیند تولید برق منطقه موجب صرفه‌جویی ۳ میلیون لیتری مصرف آب در سال و مانع از انتشار حدود ۱۰ هزار تن گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

منابع

منابع داخلی

- ارشدی، م؛ و باقری، ع. (۱۳۹۲)، تحلیل سیستم منابع آب حوزه کارون از منظر پایداری با رویکرد پویایی سامانه‌ها، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال نهم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۲-۱۳۹۳.
- راور، زینب. بنفشه زهرایی، حمید گزینی، سمن ناز جعفری، (۱۳۹۷). به کارگیری رویکرد پیوند آب، غذا و انرژی در جهت ارزیابی خدمات تأمینی اکوسیستم حوزه گاوخونی. هفتمین اجلاس ملی مدیریت منابع آب ایران با رویکرد: پیوند چرخه آب و اکولوژی در مناطق خشک برای پایداری سرزمین. دانشگاه یزد.
- علی احمدی، ن. ا. مرادی، س. حسینی و ع. شهرکی، (۱۴۰۰). شبیه سازی و پویایی سیستم منابع آب حوزه هیرمند تحت سناریوهای مدیریتی، نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۸، شماره اول، ص ۴۳-۲۳.
- کیهان پور، م. س. موسوی جهرمی، ح. ابراهیمی، (۱۴۰۰). تحلیل دینامیکی مدیریت پایدار منابع آب مبتنی بر همبست منابع آب، غذا و انرژی مورد مطالعه استان خوزستان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۳(۱۵): ۵۸۱-۵۶۷.
- گودرزی، م. رضا پیریانی و م. موسوی، (۱۳۹۸). درک پیوند آب، غذا، انرژی و مدیریت بهره‌وری از منابع آب موجود، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۴، شماره ۲، خرداد- تیر ۱۳۹۹، ص ۲۵۵-۲۶۸.
- مطالعات آمایش سرزمین و تدوین سند راهبردی توسعه استان خراسان جنوبی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی خراسان جنوبی، سال ۱۳۹۹.
- منعم، م. دلاور، م؛ و س. حسینی، (۱۳۹۸). کاربرد و ارزیابی پیوند آب، غذا و انرژی (نکسوس) در مدیریت شبکه‌های آبیاری: مطالعه موردی شبکه آبیاری زاینده‌رود. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۱۴، فروردین- اردیبهشت ۱۳۹۹، ص ۲۷۵-۲۸۵.
- یاری، ع. ع. کارگر، ف. فخر، م. عبدالحسینی، ح. پوراسد، و پویا فر، (۱۳۹۳). گزارش سالیانه عملکرد اجرایی سال ۲۰۱۳ پروژه بین‌المللی ترسیب کربن. نشر چهار درخت ۸۰ صفحه.

منابع خارجی

- Birol, F. (2010). World energy outlook 2010. *International Energy Agency* 1(3):1-23
- Bizikova, L., Roy, D., Swanson, D., Venema, H. D., and McCandless, M. (2013). *The water-energy-food security nexus: Towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management* (pp. 16-20). Winnipeg: International Institute for Sustainable Development.
- Böhringer, C., and Rutherford, T. F. (2008). Combining bottom-up and top-down. *Energy Economics*, 30(2), 574-596.
- Bonn, A. (2011). Nexus Conference, 2011. *The water, energy and food security nexus solutions for a green economy*. http://www.water-energyfood.org/en/whats_the_nexus.html. Accessed 01 Mar 2015.
- Dubois, O. (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk*. Earthscan. Rome, Italy, 2011
- El-Gafy, I. (2017). Water-food-energy nexus index: analysis of water-energy-food nexus of crop's production system applying the indicators approach. *Applied Water Science*, 7(6), 2857-2868.
- Endo, A., Burnett, K., Orencio, P. M., Kumazawa, T., Wada, C. A., Ishii, A., and Taniguchi, M. (2015). Methods of the water-energy-food nexus. *Water*, 7(10), 5806-5830.
- Feng, K., Chapagain, A., Suh, S., Pfister, S., and Hubacek, K. (2011). Comparison of bottom-up and top-down approaches to calculating the water footprints of nations. *Economic Systems Research*, 23(4), 371-385.
- Flessa, H., Ruser, R., Dörsch, P., Kamp, T., Jimenez, M. A., Munch, J. C., and Beese, F. (2002). Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄, N₂O) from two farming systems in southern Germany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 91(1-3), 175-189.

- García, I. F., García, A. M., Díaz, J. A. R., Barrios, P. M., & Poyato, E. C. (2018). *Water–Energy Nexus in Irrigated Areas. Lessons from Real Case Studies*. In *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment* (pp. 41-59). Academic Press.
- HLPE (High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition). (2015). *Water for Food Security and Nutrition. A Report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition Committee on World Food Security*.
- Hoff, H. (2011). *Understanding the nexus: Background paper for the Bonn 2011 Nexus Conference*.
- Hoff, H. 2011. *Understanding the NEXUS. Background paper for the Bonn 2011 nexus conference: The water, energy and food security nexus solutions for the green economy*. Stockholm Environment Institute, Stockholm.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Ecosystems and Human Well- Being*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Sadoff, C. W., Hall, J. W., Grey, D., Aerts, J. C. J. H., Ait-Kadi, M., Brown, C., and Wiberg, D. (2015). *Securing Water, Sustaining Growth. Report of the GWP/OECD Task Force on Water Security and Sustainable Growth*.
- Sims, R. E. (2011). " *Energy-smart" food for people and climate: issue paper*. " *Energy-smart" food for people and climate: issue paper*.
- Summit, E. (1992). *Agenda 21. The United Nations programme for action from Rio*. (United States Congress, 1990. *Food, Agriculture, Conservation, and Trade Act of 1990, Public Law 101-624. Title XVI, Subtitle A, Section 1603*. Washington, DC: US Government)
- Tanaka, N. (2010). *World energy outlook 2010*. International Energy Agency. Paris: IEA.
- World Economic Forum WEF. (2011) *Global risks 2011*. 6th Edition. World Economic Forum, Cologne/Genev.