کاربرد رویکرد همبست آب-انرژی-غذا در برنامه‌ریزی کشت حوضه سیستان

حسین بدیع برزین[۱]، سید مهدی حسینی[۲]، محمود هاشمی تبار[۳] و مصطفی مردانی نجف آبادی[۴]*

۱) دانشجوی دکتری دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۲) استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان،زاهدان، ایران.

۳) استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۴) دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و توسعه روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.

*ایمیل نویسنده مسئول: **m.mardani@asnrukh.ac.ir**

شماره صفحات
۱۴۹-۱۶۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱

چکیده

غذا و آب برای وجود انسان ضروری است و انرژی کلید توسعه انسانی است. آب- انرژی و غذا ارتباط قوی با یکدیگر دارند و نقش مهمی در دستیابی به اهداف توسعه پایدار ایفا می‌کنند. پژوهش حاضر با هدف جلوگیری از ارائه و اجرای سیاست‌های نامناسب و تک‌بخشی در تولید محصولات زراعی، به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه با استفاده از رویکرد همبست آب-انرژی-غذا در محدوده مطالعاتی دشت سیستان برای سال زراعی ۹۸-۹۷ پرداخته است. نتایج نشان داد که سطح زیرکشت محصولات در شهرستان زابل، زهک هیرمند و هامون به ترتیب ۵/۸۱، ۱/۷۷، ۱۶/۴۳ و ۱۱/۴۳ درصد کاهش یافته است. همچنین، با اجرای مدل چند هدفه همبست آب-انرژی-غذا در دشت سیستان مجموع سطح زیرکشت، میزان مصرف آب‌آبیاری، انرژی و انتشارگازهای گلخانه‌ای (CO_2) به ترتیب ۸/۴، ۰/۴۳، ۰/۲۵و ۰/۴۹ درصد کاهش داشته است. بر طبق نتایج با اعمال رویکرد مدل پیشنهادی، میزان سود ناخالص سیستم در حوضه مورد بررسی به مقدار ۱۰/۳ درصد افزایش یافته است. بنابراین به‌کارگیری مدل پیشنهادی مطرح شده با رویکرد WEFN در این مطالعه می‌تواند به سیاستگذاران و برنامه‌ریزان در این حوضه کمک نموده و دشت سیستان را از آسیب جدی ناشی از بحران آبی آینده مصون نگاه دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، توسعه پایدار، همبست آب- انرژی و غذا، دشت سیستان

مقدمه

با توجه به اینکه محصولات زراعی نقش تعیین‌کننده‌ای در امنیت غذایی جوامع بر عهده دارند، بنابراین در آینده اراضی زراعی بیش از سایر منابع، محدودکننده تولید غذا در جهان خواهد بود و در نتیجه افزایش بهره‌برداری از آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Tichenor *et al.*, 2017). بهره‌برداری بیش از حد منابع کشاورزی، استفاده غیر بهینه از نهاده‌های کشاورزی و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی به مشکلات برجسته تبدیل شده که توسعه پایدار کشاورزی را به چالش می‌کشند (Brauman *et al.*, 2013, Hashemi *et al.*, 2018, Kumar *et al.*, 2012). در بخش کشاورزی، آب، غذا و انرژی با هم ارتباط بسیار نزدیکی داشته به همین دلیل تخصیص بهینه منابع آب، انرژی و زمین اهمیت داشته و باعث حداکثر شدن منافع اقتصادی شده و به تبع آن کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2) می‌شود (Hassas *et al.*, 2021). در حالی که طی سال‌های اخیر به دلایل متعددی از جمله بهره‌برداری ناخواسته و غیرمنطقی از منابع آب به ویژه آب‌های زیرزمینی، وقوع اثر خشکسالی و رعایت نکردن اصول حفاظتی در بهره‌برداری از منابع آب، بخشی از منابع ملی آب از بین رفته و برخی هم در معرض خطر تخریب قرار گرفته‌اند (Kardavani, 2012). با توجه به پایین بودن ارزش اقتصادی آب در بخش کشاورزی نسبت به سایر بخش‌های اقتصادی، پیامدهای کمبود آب در بخش کشاورزی به صورت کاهش سطح زیرکشت و تغییر الگوی کشت مشهودتر بوده و تاثیر زیادی بر امنیت غذایی دارد (Lui *et al*, 2014). در اصل، مدیریت پایدار منابع آب را می‌توان یکی از ویژگی‌های کلیدی برای فعالیت‌های کشاورزی بکار برد (غفاری و همکاران،۱۴۰۰) و منطقی است که فرض شود دستیابی به امنیت غذایی برای یک جامعه در عمل با امنیت منابع آب مرتبط است و همچنین آشکار است که بقا و به نوبه خود، رفاه یک جامعه به شدت به امنیت غذایی بستگی دارد (Enayati *et al.*, 2021). مشارکت جهانی آب (GWP)[1] با هماهنگی چندین سازمان ملی و جهانی در سال ۱۹۹۶ برای حمایت از مدیریت منابع آب از سوی GWP به عنوان "فرایندی که توسعه و مدیریت هماهنگ آب، زمین و منابع مرتبط با آن به منظور به حداکثر رساندن رفاه اقتصادی و اجتماعی بدون ایجاد زیان بر پایداری اکوسیستم‌ها و محیط زیست را ترویج میکند" معرفی گردید (GWP, 2010).رویکرد همبست آب-انرژی و غذا مکمل مدیریت جامع منابع آب (IWRM)[2]است.تفاوت اساسی آن این است که هدف رویکرد جامع منابع آب آشتی نیازهای متنوع ذینفعان مختلف به منابع است، که ممکن است این منابع شامل بخش‌های غذایی و انرژی نباشد. در حالی که اولا همبست (WEFN)[3] شامل غذا و انرژی نیز می گردد؛ و ثانیاً تمرکز آن بر روابط داخلی این منابع با یکدیگر است. بایستی توجه نمود که آب در مقایسه با منابع غذایی و انرژی که حتی قابلیت انتقال بین قاره‌ای دارند منبعی نسبتا محلی‌تر است.رویکرد IWRM نقش موثری در فعالیت‌های مربوط به آب در یک حوضه آبریز دارد. از طرف دیگر، مرز یک مطالعه WEFN می‌تواند بسته به مرکز مطالعه متغیر باشد: منطقه‌ای،

[1] Global Water Partnership
[2] Integrated Water Resource Management
[3] Water Food Energy Nexues

ملی، استانی و حتی محلی. همچنین بسته به نوع مسئله، رویکرد WEFN قابلیت تمرکز بر یک بخش خاص در سیستم را دارد در حالی که تمرکز IWRM فقط بر بخش منابع آب است (Mohtar & Lawfor, 2016).

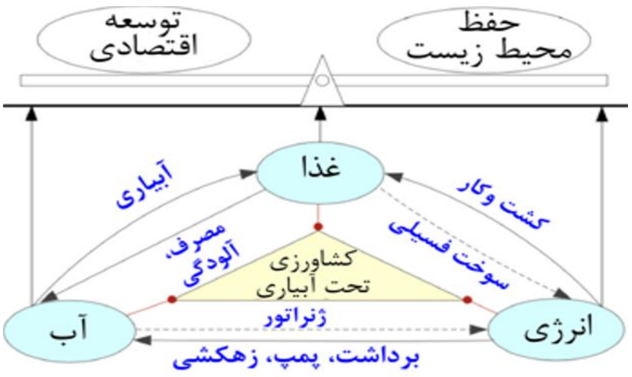
با افزایش جمعیت روبه رشد جهان تأمین آب، غذا و انرژی یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو خواهد بود. کشاورزی به‌عنوان مهم‌ترین بخش تولیدکننده مواد غذایی نه‌تنها مصرف‌کننده آب و انرژی است، بلکه مهم‌ترین عرضه‌کننده انرژی نیز محسوب می‌شود.در فرآیند تولید غذا به منابع آب و انرژی، برای تولید انرژی به آب و برای دسترسی به آب به انرژی نیاز است، همچنین از سامانه غذا برای تولید انرژی استفاده می‌شود. در نتیجه، باید تعادل و توازنی بین جریان برداشت و بهره‌برداری از منابع تولید و میزان تولید محصولات کشاورزی ایجاد شود (Eslami *et al.*, 2019). غذا و آب برای وجود انسان ضروری است و انرژی کلید توسعه انسانی است، آب، انرژی - غذا ارتباط قوی با یکدیگر دارند و نقش مهمی در دستیابی به اهداف توسعه پایدار ایفا می‌کنند کاهش سطح آب، تهدیدی برای پایداری کشاورزی، تولید مواد غذایی، سلامت و محیط‌زیست است و دسترسی به این منابع و مدیریت پایدار آنها، پایه و اساس توسعه پایدار است. بنابراین استفاده کارآمد از این منابعِ محدود برای توسعه پایدار امری ضروری است (Sadeghi *et al.*, 2019). صرفه جویی در آب و انرژی یکی از مهمترین زمینه‌های توسعه در سراسر جهان می‌شود. صرفه جویی در انرژی می‌تواند فشار را بر منابع آب کاهش دهد، زیرا آب مورد نیاز برای تولید انرژی می‌تواند ذخیره شود یا مجدد تخصیص داده شود. و افزایش بهره‌وری آب همچنین می‌تواند مقدار انرژی مصرف شده برای انتقال،حرارت و تصفیه آب را کاهش دهد.بنابراین وجود تفکر نکسوس می‌تواند به عنوان کلید توسعه پایدار در نظر گرفته شود (Mirzaei, 2017). در کنفرانس ریو ۲۰ در سال ۲۰۱۲ تحت عنوان "آینده ای که می‌خواهیم بسازیم" مجموعه ای متشکل از ۱۷ بند به عنوان اهداف توسعه پایدار توسط سازمان ملل متحد ارائه گردید. موضوع آب و انرژی به طور مستقیم و غیر مستقیم با ۱۲ بند ارتباط دارد. برای دستیابی همزمان به ۱۷ هدف از فقرزدایی، امنیت غذایی، عدالت جنسیتی تا سلامت، مصرف پایدار و حفاظت از تنوع زیستی و ... نیاز به درک متابولیسم پیچیده و همکاری آنهاست. تفکر سیستمی بجای بخش‌های فردی، کلیه بازخوردها و ارتباطات را مورد توجه قرار می‌دهد و می‌تواند به تغییر سیستم‌ها از طریق مداخلات هدفمند درگره‌های بحرانی منجر شود (Garcia & You, 2016).

براساس اهداف هزاره سوم سازمان ملل (SDGs)[1]دستیابی به توسعه پایدار درازمدت جوامع انسانی و تضمین فراهمی آب-انرژی و غذا به‌منظور پایداری برای نسل‌های آینده در دستور کار این سازمان قرار گرفته است. در این راستا، تمرکز بر روی یک بخش از بخش‌های ارتباطی آب- غذا- انرژی بدون در نظر گرفتن روابط بین آن‌ها خطرات جدی و خسارات جبران‌ناپذیر را به دنبال خواهد داشت. با توجه به ارتباط نزدیک سامانه‌های آب- غذا- انرژی و همچنین تاثیر متقابل آن‌ها بر یکدیگر، مفهوم جدیدی به نام رویکرد پیوندی[2] یا رویکرد همبست مطرح شده است که اشاره به ذات یکپارچه و اثرات متقابل برنامه‌ریزی آب-

[1] Sustainable development goals.
[2] Nexuse.

غذا- انرژی دارد. این رویکرد سبب ارائه گزینه‌های مناسب جهت تصمیم‌گیران سیاسی، مدیران و برنامه‌ریزان این سه حوضه در جهت حفظ منابع موجود و دستیابی به توسعه پایدار شده است (Mirabi, & Krabi, 2018). در راستای عملیاتی کردن این اهداف محققان چارچوب‌ها و رهیافت‌های میان‌رشته‌ای و تخصصی متعددی را برای دستیابی به‌نوعی توازن و تعادل پویا و بهینه در تولید و مصرف منابع ارائه کرده‌اند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها همبست آب-انرژی و غذا است. نظر به وجود بحران‌های محیط‌زیستی و آبی که امنیت غذایی و انرژی کشور را به مخاطره انداخته است؛ مدیریت همبست آب، انرژی و غذا با توجه به نیازها و مشارکت تمام ذینفعان می‌تواند این تغییرات را کنترل و تعادلی در بخش‌های مختلف ایجاد کند. همچنین بکارگیری این رویکرد می‌تواند رهنمودی برای سیاست‌گذاری توسعه پایدار در کشور باشد (Karabulut *et al.*, 2018 ؛ Safaei *et al.*, 2019). لذا مطالعات دقیق با در نظر گرفتن مسائل و پیچیدگی‌های موجود و ارائه راهکاری مناسب برای حل آن‌ها امری ضروری است. در جوامع امروزی خصوصاً در مناطقی با شرایط ایران استفاده از رویکرد هم بست جهت تأمین امنیت منابع موجود، به ویژه منابع آب، امری ضروری می‌باشد؛ لذا شناسایی منابع موجود و نحوه ارتباط میان آن‌ها اولین گام در این مسیر می‌باشد (Mirabi, & Krabi, 2018).

الگوی یکپارچه همبست آب-انرژی و غذا در شکل (۱) نشان داده است که ضرورت مفهوم پیوند WEFNرا در کشاورزی تکمیل می‌کند.



شکل (۱) رابطه بین آب-انرژی و غذا در کشاورزی(Li et al., 2019)

الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی با توجه به قابلیت منحصربه فردی که در مرتبط ساختن اجزاء اقتصادی با جنبه‌های بیوفیزیک و اکولوژی دارند امروزه به یکی از ابزارهای رایج و کارآمد در تحلیل مسائل پیچیده اقتصاد کشاورزی درآمده‌اند (Buysse *et al.*, 2007). اگرچه سایر الگوها نیز ممکن است با درجات مختلفی از این قابلیت برخوردار باشند، اما الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی با توجه به توانایی الگوسازی ماهیت چندگانه و به شدت وابسته فعالیت‌های کشاورزی، از مزیت منحصربه فردی در تحلیل سیاست‌های بخش‌کشاورزی برخوردارند (Ahani *et al.*, 2023). در زمینه مدل های همبست آب-انرژی و غذا مطالعاتی در داخل و خارج انجام شده است:

Sayadi *et al.*, (2018) در تحقیقی به ارائه یک مدل مفهومی از هم‌پیوندی میان آب-انرژی و غذا با استفاده از سیستم پویا برای ایران و تحلیل عوامل تأثیرگذار بر این رابطه است. به همین منظور ابتدا هریک از زیر بخش‌های آب-انرژی و غذا مدل‌سازی شده و در نهایت به مدل‌سازی مفهومی یکپارچه در خصوص رابطه هریک از زیر بخش‌های ذکر شده با یکدیگر پرداخته شده است. به عنوان کاربستی از هم‌پیوندی مذکور، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب-انرژی و غذا برای دوره زمانی ۱۳۹۶ ـ ۱۳۸۳ محاسبه شده است. روند این شاخص در نتایج تحقیق، فراز و نشیب داشته و از سال ۱۳۹۲ به بعد روند صعودی و ملایمی را طی کرده است؛ هرچند هیچ گاه به سطح شاخص در سال ۱۳۸۵ نرسیده است. با یک نگاه آسیب‌شناسانه و نظام‌مند در جهت کاهش ریسک امنیت انرژی ـ آب ـ غذا، می‌بایست این سه بخش در کارکردی منظم و هماهنگ با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته شوند. یافته‌های تحقیق لزوم توجه به این هم‌پیوندی در سیاست‌گذاری و تنظیم مقررات در این حوضه در کشور را نمایان می‌کند.

Sadeghi *et al.*, (2019) با ایجاد تعادل بین اجزا مختلف اصلی تشکیل دهنده بوم سازگان‌ها در قالب رویکرد پیوند آب - انرژی و غذا از ارکان مهم مدیریت جامع و سازگار حوضه آبخیز تلقی می شود. آب, انرژی و غذا هر یک جزئی از منابع نهایی یک آبخیز هستند که دارای ارتباطی متقابل با یکدیگر می‌باشند. به طوری که ایجاد تغییر بر هر یک از آن ها بر عامل دیگر اثر گذاشته و پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی خود در اجتماع را به وضوح نشان می‌دهد. در واقع برنامه ریزی جامع مدیریت آبخیز به مفهوم تلاش برای درک نیازها و اثرهای افراد ذی نفع روی عملکردهای طبیعی یک آبخیز و ارائه یک طرح برای تصمیم سازی در رابطه با مدیریت منابع و توسعه پایدار است. به نحوی که هر تصمیم گیری مربوط به مدیریت منابع آبخیز باید با توجه به پایداری اقتصادی, محیط زیستی و اجتماعی انجام شود. بر همین اساس نوشتار حاضر با هدف ضرورت لحاظ پیوند آب-انرژی و غذا در مدیریت جامع حوضه آبخیز ارائه شده است.

Mirabi and Krabi (2018) بخش‌های مختلف منابع آب، انرژی، غذا و آلودگی (اکوسیستم) در کنار جامعه صنعت و زندگی شهری و ارتباطات بین آن‌ها در ایران را مورد بررسی قرار دادند و سپس با ارائه مدلی که شامل توابع اقتصادی و زیست محیطی می‌باشد بر استفاده از رویکرد پیوندی در جهت دستیابی به توسعه پایدار پرداختند.

Hassan *et al.*, (2017) موضوع انرژی مصرفی برای استخراج آب زیرزمینی در ارتباط با امنیت‌غذایی و تغییر اقلیم در چارچوب نکسوس را در پنجاب پاکستان مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق اعلام شد که با توجه به تغییر اقلیم و افزایش نیاز به آب زیرزمینی، سطح آب چاه‌ها افت کرده و هزینه‌های انرژی افزایش یافته است. لذا محققین پیشنهاد کرده‌اند که تبعات تغییرات ایجاد شده در چارچوب نکسوس باید مورد بررسی قرار گیرد.

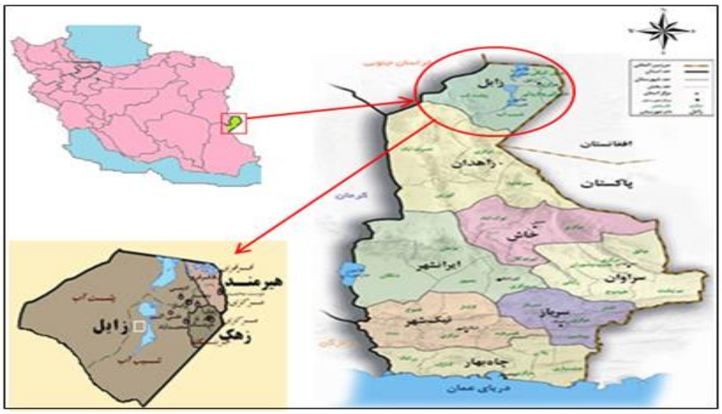
Rasul and Sharma (2016) در مقاله ای به اهمیت پیوندهای متقابل در پیوند آب- انرژی و غذا و پیامدهای توسعه پایدار با استفاده از منطقه هیمالیا هندوکش پرداختند که به دنبال افزایش درک پیوندهای متقابل در پیوند آب- انرژی و غذا است. این نتیجه می‌گیرد که رویکرد سازگاری مبتنی بر پیوند - که یک دیدگاه پیوندی را در برنامه‌های سازگاری با تغییرات آب و هوایی

و یک دیدگاه انطباق را در برنامه‌های توسعه ادغام می‌کند - برای سازگاری مؤثر بسیار مهم است. یک چارچوب مفهومی برای در نظر گرفتن رویکرد پیوندی در رابطه با سازگاری با تغییرات آب و هوایی ارائه می‌کند، هم افزایی‌های بالقوه، مبادلات را مورد بحث قرار می‌دهد و یک چارچوب گسترده‌تر برای موثرتر کردن پاسخ‌های سازگاری ارائه می‌دهد. این موضوعات نیاز به تغییر رویکردهای خط مشی را از تمرکز بخشی، که می تواند منجر به اقدامات رقابتی و معکوس شود، به رویکردی یکپارچه با انسجام سیاستی در میان بخش هایی که از دانش پیوندهای متقابل برای به حداکثر رساندن سود، بهینه سازی مبادلات استفاده می کند، برجسته می کند. و از اثرات منفی جلوگیری کنید.

Inas El Gafy (2017) در تحقیقی به شبیه‌سازی و ارزیابی رابطه بین آب، غذا و انرژی در تولید و مصرف محصول گندم از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۰۵ در مصر مورد استفاده قرار گرفتند؛ ارزیابی داده ها نشان داد که مدل ارائه شده یک مدل قدرتمند است بطوری که در ۱۰۰ ٪ پارامترها، خطای نسبی کمتر از ۱۰ ٪است و علاوه بر آن سطح اطمینان از اعتبار خوبی برخوردار است. این تحقیق با مطالعه بر روی ۴۳ محصول شاخص پیوند آب- غذا و انرژی(WFENI) را برای تصمیم گیرندگان با توجه به عملکرد مدیریت آب و غذا و با استفاده از یکپارچه سازی متغییرهای اصلی فراهم می کند. در این مقاله توصیه شده تا با اضافه کردن شاخص های بیشتری از جمله ارزش اقتصادی آب و انرژی، عملکرد ارتباط آب، غذا و انرژی بهتر نشان داده شود.

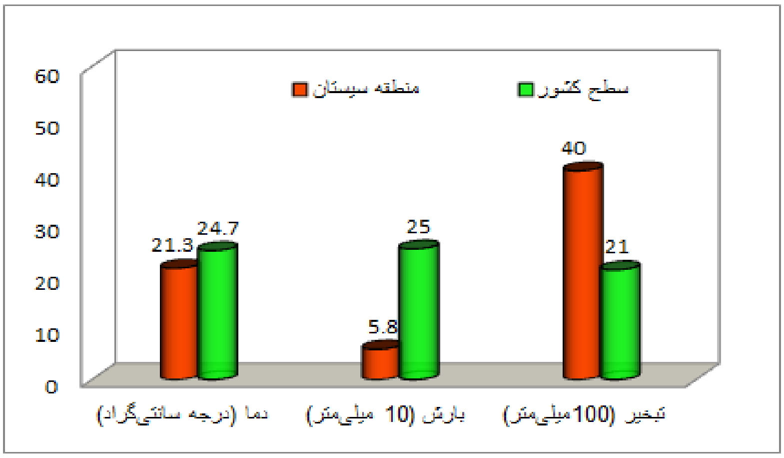
منطقه مورد مطالعه

منطقه سیستان با طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی در بخش شمال شرق استان سیستان و بلوچستان واقع شده است و با مساحت ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع در حدود ۸/۱ درصد از خاک این استان را به خود اختصاص داده است. این منطقه (سیستان) به لحاظ تقسیمات کشوری دارای پنج شهرستان (زابل، زهک و هیرمند،هامون و نیمروز)، هفت شهر، ۱۸ دهستان و بیش از ۹۸۵ روستا و آبادی است (Anonymous, 2017). شکل (۲)، موقعیت جغرافیایی منطقه سیستان و شهرستان‌های واقع در آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲-موقعیت جغرافیایی منطقه سیستان و شهرستان‌های واقع در آن

به لحاظ شرایط اقلیمی، آب و هوای حاکم بر منطقه سیستان در تمام طبقه‌بندی‌های اقلیمی از نوع گرم و خشک است. میانگین دمای سالانه ۲۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ۳۸ درصد و متوسط بارندگی در منطقه سیستان حدود ۵۸ میلی‌متر (یعنی حدود ۲۵ درصد بارندگی در کشور و حدود ۷ درصد متوسط بارندگی جهانی) است که این مقدار بارش تأثیر چندانی در بهبود وضعیت کشاورزی دشت سیستان ندارد. این در حالی است که، میزان تبخیر و تعرق سالانه در دشت سیستان ۸۰ برابر میزان بارندگی (بین ۴۵۰۰ تا ۵۰۰۰ میلی‌متر) در این منطقه است (Anonymous, 2016). شکل (۳) وضعیت بارندگی، میزان تبخیر و میانگین دمای سالانه را برای دشت سیستان در مقایسه با سطح کشور طی سال پایه ۹۷-۱۳۹۶ نشان می‌دهد:



شکل ۳ میانگین دما، بارش و تبخیر سالانه در سطح کشور و دشت سیستان طی سال ۹۷-۱۳۹۶

به لحاظ وضعیت منابع آب سطحی، قسمت اعظم آب مورد نیاز کشاورزی در دشت سیستان تنها از طریق جریانات آب سطحی رودخانه هیرمند تأمین می‌شود. لذا، افزایش سطح زیرکشت محصولات زراعی در این دشت تا حد زیادی وابسته به میزان آب ورودی از کشور همسایه (افغانستان) می‌باشد. این امر، سبب شده تا با ایجاد نوسان در حجم آب (آورد) رودخانه هیرمند، سطح زیرکشت محصولات زراعی در دشت سیستان کم یا زیاد شود علاوه بر جریانات آب سطحی رودخانه هیرمند، دریاچه یا تالاب بین‌المللی هامون با سه بخش هامون پوزک، هامون صابری و هامون هیرمند و مخازن چاه نیمه از دیگر منابع تأمین‌کننده آب سطحی در دشت سیستان هستند که وجود آن‌ها تماماً وابسته به جریانات آب سطحی رودخانه هیرمند است (Anonymous, 2015). به لحاظ وضعیت منابع آب زیرزمینی، تعداد محدودی از سفره‌های آب زیرزمینی در دشت سیستان وجود دارند که حفر و تجهیز چاهک‌های کم‌عمق در آن‌ها تنها منابع تأمین آب بهره‌برداری‌های کوچک را در دوران کم‌آبی و خشکسالی فراهم می‌سازد. می‌توان خاطر نشان کرد که منطقه سیستان فاقد منابع آب زیرزمینی قابل توجه می‌باشد و تنها تعداد کمی چشمه و قنات در این منطقه وجود دارند. این میزان منابع آب زیرزمینی اندک نیز فاقد کیفیت لازم جهت استفاده در بخش کشاورزی است. علاوه بر این، کمبود بارش‌های جوی و بهره‌برداری بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی در دشت سیستان، افت شدید سطح آبخوان‌های موجود در این دشت را باعث شده؛ به طوری که گزارشات کارشناسان در این مورد افت سطح آب زیرزمینی را از سال ۱۳۷۷ تاکنون برای منطقه مورد نظر نشان داده است. این موضوع سبب کاهش آبدهی و خشک‌شدن محدود قنوات، چشمه‌ها و

چاه‌های حفر شده در دشت سیستان شده است. کاهش ۷۵، ۴۵ و ۴۰ درصدی آبدهی قنوات، چشمه‌ها و چاه‌ها و همچنین، خشک شدن چندین حلقه چاه مشاهده‌ای در سطح دشت سیستان، حاکی از اثرات سوء افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی است (Anonymous 2015). لذا با توجه به شرایط منطقه و بحران کاهش آب در این منطقه نیاز به طراحی یک رویکرد همه‌جانبه و مدیریت و برنامه ریزی مدون و کارشناسانه بیش از قبل در این منطقه در اولویت می‌باشد. بنابراین با در نظر گرفتن سایر بخش (انرژی-غذا) درکنار بخش منابع آب که در مطالعات پیشین به این امر پرداخته گردیده و حتی نتایج مطلوبی هم در این زمینه بدست آمده است (Sardarshahraki, 2015).لذا تحقیق حاضر با در نظر گرفتن سایر منابع به این امر بصورت کلی در حوضه سیستان پرداخته است.هدف یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه با بکارگیری رویکرد همبست آب-انرژی و غذا در محدوده مطالعاتی دشت سیستان بصورت حداکثرسازی سود و میزان کالری محصولات کشاورزی و حداقل سازی کاهش انتشار (CO_2)، مصرف انرژی نهاد های کشاورزی و مصرف آب‌آبیاری در تولید محصولات غذایی با توجه به محدودیت‌های آب، زمین و غیره می‌باشد. به این امید که اطلاعات سودمندی جهت تدوین استراتژی‌های مناسب برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش درآمد کشاورزان در محدوده مطالعاتی فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

در این مقاله سعی شده است یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه (MOP)[1] برای همبست آب-انرژی و غذا معرفی شود که توانایی پردازش تصمیمات مدیریتی را داشته باشد. در این مدل، علاوه بر بررسی جنبه اقتصادی، کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز بررسی می‌شود. شهرستان‌های زابل، زهک، هیرمند و هامون مهمترین شهرهای محدوده مطالعاتی در تولید محصولات زراعی هستند. در این مدل اهداف کلی به حداقل رساندن مصرف آب ،حداقل رساندن مصرف انرژی، کاهش (CO_2)، افزایش سود اقتصادی سیستم و افزایش میزان کالری محصولات در حوضه سیستان می باشند. مدل فرضی مورد بررسی، شامل اراضی تحت پوشش محصولات زراعی دشت سیستان می باشد. در این مدل، آب مورد نیاز برای آبیاری محصولات زراعی، از منابع آب سطحی تأمین می‌شود. برای جمع‌آوری، پمپاژ و آب مورد نیاز در تولیدموادغذایی استفاده می‌شود. همچنین برای تولید موادغذایی و فرآوری آن‌ها از منابع آب‌سطحی (انرژی) مورد نیاز است. در فرآیند تولید ، مواد غذایی، آبیاری محصولات و مصرف کودها و سموم شیمیایی گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص CO_2 منتشر می‌شود. در ادامه، متغیرهای تصمیم، تابع هدف و محدودیت‌های مدل برنامه‌ریزی ریاضی معرفی می‌شوند. جامعه آماری مطالعه حاضر شامل کلیه کشاورزان دشت سیستان است که در اراضی خود به کشت محصولات منتخب گندم، جو، یونجه، پیاز، خربزه و هندوانه می‌پردازند. تجزیه و

[1] Multi Objective Programming

تحلیل و کد نویسی پژوهش در نرم افزار (GAMS)[1] انجام شده است.قبل از معرفی مدل برنامه‌ریزی ریاضی مورد استفاده و با توجه به تعداد زیاد مجموعه‌ها، متغیرها و پارامترهای به‌کار رفته در مطالعه، خلاصه‌ای از نمادها و تعاریف هر کدام از این اجزاء در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول۱. فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف مجموعه‌ها، متغیرها و پارامترها

اندیس Index	شرح Description	اندیس Index	شرح Description
$I\in${زابل،زهک،هیرمند و هامون}	مجموعه مناطق	C_V	هزینه‌های کشاورزان (میلیون ریال)
$K\in${گندم،جو،یونجه،پیاز،خربزه و هندوانه}	مجموعه محصولات زراعی	$Price_P_{ik}$	قیمت محصولات زراعی هر منطقه (ریال / کیلوگرم)
$J\in${۱،....۷}	مجموعه نهاده‌ها به کار رفته	$Yield_P_{ik}$	عملکرد محصولات هر منطقه (کیلوگرم/ هکتار)
$labor_ik$	تعداد نیروی کار (نفر روز ساعت)	R_V	درآمد کشاورزان (میلیون ریال)
$min(CO2)_V_{ik}$	هدف حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای	en_k	میزان انرژی تولید شده حاصل از مصرف یک واحد وزنی از محصولات زراعی (کالری)
$\min water_V_{ik}$	هدف حداقل‌سازی مصرف آب	ECW_V	هزینه انرژی برای پمپاژ آب‌های سطحی (ریال)
$Min: Ene_V_{ik}$	هدف حداقل‌سازی مصرف انرژی	IQ_{ik}^{sur}	نیاز آبی محصولات منطقه (متر مکعب / هکتار)
$maxCal_V_{ik}$	هدف حداکثرسازی تولید کالری از موادغذایی	EC	هزینه برق (ریال/ کیلووات ساعت)
$maxProfit_V_{ik}$	هدف حداکثرسازی سود ناخالص کشاورزان	CEF	ضریب انتشار کربن در استفاده از کودها (کیلوگرمCO_2/ کیلوگرم)
WCF_v	هزینه آب آبیاری برای تولید محصولات زراعی (میلیون ریال)	CED	ضریب انتشار کربن در استفاده از سوخت دیزل (کیلوگرمCO_2/ کیلوگرم)
A_V_{ik}	سطح زیرکشت تخصیص یافته برای تولید محصولات زراعی (هکتار)	$CEAF$	ضریب انتشار کربن در استفاده از رول‌های نایلونی کشاورزی (کیلوگرمCO_2/ کیلوگرم)
CEP	ضریب انتشار کربن در استفاده از سموم شیمیایی (کیلوگرمCO_2/ کیلوگرم)	WEP_v	آلودگی محیطزیست آب (کیلوگرم)
Q	حجم رواناب (میلیون متر مکعب)	CEI	ضریب انتشار کربن برای آبیاری (کیلوگرمCO_2/ هکتار)
η	ضریب بهربرداری از آب های سطحی	r	نرخ انحراف آب از رودخانه
$EW_v(i)$	مقدار برق تخصیص داده شده به آب‌های سطحی برای محصولات زراعی هر منطقه (کیلو وات. ساعت)	EWA	کل برق مصرفی برای پمپاژ آب (کیلو وات. ساعت)
$SWA_v(i)$	میزان آب در دسترس برای هر منطقه (میلیون متر مکعب)	$CEPL$	ضریب انتشار کربن در استفاده از شخم کیلوگرم CO_2 / هکتار
HI^{sur}	هد پمپ برای آبیاری سطحی (متر)	$PEI^{COD_{cr}}$	ضریب شدت آلودگی برای COD_{cr} (کیلوگرم / هکتار)
PEI^{NH_3-N}	ضریب شدت آلودگی برایNH_3-N (کیلوگرم / هکتار)	PEI^{TP}	شدت انتشار آلودگی برای کل فسفر (کیلوگرم / هکتار)
PEI^{TN}	شدت انتشار آلودگی برای کل نیترژون (کیلوگرم / هکتار)	$mashin_ik$	میزان کارکرد ماشین‌آلات کشاورزی برای تولید محصولات (ساعت)
$WP_i^{wat(su)}$	قیمت آب سطحی برای هر منطقه (ریال/ متر مکعب)	$A_P_{ik}^{min}$	حد پایین در دسترس بودن زمین برای محصول k در زیرمنطقه i (هکتار)
TN	ضریب انتشار آلودگی برای کل نیتروژن (کیلوگرم/ هکتار)	$LP_i_$p	شستشوی فسفر برای هر منطقه (کیلوگرم / هکتار)
TP	ضریب انتشار آلودگی برای کل فسفر (کیلوگرم / هکتار)	$LN_i_$p	شستشوی نیتروزن برای هر منطقه (کیلوگرم/ هکتار)
μ^{sur}	ضریب کارایی آب سطحی	F_ik	مقدار مصرف کود شیمیایی به ازای هر واحد برای محصولات زراعی k در هر منطقه i (کیلوگرم/ هکتار)
$A_P_{ik}^{max}$	حد بالا در دسترس بودن زمین برای محصول k در زیرمنطقه i (هکتار)	P_ik	مقدار مصرف سموم دفع آفات به ازای هر واحد محصولات زراعی k در منطقه i (کیلوگرم/ هکتار)
ECF_V	هزینه انرژی برای تولید محصولات زراعی (میلیون ریال / هکتار)	Af_P_i	مقدار مصرف رول‌های نایلونی کشاورزی در هر منطقه (کیلوگرم/ هکتار)
etasur_pf	راندمان استفاده از آب سطحی برای زمین‌های کشاورزی	E_l	انرژی کارگر در هکتار (مگاژول بر هکتار)

[1] General Algebraic Modeling System

ادامه جدول۱. فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف مجموعه‌ها، متغیرها و پارامترها

AE_v	میزان آلودگی فضا (کیلو گرم)	AM_ik	مقدار مصرف سوخت دیزل به ازای هر واحد محصولات زراعی k در منطقه i (کیلوگرم/ هکتار)
$cost_P_{kij}$	هزینه های بکار رفته در تولید محصولات (میلیون ریال بر هکتار)	E_p	انرژی سم مصرفی در هکتار بر حسب (مگاژول بر هکتار)
$eqlabor$	هم ارز انرژی نیروی کار (نفر روز ساعت)	eqf_N	هم ارز انرژی کود نیتروژن (کیلوگرم/ هکتار)
$eqdizel$	هم ارز انرژی دیزل (لیتر / هکتار)	eqf_{P2O5}	هم ارز انرژی کود فسفر (کیلوگرم/ هکتار)
$eqmach$	هم ارز انرژی ماشین الات (ساعت)	eqf_{K2O}	هم ارز انرژی کود پتاس (کیلوگرم/ هکتار)
$eqpoi$	هم ارز انرژی سموم شیمیایی (کیلوگرم/ هکتار)	$eqwat$	هم ارز انرژی آب آبیاری (متر مکعب / هکتار)
$Seed_{_ik}$	میزان بذر استفاده شده برای محصولات زراعی (کیلوگرم/ هکتار)	$fertilaz_N_ik$	میزان کود نیتروزن استفاده شده برای محصولات زراعی (کیلوگرم/ هکتار)
$fert_{P2O5_ik}$	میزان کود فسفر استفاده شده برای محصولات زراعی (کیلوگرم/ هکتار)	$fert_{K2O_ik}$	میزان کود پتاس استفاده شده برای محصولات زراعی (کیلوگرم/ هکتار)

منبع: یافته‌های پژوهش. **(P**: نماد پارامتر و **V**: نماد متغیر است).

توابع اهداف

با توجه به اهداف بکار برده شده در همبست آب- انرژی-غذا در مطالعه حاضر بنابراین این اهداف شامل ۱-هدف حداکثر سود ناخالص سیستم،۲-هدف حداکثر میزان کالری محصولات کشاورزی،۳- هدف حداقل انتشار گازهای گلخانه ای،۴- هدف حداقل مصرف آب آبیاری و ۵- هدف حداقل میزان مصرف انرژی نهاده ها در تولید محصولات غذایی به ترتیب در نظر گرفته شده است.

$$obj1\ Profit_V = max(R_V - C_V) \tag{1}$$

$$R_V = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K} Price_P_{ik} \cdot Yield_P_{ik}\ * A_V_{ik} \tag{2}$$

$$C_V = ECW_V + ECF_V\ \ + WCF_v \tag{3}$$

$$ECW_V = \ EC \cdot \left[\frac{HI^{sur}}{102 * 3.6 * \mu^{sur}}\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K} IQ_{ik}^{sur} * A_V_{ik}\right)\right] \tag{4}$$

$$ECF_V = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K} A_V_{ik} * \sum_{j=1}^{J}(cost_P_{kij}) \tag{5}$$

$$WCF_v = \sum_{i=1}^{I} WP_i^{wat(su)}\left(\sum_{k=1}^{K} Q_{ik}^{wat(su)} * A_V_{ik}\right) \tag{6}$$

$$Max:\ Obj\ 2Coleri_V = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{k}(en_k * Yield_P_{ik} * A_V_{ik}) \tag{7}$$

$$Min: Obj\ 3CO2_V = min\{AE_v + WEP_v\} \tag{8}$$

انتشار CO_2 عمدتاً از استفاده از آفت‌کش ها، کودها و ماشین‌های کشاورزی، فیلم‌های کشاورزی و شخم بوسیله گاوآهن ناشی می شود . بنابراین، AE را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$AE_v = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}[(CEF \cdot F_ik_i + CEP \cdot P_ik + CED \cdot AM_ik + CEAF \cdot AF_i) * A_V_{ik} + (CEPL + CEI) \cdot A_V_{ik}] \tag{9}$$

آلودگی محیط آب کاهش غلظت آلاینده در زهکشی سطحی (به طور عمده شامل CODcr ، NH3-N، TN وTP) را در نظر می‌گیرد . علاوه بر این، شستشوی نیتروژن و فسفر نیز در نظر گرفته شده است .بنابراین، WEP را می‌توان بیان کرد

$$WEP_v = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}[(PEI^{COD_{cr}} + PEI^{NH_3-N} + PEI^{TN} + PEI^{TP}) * A_V_{ik} + (LN_i_p + LP_i_p) * A_V_{ik}] \quad (10)$$

$$Obj4\ Water_V = min\{W\} \quad (11)$$

$$W = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\left[\left(\mathrm{IQ}_{\mathrm{ik}}^{\mathrm{wat(su)}} * A_V_{ik}\right)/\eta\right] \quad (12)$$

$$Obj5\ Energy_V = min\{E\} \quad (13)$$

$$E = \sum_{i=1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\Big[\Big(eqlabor * labor_ik + eqmach * mashin_ik + eqdizel * AM_ik + eqf_N * fertilaz_N_ik + eqf_{P2O5} * fert_{P2O5_ik} + eqf_{K2O} * fert_{K2O_ik} + eq\,poi * P_ik + eqwat * IQ_{ik}^{wat(su)} + eqseed * Seed_{_ik}\Big) * A_V_{ik}\Big] \quad (14)$$

تابع اهداف مشروط به محدودیت‌هایی است که در ادامه بیان خواهد شد.

در هر منطقه آب‌های سطحی اختصاص یافته برای کلیه محصولات زراعی نباید از بیشترین مقدار منابع آب سطحی مربوط به پروژه‌های مختلف تأمین آب مانند پروژه انتقال آب، پروژه ذخیره آب و پروژه برداشت آب بزرگ‌تر باشد(Li *et al.*, 2019).

این محدودیت بصورت رابطه ذیل می‌باشد.

$$\sum_{k=1}^{k_1}\left(IQ_{ik}^{wat(su)} \cdot A_V_{ik}\right)/\,etasur_pf \le SWA_v(i) \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^{I} SWA_v(i) \le (1-r) * Q \quad (16)$$

در سیستم‌های کشاورزی آبی، انرژی عمدتاً برای برداشت آب‌های سطحی، پمپاژ و زهکشی آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود و برق مصرفی نباید بیشتر از مقدار مجاز برای هر زیرمنطقه و کل انرژی در دسترس باشد . (البته در حوضه مورد مطالعه آب های زیرزمینی وجود ندارد و پژوهش حاضر بر مبنای آب های سطحی در نظر گرفته شده است این محدودیت را می توان به صورت زیر بیان کرد: (Li *et al.*, 2019).

$$\left[\frac{\frac{HI^{sur}}{\mu^{sur}}}{102*3.6*\mu^{sur}} * \sum_{k=1}^{k_1}\left(IQ_{ik}^{wat(su)} \cdot A_V_{ik}\right)\right] \le EW_i \qquad \forall_i \quad (17)$$

$$\mathrm{EW_v(i)} \le EWA \quad (18)$$

میزان حداکثر و حداقل زمین قابل کشت برای همه محصولات به‌صورت رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$A_P_{ik}^{min} \le A_V_{ik} \le A_P_{ik}^{max} \qquad \forall_i . k \quad (19)$$

در نهایت مجموعه غیر منفی متغیرهای مدل به‌صورت رابطه زیر می باشد.

$$SwA_V_{ik} \ge 0 \qquad \forall_i . k$$
$$A_V_{ik} \ge 0 \qquad \forall_i . k$$
$$Ew_V_{ik} \ge 0 \qquad \forall_i . k$$
$$Calory_V_{ik} \ge 0 \qquad \forall_i . k$$
$$Profit_V_{ik} \ge 0 \qquad \forall_i . k \quad (20)$$

روش حل مدل یک روش برنامه‌ریزی غیرخطی چند هدفه بر اساس یکسری محدودیت‌های کاربردی در حوضه می‌باشد. داده‌های مورد نیاز پژوهش، از طریق جهاد کشاورزی، بررسی نشریه‌ها و گزارشات، سالنامه‌های آماری کشاورزی سال ۹۸-۹۷ و مصاحبه با کارشناسان هر شهرستان و از طریق شرکت‌های مهندسین مشاور (به دلیل تکمیل بودن اطلاعات) مربوطه گردآوری شد.

نتایج و بحث

براساس گزارشات سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، دشت سیستان دارای ۱۳۵ هزار هکتار اراضی قابل کشت است که از این سطح، سالانه بر حسب میزان آب تخصیصی تنها در حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد زیرکشت محصولات زراعی و باغی قرار دارد. سطح زیر کشت محصولات زراعی ۶۱۶۴۲ هکتار، محصولات باغی ۱۰۵۸ هکتار و محصولات گلخانه ای ۶۳ هکتار در نظر گرفته شده است .بنابراین آمار نشان می‌دهد که سال به سال در این حوضه سطح زیرکشت کاهش می‌یابد. نوسانات به وجود آمده در آورد رودخانه هیرمند و عدم وجود منابع آب مطمئن علت اصلی کاهش سطح زیرکشت محصولات زراعی در این منطقه است (Anonymous, 2017).

در جدول (۲) فهرست داده‌های اولیه برای پژوهش حاضر ارائه شده است. براساس نتایج حاصل از جدول مذکور، عمده محصولات زراعی بررسی شده در این پژوهش شامل گندم، جو، یونجه، پیاز، خربزه، هندوانه می‌باشد. متوسط عملکرد محصولات زراعی نشان می‌دهد که خربزه و هندوانه تقریبا با ۱۹/۵ تن بیشترین و جو با ۲/۹ تن کمترین میزان عملکرد را به خود اختصاص داده است. در بین محصولات مورد بررسی، محصول جو کمترین میزان مصرف سم (علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش) را داراست. از نظر کالری در هکتار محصول جو با ۳۸۹۰ کیلو در هکتار بیشترین و محصول هندوانه با ۲۰۰ کیلو در هکتار کمترین میزان کالری را دارا می‌باشند. به لحاظ هزینه‌های مصرفی نهاده‌ها (کود، سم، ماشین‌آلات، نیروی کار و زمین) گندم، جو کمترین میزان هزینه نسبت به سایر محصولات را داشته‌اند و همچنین محصول یونجه به طور متوسط به میزان ۱۲۰۵۰ متر مکعب در هکتار، بیشترین نیاز آبی و محصولات جو و گندم به ترتیب به طور متوسط به میزان ۳۱۹۰ و ۳۵۲۲،۵ کمترین مقدار نیاز آبی را به خود اختصاص داده‌اند و در نهایت بیشترین سطح زیرکشت را محصول گندم با ۲۵۸۰۰ هکتار و کمترین سطح زیرکشت به محصول پیاز اختصاص دارد.

با توجه به اینکه روش حل مدل یک روش برنامه‌ریزی غیرخطی چند هدفه می‌باشد، بنابراین در این روش برای حل مدل MOP فقط به یک جواب بهینه می‌رسیم .در واقع اساس حل مدل برنامه‌ریزی چند هدفه غیر خطی MOP در نرم افزار گمز رسیدن به یک جواب بهینه می‌باشد. همسو با تحقیق حاضر در مطالعه Ahani *et al.*, ; Mardani Najafabadi *et al*, 2019 2023 که از برنامه ریزی غیر خطی چند هدفه با اهدافی متفاوت از تحقیق حاضر استفاده کردند به یک جواب بهینه دست یافتند.

جدول۲. فهرست داده‌های اولیه محصولات زراعی

محصولات	سطح زیرکشت (هکتار)	متوسط نیاز آبی محصولات (مترمکعب)	متوسط عملکرد محصولات (تن)	متوسط قیمت محصولات (ریال)	متوسط هزینه‌های استفاده شده در تولید محصولات (میلیون ریال)	میزان مصرف کود شیمیایی پتاس (تن در هکتار)	مصرف سموم شیمیایی (لیتر بر هکتار)	کالری محصولات کیلوگرم بر هکتار	نیروی کار (نفر -روز)
گندم	۲۵۸۰۰	۳۵۲۲/۵	۳/۲۶	۴۱۵۰۰	۵۴/۸	۰/۰۵۰۵۶	۱/۵	۳۵۰۰	۲۳
جو	۱۹۲۰	۳۱۹۰	۲/۹	۴۱۵۰۰	۴۸/۵	۰/۰۵۰۵۶	۱/۲	۳۸۹۰	۲۱
یونجه	۱۰۰۱/۹	۱۲۰۵۰	۶/۶	۳۳۷۵۰	۱۴۲	۰/۰۵۲۰۲	۲	۲۳۰	۲۹
پیاز	۱۹۰/۵	۷۴۱۰	۱۵/۵	۱۶۰۰۰	۱۲۰/۸	۰/۰۵۲۵	۲/۲	۴۰۰	۳۷
خربزه	۴۴۶۹/۲	۸۰۵۰	۱۹/۲	۱۴۰۰۰	۱۲۶/۶	۰/۰۵۰۷۵	۱/۵	۳۵۰	۲۸
هندوانه	۲۳۵۳/۸	۸۰۷۵	۱۹/۹	۱۴۰۰۰	۱۳۵	۰/۰۵۰۹	۱/۵	۲۰۰	۳۱

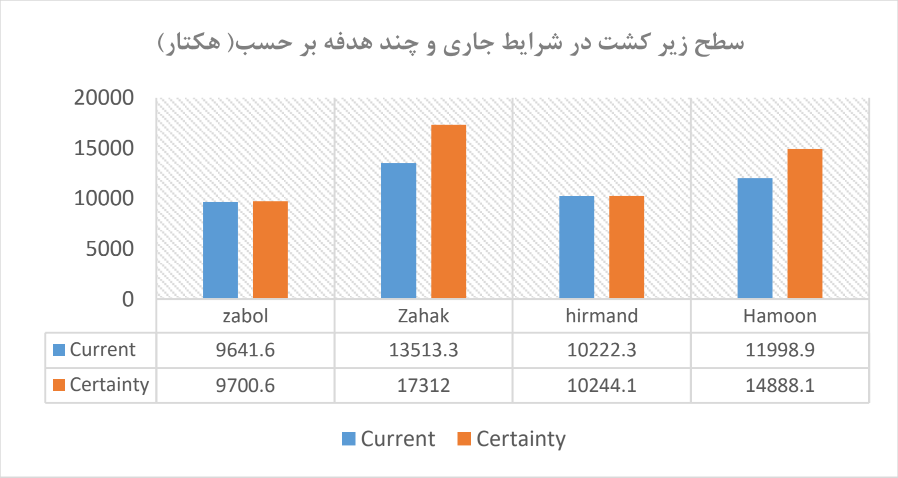
Source:(Anonymous, 2017)

مدل برنامه‌ریزی غیرخطی پیشنهادی در محدوده مطالعاتی دشت سیستان براساس اهداف چندگانه رویکرد همبست آب-انرژی و غذا برای محصولات مختلف زراعی در جدول (۳) ارائه شده است. اطلاعات مبنی بر میزان تغییرات سطح زیرکشت چندهدفه نسبت به الگوی جاری محاسبه شده است. براساس نتایج جدول، میزان تغییر سطح زیرکشت چندهدفه نسبت به الگوی کشت جاری در شهرستان‌های زابل ،زهک، هیرمند و هامون به ترتیب ۵/۸۱ ، ۱/۷۷، ۱۶/۴۱ و ۱۱/۴۳ درصد کاهش داشته است. شایان ذکر است درصد تغییرات سطح زیرکشت بهینه همه محصولات در هر منطقه بصورت مجزا مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاکی از آن است که سطح زیرکشت گندم در شهرستان‌های زابل، زهک، هیرمند و هامون به ترتیب (۱۷/۷، ۴۰، ۴۰ و ۳۰/۱) درصد تغییر داشته است. همچنین سطح زیرکشت جو در مناطق ذکر شده به ترتیب (۷۰-، ۲۲/۴، ۳۴/۹، ۷۰-) درصد تغییر یافته است. برای سایر محصولات حوضه این روند محاسبه گردید. البته برای شهرستان زهک با توجه به موقعیت منطقه نسبت به مناطق دیگر علاوه بر گندم و جو سطح زیرکشت چندهدفه نسبت به الگوی کشت جاری برای دو محصول یونجه و پیاز هم افزایش داشته است. همچنین در شهرستان هیرمند هندوانه در شهرستان هامون خربزه بر طبق الگوی بهینه افزایش ناچیزی داشته اند. در شهرستان‌های زابل، زهک، هیرمند و هامون کمترین میزان سطح زیرکشت کل در هدف حداقل مصرف آب‌آبیاری، حداقل CO_2 و حداقل مصرف انرژی،به ترتیب ۲۹۸۸/۹۹، ۴۰۵۳/۹۹،۳۹۶۳/۶۵و ۳۵۹۹/۹۴ هکتار بوده است و بیشترین آن مربوط به هدف حداکثرسازی سود و حداکثر میزان کالری به ترتیب ۹۷۹۷/۱۲۸، ۱۰۵۴۴،۱۷۶۳۴/۶۷و ۱۴۱۶۱/۲۴ هکتار است. نتایج نشان می‌دهد که سطح زیرکشت کلی در تمامی مناطق زابل،زهک،هیرمند و هامون کاهش یافته است. بجز اهداف حداکثر سود و حداکثر کالری در بقیه اهداف شامل حداقل مصرف آب‌آبیاری ، حداقل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 و حداقل میزان مصرف انرژی این روند کاهش داشته است. همچنین در شکل (۳) سطح زیرکشت محصولات در شرایط جاری و چند هدفه در مناطق مختلف ترسیم شده است. با مقایسه بین مناطق مختلف حوضه مشخص گردیدکه در شرایط MOP شهرستان زهک نسبت به سایر مناطق بیشترین سطح زیرکشت را دارا می‌باشد.

جدول ۳ سطح زیرکشت محصولات کشاورزی در مناطق مختلف بر حسب (هکتار)

محصولات	حالات مدل	زابل	زهک	هیرمند	هامون	مجموع
گندم	جاری	۶۵۰۰	۱۱۰۰۰	۴۸۰۰	۱۰۰۰۰	۳۲۳۰۰
	چند هدفه	۷۶۱۶/۳۵	۱۵۴۰۰	۶۷۲۰	۱۳۰۱۱/۳۸	۴۲۷۴۷/۷۳
	درصد تغییر	۱۷/۱۷	۴۰	۴۰	۳۰/۱	۱۲۷/۲۷
جو	جاری	۱۱۵۰/۸	۵۵۰	۸۷۰	۵۰۰	۳۰۷۰/۸
	چند هدفه	۱۴۸۷/۰۷۸	۶۷۳/۲۲۹۱	۱۱۷۴/۳۵۳	۷۰۰	۴۰۳۴/۶۶
	درصد تغییر	-۷۰	۲۲/۴	۳۴/۹	-۷۰	-۸۲/۷۰
یونجه	جاری	۲۵۲/۴	۴۱۹/۹	۴۷۷	۱۰۵	۱۲۵۴/۳
	چند هدفه	۷۵/۷۲	۵۸۷/۸۶	۱۴۳/۱	۳۱/۶	۸۳۸/۲۸
	درصد تغییر	-۷۰	۴۰	-۷۰	-۰/۶۹	-۱۰۰/۶۹
پیاز	جاری	۲۲/۶	۴۵	۸۲	۶۳/۵	۲۱۳/۱
	چند هدفه	۶/۷۸	۶۳	۲۴/۶	۱۹/۰۵	۱۱۳/۴۳
	درصد تغییر	-۷۰	۴۰	-۷۰	-۷۰	-۱۷۰
خربزه	جاری	۵۰۰	۹۹۸/۶	۲۸۰۹/۸	۶۶۰/۸	۴۹۶۹/۲
	چند هدفه	۱۵۰	۴۳۸/۰۶۹	۸۴۲/۹۴	۹۲۵/۱۲	۲۳۵۶/۱۲۹
	درصد تغییر	-۷۰	-۵۶/۱۳۱۷	-۷۰	۴۰	-۱۵۶/۱۳۲
هندوانه	جاری	۱۲۱۵/۸	۴۹۹/۸	۱۱۸۳/۵	۶۷۰/۵	۳۵۶۹/۶
	چند هدفه	۳۶۴/۷۴	۱۴۹/۹۴	۱۳۳۹/۱۲	۲۰۱/۱۵	۲۰۵۴/۹۵
	درصد تغییر	-۷۰	-۷۰	۱۳/۱۴۹	-۷۰	-۱۹۶/۸۵۱

منبع: یافته‌های پژوهش.



شکل (۳) سطح زیرکشت محصولات مناطق مختلف در شرایط جاری و چند هدفه

برخی از متغیرهای مهم و درصد تغییرات آن‌ها برای مدل‌سازی ریاضی در راستای همبست آب-انرژی و غذا در جدول ۴ ارائه شده است. براساس نتایج جدول کاهش سطح زیرکشت محصولات بخاطر کاهش در میزان آب دردسترس برای این محصولات می‌باشد و نتایج جدول هم این موضوع را به درستی نشان می‌دهد.کاهش آب به علت تغییر در شرایط اقلیمی منطقه و کاهش

آب ورودی به چاه نیمه‌ها می‌باشد. بنابراین در رویکرد مدل پیشنهادی مطالعه حاضر کاهش آب باعث کاهش در تولید و سطح زیرکشت گردیده است، از آنجا که انتظار بر این می‌رود که کاهش تولیدات کشاورزی و سطح زیرکشت باعث کاهش در درآمد و سود کشاورزان گردد، ولی کشاورزان برای بعضی از محصولات فصلی نظیر خربزه و هندوانه که با توجه به نتایج جدول بیشترین آب در دسترس را مصرف می‌کنند از کود ها و سموم شیمیایی به میزان بیشتری استفاده می‌کنند بنابراین این امر باعث شده علاوه بر افزایش پارامتر کودها میزان سود کشاورزان هم افزایش پیدا کند. همسو با نتایج پژوهش انجام گرفته این موضوع در مطالعات انجام شده توسط مورد تایید قرار گرفته است (Shirzadi Laskookalayeh *et al*., 202; Ahani *et al*., 2023).

قابل ذکر است میزان انتشارگازهای گلخانه‌ای با اجرای مدل همبست آب-انرژی و غذا به مقدار ۰/۴۹ درصد در دشت سیستان کاهش یافته است. بنابراین اجرای الگوی بهینه همبست آب-انرژی و غذا در زابل، زهک ، هیرمند و هامون باعث کاهش گازهای گلخانه‌ای به محیط‌زیست می شود. همسو با نتایج پژوهش حاضر در مطالعه Li *et al*., در (2019) که در واقع دو هدف حداکثر سازی سود و حداقل سازی میزان CO_2 را مدنظر قرار داده‌اند، میزان انتشار گازهای گلخانه ای به مقدار ۲۰/۵ درصد کاهش داشته است.با توجه نتایج جدول میزان کالری حاصل از محصولات زراعی در مدل MOP نسبت به شرایط جاری در زابل، زهک ، هیرمند و هامون به ترتیب ۱۱/۵۵، ۳۳/۰۳، ۱۵/۷۵ و ۲۶/۸۴ درصد افزایش داشته است. با توجه به اینکه مجموع سطح زیر کشت کاهش یافته میزان تولید در دشت سیستان از ۰/۲۹۳ به ۰/۲۴۸ میلیون تن در هکتار تغییر پیدا کرده که به مقدار۱۵/۳ درصد کاهش یافته است انتظار بر این بود که میزان کالری محصولات کشاورزی هم کاهش یابد اما با رویکرد یکپارچه آب - غذا - انرژی میزان کالری موجود در محصولات کشاورزی در مجموع حوضه به مقدار ۲۳/۶درصد افزایش یافته است. بنابراین بر طبق نتایج همبست آب-انرژی و غذا بر امنیت غذایی تاثیر مثبت دارد . همسو با نتایج بدست آمده از تحقیق در مطالعه Cansino-Loeza *et al*., در (2022) میزان امنیت غذایی محصولات کشاورزی ۲۶ درصد افزایش داشته است..

همچنین بر طبق رویکرد مدل پیشنهادی میزان مصرف انرژی در دشت سیستان از مقدار ۱۴۰۰/۳۱ میلیون مگاژول بر هکتار در حالت جاری به مقدار ۱۳۹۶/۸ میلیون مگاژول بر هکتار در حالت MOP تغییر پیدا کرده است بنابراین با اجرای مدیریت همبست آب-انرژی و غذا مصرف کل انرژی در دشت سیستان به میزان ۰/۲۵ درصد کاهش داشته است پس می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت همبست WEFN بر میزان تخصیص انرژی تاثیر منفی دارد. در مطالعه Karamian *et al*., در (2023) میزان مصرف نهاده انرژی در بخش کشاورزی کاهش ۱۲/۷۱٪ داشته است ،که همسو با نتایج تحقیق حاضر می‌باشد.بطور کلی در راستای مدیریت پایدار منابع، و اجرای الگوی برنامه‌ریزی ریاضی رویکرد همبست آب-انرژی و غذا در محدوده مطالعاتی دشت سیستان و با تأکید بر حفاظت از محیط‌زیست، بهره‌برداری از سه سامانه آب-انرژی و غذا کاهش یافته است.

جدول۴. متغیرهای مهم پیشنهادی در رویکرد همبست آب- انرژی و غذا

متغیرهای مهم در مدل هم-بست	حالات مدل	زابل	زهک	هیرمند	هامون	مجموع
آب تخصیص داده شده به هر منطقه (میلیون متر مکعب)	جاری	۵۴/۷۵۰۹۹	۷۲/۷۰۶۹۱	۷۲/۷۲۸۳۸	۶۱/۴۳۴۷	۲۶۱/۶۲۰۹۸
	چند هدفه(MOP)	۴۶/۹۴۶۸۱	۸۴/۷۰۹۳۳	۶۱/۵۱۳۶۲	۶۷/۳۰۷۶۳	۲۶۰/۴۷۷۳۹
	درصد تغییر	-۱۴/۲۵۴	۱۶/۵۰۷۹۴	-۱۵/۴۲	۱۲/۸۱۵۱۲	-۰/۴۳
تولید کالری مواد غذایی (میلیون کالری بر هکتار)	جاری	۹۳/۹۸	۱۵۵/۰۹	۸۹/۳۱	۱۱۸/۷۸	۴۵۷/۱۶
	چند هدفه(MOP)	۱۰۴/۸۴	۲۰۶/۳۱	۱۰۳/۳۸	۱۵۰/۶۶	۵۶۵/۱۹
	درصد تغییر	۱۱/۵۵	۳۳/۰۳	۱۵/۷۵	۲۶/۸۴	۸۷/۱۷
سود ناخالص (میلیون ریال)	جاری	۵۴۳۹۰۱	۷۹۱۳۵۸/۸	۶۳۹۲۱۴/۴	۶۶۵۹۹۱/۴	۲۶۴۰۴۶۶
	چند هدفه(MOP)	۵۴۲۵۵۵/۹	۹۷۰۶۵۶	۶۰۸۵۴۶	۷۹۰۹۷۲/۹	۲۹۱۲۷۳۱
	درصد تغییر	-۰/۲۴۷۳۱	۲۲/۶۵۶۸۹	-۴/۷۹۷۸۳	۱۸/۷۶۶۲۳	۳۶/۳۷۷۹۸
میزان انرژی برای محصولات هر منطقه (میلیون مگاژول بر هکتار)	جاری	۲۹۵/۸۳۲	۴۱۷/۵۷۹	۳۱۸/۳۶۵	۳۶۸/۵۳۹	۱۴۰۰/۳۱۲
	چند هدفه(MOP)	۲۹۵/۲۹۸	۴۱۶/۶۴۸	۳۱۷/۱۷۵	۳۶۷/۶۸۴	۱۳۹۶/۸
	درصد تغییر	-۰/۱۸۱	-۰/۲۲۳	-۰/۳۷۴	-۰/۲۳۲	-۱/۰۱
میزان کود پتاسK_2O در هر منطقه (میلیون تن بر هکتار)	جاری	۰/۰۰۰۶۱۵	۰/۰۰۰۸۶۲	۰/۰۰۰۶۵۴	۰/۰۰۰۷۶۴	۰/۰۰۲۸۹۵
	چند هدفه(MOP)	۰/۰۰۰۶۲۴	۰/۰۰۱۰۹۵	۰/۰۰۰۶۷۲	۰/۰۰۰۹۳۱	۰/۰۰۳۳۲۲
	درصد تغییر	۱/۵۰۶۲۳۲	۲۷/۰۳۷۴	۲/۷۹۶۲۲۹	۲۱/۸۵۰۱۱	۵۳/۱۸
تولید هر منطقه (تن)	جاری	۵۸۴۶۹/۷۲	۷۵۵۶۸/۵	۱۰۰۰۸۴/۲	۵۹۲۵۰	۲۹۳۳۷۲/۴۲
	چند هدفه(MOP)	۳۸۹۲۵	۷۵۸۴۵/۵	۷۰۲۶۳	۶۳۶۴۳	۲۴۸۶۷۶/۵
	درصد تغییر	-۳۳/۴	۰/۳۶	-۲۹/۷	۷/۴	-۵۵/۳۴

منبع: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به اینکه کشور ایران دارای چندین حوضه آبریز بحرانی می‌باشد،که یکی از بحرانی‌ترین حوضه‌های آبریز کشور، دشت سیستان است، در این حوضه به دلیل نبود سفره های آب زیرزمینی، عدم دسترسی به منابع آبی دیگر، اهمیت کشاورزی در منطقه و همچنین موقعیت استراتژیک و حساس منطقه در مرز شرقی ایران، نیاز به یک مدیریت بهم پیوسته بیش از قبل در این منطقه احساس می‌شود. با توجه به این که بخش کشاورزی بیشترین مصرف کننده آب در این حوضه می‌باشد، و با وجود کمبود آب در منطقه و بحران آبی پیش رو در این منطقه این رویکرد می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیران برای کشت مستمر و پایدار کمک شایانی کند. بنابراین همبست آب-انرژی و غذا بایستی برای این حوضه در اولویت قرار بگیرد. بنابراین برای مدیریت بهینه آب-انرژی و غذا بایستی کلیه جوانب با هم ترکیب شوند. برای رویکرد بهینه بجای برنامه‌ریزی تک بخشی بایستی به یک برنامه‌ریزی کلی‌نگر که همه جوانب را در نظر می‌گیرد پرداخته شود.به‌کارگیری مدل پیشنهادی مطرح شده با رویکرد WEFN در این مطالعه می‌تواند برای سیاستگذاران و برنامه‌ریزان در این حوضه کمک نموده و دشت سیستان را از آسیب جدی ناشی از بحران آبی آینده مصون نگاه داشته و از بروز فجایع زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی جلوگیری کنند.

- **در راستای نتایج حاصل از مطالعه پیشنهادهایی بصورت ذیل ارائه شده است:**

✓ بر اساس یافته‌های حاصل از رویکرد مدل در ارتباط با سطح زیرکشت با توجه به شرایط منطقه، و همچنین جهت افزایش در بهره‌وری در میزان مصرف آب و انرژی پیشنهاد می‌گردد که سطح زیرکشت محصولات در حوضه به کشت، محصولاتی نظیر گندم و جو اختصاص داده شود، هر چند ممکن است بازدهی این دو محصول در بعضی از مناطق حوضه کم باشد ولی جهت حفظ امنیت غذایی با توجه به رویکرد مدل کشت این محصولات پیشنهاد می‌شود، بنابراین رویکرد مدل به سمت محصولاتی که میزان مصرف انرژی و میزان مصرف آب کمتری دارند سوق داده شده است. البته مطالعه‌ای برای بررسی تمایل کشاورزان به اجرای الگوی پیشنهادی در حوضه بسیار ضروری است، زیرا با انجام چنین مطالعه‌ای علاوه بر واسنجی نتایج مدل در مطالعه حاضر دیدگاهی جامع‌تر نیز برای انجام مطالعات آتی ترسیم خواهد شد. هر چند اجرای طرح انتقال آب به اراضی کشاورزی حوضه از طریق شبکه آبیاری با لوله‌گذاری یک طرح جامع و بلندمدت بوده که هدفش جلوگیری از هدر رفت و تبخیر و تعرق میزان آب می‌باشد ولی با توجه به کاهش آب ورودی به چاه نیمه‌ها، به همین دلیل نیاز به تغییر الگوی کشت بیش از پیش در این منطقه احساس می‌شود.

✓ نتایج مدل‌سازی ریاضی رویکرد همبست آب- غذا- انرژی نشان داد، علاوه بر کاهش سطح زیرکشت محصولات نسبت به سطح جاری آن‌ها، میزان انرژی و نیاز آبی حوضه نیز کاهش یافته است. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز در حالت بهینه در محدوده مطالعاتی به میزان ۰/۴۹ درصد کاهش داشته و به حداقل مقدار خود رسیده است. با توجه به اینکه یکی از اساسی‌ترین اهداف همبست WEFN حفاظت از محیط‌زیست و جلوگیری از خسارت به آن می‌باشد، بنابراین اجرای سیاست‌های توسعه و تعادل‌زیستی بکارگیری رویکرد همبست آب-انرژی و غذا در راستای حفاظت از محیط‌زیست پیشنهاد می‌شود.

✓ با لحاظ کردن و اجرای الگوی بهینه همبست آب-انرژی و غذا محاسبه شده در این مطالعه به کشاورزان این امکان را می‌دهد که همزمان با حفظ درآمد اقتصادی، ملاحظات زیست‌محیطی، مصرف بهینه و پایدار منابع (WEFN) را برای انتخاب و اجرای سیاست‌ها مورد توجه قرار دهند.

منابع

Ahani, E., Ziaee, S., Mohammadi, H., Mardani Najafabadi, M., & Mirzaei, A. (2023). Proposing the Structure of a Multi-Objective Mathematical Programming Model with Water-Food-Energy Nexus Approach for Crop Production. Journal of Agricultural Economics and Development, 37(1), pp. 83-102.

Anonymous. (2015). Iran Water Resources Management Joint Stock Company, Water Economy Office, Water Economy Charter.

Anonymous. (2016). Reports of Iran Meteorological Organization, Climatology Research Institute of the country.

Anonymous. (2017). Agricultural Statistics, Ministry of Agricultural Jihad, Planning and Economic Deputy, Tehran, Volume 1.

Brauman, K.A., Siebert, S., & Foley, J.A. (2013). Improvements in crop water productivity increase water sustainability and food security-a global analysis. *Environmental Research Letters*, 8(1), pp. 24–30.

Buysse, J., Van Huylenbroeck, G., & Lauwers, L., (2007). Normative, Positive and Econometric Mathematical Programming as Tools for Incorporation of Multifunctionality in Agricultural Policy Modelling. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 120(1), pp. 70-81.

Cansino-Loeza, B., Munguía-López, A.D.C., & Ponce-Ortega, J.M. (2022). A water-energy-food security nexus framework based on optimal resource allocation. *Environmental Science & Policy*. 133(1), pp. 1-16.

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(2), pp. 2857–2868.

Enayati, M., Bozorg-Haddad, O., Fallah-Mehdipour, E., Zolghadr-Asli1, B., & Chu, X. (2021) A robust multiple-objective decision-making paradigm based on the water–energy–food security nexus under changing climate uncertainties(.2021). *Scientific Reports*,120 (1), pp.116-138.

Eslami, Z, Janat rostami, S., & Ashraf zadeh, A. (2019). Application of modeling in managing the relationship between water, food and energy. *Water and Sustainable Development*, 6 (2), pp. 1-8.

Garcia D. J., and You F. (2016). The water-energy-food nexus and process systems engineering: a new focus. *Computers & Chemical Engineering*, 91(2), pp.49–67.

Hashemy, S.M., Firoozfar, A., Maestre, J.M., Mallakpour, I., Taghvaeian, S., & Karimi, P. (2018). Operational performance improvements in irrigation canals to overcome groundwater overexploitation. *Agricultural Water Management*, 204(1), pp. 234–246.

Hassan, G., Hassan F., & Ghulam S. (2017). Food Security Challenges Under Climatic Changes and Groundwater-Energy, Nexus- Case Study of Punjab-Pakistan. *Nutrition & Food Sciences*, 185(2), pp. 331-344.

Hassas, M.A.; Kalantari, Mohammadi-Ivatloo, B., & Safari, A. (2017). Sustainable Management of the Electrical-Energy–Water–Food Nexus Using Robust Optimization.Sustainability. *Applied Water Science*, 116(2), pp.231-253.

Karabulut, A.A., Crenna, E., Sala, S., & Udias, A., (2018). A proposal for integration of the ecosystem-water-food-land-energy (EWFLE) nexus concept into life cycle assessment: A synthesis matrix system for food security. *Journal of Cleaner Production*, 172(2), pp. 3874-3889.

Karamian, F., Mirakzadeh, A.A., Azari, A. (2023). Application of multi-objective genetic algorithm for optimal combination of resources to achieve sustainable agriculture based on the water-energy-food nexus framework. *Science of The Total Environment.* 860 (20) pp. 202-224.

Kardavani, P. (2012). Resources and Water Issues in Iran: Surface Water and Underground Water and Utilization Issues. (Vol. Vol. 1). Tehran University Press.

Kumar, M.D., Sivamohan, M.V.K., and Narayanamoorthy, A. 2012. The food security challenge of the food-land-water nexus in India. *Food Security*, 4(2), pp. 539–556.

Li, M., Fu, Q., Singh, V. P., Ji, Y., Liu, D., Zhang, C., & Li, T. (2019) . An optimal modelling approach for managing agricultural water-Tenergy-food nexus under uncertainty. *Science of the Total Environment* 651(3), pp. 416-434.

Liu, Y., Zhao, X., & Liu, D. (2014). A paralled decision support system for land-use allocation optimization based on artificial immune system. Geomatics and Information Science of Wuhan University. 39(2), pp. 166–171.

Mardani Najafabadi, M., Ziaee, S., Nikouei, A., & Borazjani, A. (2019). Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems*, 173(2), pp. 218-232.

Mirabi, M., & Krabi, M. (2018). Integrated modeling in the optimal management of water, energy and food resources with a correlation approach, 11th National Congress of Civil Engineering, Shiraz.

Mirzaei, Sh. (2017).Water-energy-food nexus management and its role in resource sustainability. *Journal of water and sustainable development.* 15 (1), pp. 152-145.

Mohtar R. H., and Lawford R. (2016). Present and future of the water-energy-food nexus and the role of the community of practice. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 6(1), 192–199.

Rasul, G., & Sharma, B. (2016). The nexus approach to water- energy-food security: An option for adaptation to climate change. *Climate Policy*. 16(6):682-702.

Sadeghi, S.H., Sharifi Moghadam, A., & Porfalah, A. (2019). The necessity of applying the water-food-energy linkage approach in comprehensive watershed management, 8th N*ational Water Resources Management Conference. Mahshhad.*

Safai, V., Pourmohamed, Y., & Davari, K. (2019).The interconnected approach of water, energy and food in water resources management (case study: Mashhad area), *Iranian Irrigation and Drainage Journal*.14(5), pp. 1708-1721.

Sardarshahraki, A. (2015). Optimum allocation of water resources in the Hirmand watershed using game theory and evaluation of management scenarios, PhD thesis in Agricultural Economics, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan.

Sayadi, M., Soltani, A., & Mohadi, S.F. (2018). Presenting a conceptual model of water-energy-food nexus dynamics in Iran: a systemic approach. *Environmental and Natural Resources Economics Quarterly*, 31(6), pp. 79-104.

Sharifi Moghadam, A. & Sadeghi, S.H. (2018). Application of Water-Energy-Food Correlation in Water Resources M*anagement, the First National Conference on Water Resources Management Strategies and Environmental Challenges.*

Shirzadi Laskookalayeh, S. Mardani Najafabadi, M, hahnazari, A. (2021). Investigating the effects of management of irrigation water distribution on farmers' gross profit under uncertainty: A new positive mathematical programming model. *Journal of Cleaner Production*, 55(6), pp.1-33.

Tichenor, N.E., van Zanten, H.H., de Boer I.J, Peters C.J, McCarthy, A.C & Griffin, T.S. (2017). Land use efficiency of beef systems in the Northeastern USA from a food supply perspective. *Agricultural Systems*, 156(1), pp.34-42.