

شناسایی عوامل تأثیرگذار بر مدیریت بهینه منابع با رویکرد همبست در بخش کشاورزی

کیانا نراقی^۱، محمدحسین نیک‌سخن^{۲*}، بهرام ملک‌محمدی^۲

۱. دانشجوی دکتری، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران، تهران

۲. دانشیار، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۰۸/۱۵، تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۱۲/۰۱)

چکیده

آب، غذا و انرژی اصلی‌ترین منابع مورد نیاز برای توسعه جوامع هستند. دیدگاه همبست بر مدیریت به‌هم‌پیوسته این منابع تأکید دارد و با تمرکز بر این سه منبع در سطح کلان به کار گرفته می‌شود. در این تحقیق، ارزیابی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر و روش‌های تخصیص بهینه منابع بر اساس رویکرد همبست آب، انرژی و تولید غذا با فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در استان البرز در نظر گرفته شده است. به این منظور، معیارها به صورت زوجی در یک تحلیل سلسله‌مراتبی با اخذ نظرات متخصصان مقایسه شده و میزان اهمیت آنها تعیین شده است که معیارها شامل مدیریت آب، انرژی و غذا می‌شود. عوامل مؤثر بر تخصیص بهینه منابع استان البرز تعیین و بررسی شده و به صورت گزینه‌های چندگانه ارائه شده‌اند تا به صورت زوجی و براساس پرسشنامه‌های تکمیل‌شده توسط متخصصان مقایسه شوند. نتایج نشان می‌دهد معیار آب نسبت به سایر معیارها با وزن نسبی ۶۱/۴ درصد بیشترین تأثیر را در فرایند ارزیابی دارد و معیارهای انرژی و غذا به ترتیب با وزن نسبی ۲۶/۲ و ۱۲/۴ درصد رتبه‌های بعدی تأثیرگذاری را دارند. از میان راهکارهای تدوین‌شده، آموزش و ارتقای آگاهی با امتیاز ۳۵/۹ درصد در رتبه نخست و سیاست‌گذاری زیست‌محیطی با امتیاز ۲۶/۶ درصد در رتبه دوم قرار گرفت. در نتیجه، پیشنهاد می‌شود راهکارهای آموزش و ارتقای آگاهی و سیاست‌گذاری زیست‌محیطی در اولویت قرار گیرند.

کلمات کلیدی: تحلیل سلسله‌مراتبی، ماتریس مقایسه زوجی، همبست، آب، انرژی، تأمین غذا.

مقدمه

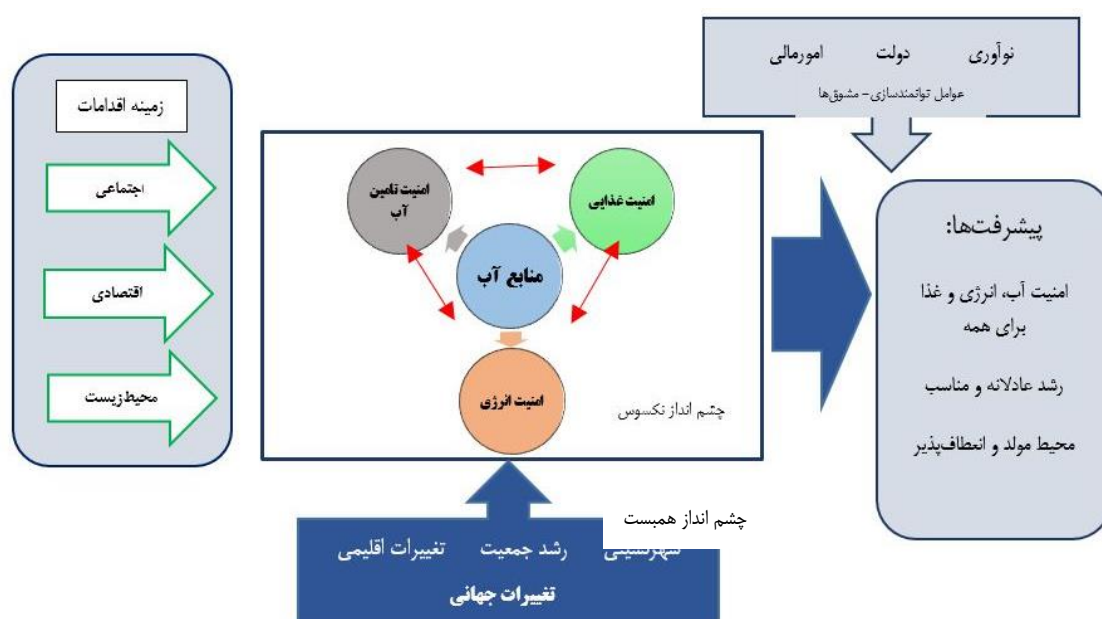
آب، انرژی و غذا منابع مهم به منظور تأمین نیازهای انسان‌ها و برای توسعه پایدار محسوب می‌شوند که وابستگی زیادی به هم دارند و تأثیر زیادی روی هم می‌گذارند. برای مثال، آب نقش مهمی در توسعه انرژی دارد. در حالی که جمع‌آوری، تصفیه، انتقال و استفاده از آب خود نیازمند انرژی است. تولید و پردازش مواد غذایی برای مکانیزاسیون، آماده‌سازی زمین، تولید و کاربرد کود، آبیاری، بسته‌بندی، پردازش و ذخیره مواد غذایی نیازمند انرژی است و خود تولید غذا وابستگی کاملی به بخش آب دارد که توجه به روابط درهم‌تنیده آنها در مدیریت این منابع ضروری است [۱].

دیدگاه همبست، نوعی عمل تصمیم‌گیری یکپارچه است که می‌تواند توسط تصمیم‌گیران این حوزه برای بهینه‌سازی روابط و مدیریت این منابع استفاده شود. تقاضای جهانی برای آب، انرژی و غذا به دلیل افزایش سریع جمعیت، شهرنشینی و تغییرات آب‌وهوایی در حال افزایش بوده و برآورد می‌شود تا سال ۲۰۵۰، در مقایسه با سال ۲۰۱۸، بیش از ۵۰ درصد افزایش یابد، که باعث می‌شود فشار زیادی روی سامانه‌های آب، انرژی و مواد غذایی وارد شود و به دلیل محدودیت منابع، این افزایش استفاده، محدود خواهد بود. مهم‌تر از همه، آب، انرژی و

غذا به هم مرتبط هستند، برای مثال، خشکسالی شدید به دلیل فشار شدید به منابع آبی می‌تواند منجر به مشکلات قابل توجهی در زمینه تولید غذا و انرژی شود. در چنین شرایطی، مفهوم همبست آب، انرژی و غذا برای بررسی و مدیریت این منابع به طور جامع و یکپارچه در نظر گرفته می‌شود. در نظر گرفتن این سه بخش در کنار هم، با وجود همه چالش‌ها، از جمله مرز سیستم، عدم اطمینان داده‌ها، وجود بحث‌های اجتماعی و پویایی، مسائلی ضروری هستند [۲].

اصطلاح همبست آب، انرژی و غذا ابتدا توسط هاف در سال ۲۰۱۱ به وجود آمد و آن را به عنوان یک نیاز جهانی به دلیل فشارهای وارد شده به منابع مطرح شد که شامل بحث در مورد ضرورت‌ها و فرصت‌های مطالعات همبست آب، انرژی و غذا و شکاف‌های دانش در زمینه علم، فناوری و سیاست‌های مربوطه است.

اولین نشست علمی برای شناسایی مفهوم آب، انرژی و غذا (WEF) مربوط به اجلاس بن (Bonn) در سال ۲۰۱۱ با محوریت ارائه شده در شکل ۱ بوده است. از طرفی، در نشست Rio+20 چارچوب همبست امنیت، آب، انرژی و غذا به عنوان راه حلی برای اقتصاد سبز معرفی شد. در اجلاس بن، رویکرد همبست آب، انرژی و غذا به عنوان یک رویکرد جدید با هدف توسعه پایدار پذیرفته شده است [۳].



شکل ۱. محوریت اجلاس بن در سال ۲۰۱۱

فقط یک منبع خاص را به طور مستقل ارزیابی می‌کنند، مانند آب (جیا و همکاران، [۷])، انرژی (هو و همکاران [۸])، یا غذا (ناداراجا و همکاران، [۹]). هدف این مطالعات، پرداختن به مشکل نوع خاصی از منابع است، اما پیوندهای جدایی‌ناپذیر و پیچیده بین آب، انرژی و غذا را نادیده می‌گیرد. به این معنا که ارتقای پایداری منابع آب، انرژی و غذا مستلزم در نظر گرفتن هم‌زمان هر سه زیرسیستم است. از این رو، برخی محققان به‌تازگی کوشیده‌اند تا شاخص‌های ارزیابی جامع‌تری را برای هر سه آب، انرژی و غذا ایجاد کنند [۱۰ و ۱۱] و یا بر بررسی دو بخش تحت عنوان «رابطه پیوندی آب و انرژی» [۱۲ و ۱۳] و یا «رابطه پیوندی آب و غذا» [۱۴-۱۷] متمرکز شده‌اند.

گاهی اوقات ممکن است به همراه رابطه همبستی منابع، مسائل خاصی مانند وضعیت اقتصادی آب و یا منابع دیگر نیز بررسی شود. Lawford و همکاران [۱۸] در سال ۲۰۱۳ برخی عواملی که روی همبست آب، انرژی، غذا و امنیت روی حوضه آبریز تأثیر می‌گذارد را بررسی کرده و نتیجه گرفته‌اند که رویکرد همبست می‌تواند برای پیشبرد مسائل مربوط به آب و پایداری مؤثر باشد. این یافته‌ها بر اساس یک نظرسنجی برای ابتکار جهانی حوضه آبریز (GCI) در پروژه سیستم جهانی آب انجام شد.

Li و همکاران [۱۹] با بهره‌گیری از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM)، شناسایی و تحلیلی روی عوامل درهم‌تنیده در یک همبست آب، انرژی و غذا را در شهر پکن ارائه کردند. بر اساس اهمیت نسبی عوامل، ساختار سلسله‌مراتبی فاکتورها نشان می‌دهد سیستم انرژی در پیوند اصلی سیستم ضروری است و برای ارتقای همبست آب، انرژی و غذا حیاتی است. همچنین، این تحلیل عاملی نشان داد ساختار همبستی به تصویر کشیده شده می‌تواند مراجع ارزشمندی را برای کمی‌سازی و تصمیم‌گیری بیشتر فراهم کند.

Nhamo و همکاران [۲۰] شاخص‌های پایداری همبست آب، انرژی و غذا را تعریف کردند و به این ترتیب، یک مدل تحلیلی برای مدیریت منابع آب، انرژی و غذا به روشی یکپارچه با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به وجود آوردند. این مدل، روابط کمی را بین بخش‌های آب، انرژی و غذا ایجاد می‌کند، و پیوندهای پیچیده بین منابع را در آفریقای جنوبی به عنوان مطالعه موردی، ساده‌سازی

دیدگاه همبست قصد دارد تصمیم‌گیرندگان را با اطلاعات بهتر یا پیچیده‌تر در سه بخش مورد نظر برای تصمیم‌گیری مؤثرتر هدایت کند و در تلاش برای انتقال به اقتصاد سبز است که هدف آن افزایش بهره‌وری منابع و تقویت متقابل سیاست‌ها است [۴].

به طور عملی، رویکرد همبست آب، انرژی و غذا را می‌توان به عنوان رویکردی برای ارزیابی، توسعه و اجرای سیاست‌هایی که به طور هم‌زمان بر امنیت آب، انرژی و غذا تأکید می‌کند، تعریف کرد. این رویکرد به منظور تقویت توسعه پایدار و بهبود کیفیت زندگی جوامع و در ضمن، محافظت از سرمایه‌های طبیعی و اجتماعی برای برطرف کردن مسائل پایداری در درازمدت خواهد بود. در واقع، برای رسیدن به پایداری، جوامع باید ذخایر طبیعی خود را حفظ کرده و حداقل خسارت را به آنها وارد کنند [۵].

این حالت نیازمند رویکردی جامع است که نه تنها امنیت سه سامانه آب، انرژی و غذا را در نظر بگیرد، بلکه اثرات متقابل آنها را نیز در نظر داشته باشد که می‌توانند منجر به هم‌افزایی یا تبادل شوند، بنابراین توجه به تأمین پایدار با لحاظ تمامی جنبه‌های تعامل بین بخشی ضروری است [۶].

از جمله مهم‌ترین همبست‌های بین سامانه‌های آب، انرژی و غذا را به صورت زیر می‌توان بیان کرد:

- آب مورد نیاز برای تولید غذا: انواع آبیاری و کشاورزی.
- آب مورد نیاز برای تولید انرژی: نیروی هیدروالکتریک، سوخت‌های زیستی و سایر موارد تولید انرژی‌های تجدیدپذیر.
- انرژی مورد نیاز برای تولید غذا: برداشت محصول، حمل‌ونقل، آماده کردن، بسته‌بندی و بازاریابی.
- انرژی مورد نیاز برای آب: شیرین کردن آب، تصفیه آب و فاضلاب، توزیع آب و آبیاری

پیشینه تحقیق

تحقیقات زیادی به بررسی ارتباط همبست آب و انرژی و غذا پرداخته که در ادامه به برخی از این مطالعات که در راستای اهداف این مقاله است، اشاره شده است.

مطالعات متعددی در زمینه رابطه همبست آب، انرژی و غذا در جهان انجام شده است، اما بیشتر مطالعات موجود

روابط موجود، امکان اعمال سیاست ها و تحقق اهداف پایداری و امنیت غذایی را فراهم کردند.

عاشوری و همکاران [۲۵] وضعیت شبکه آبیاری را با رویکرد همبست آب، انرژی و غذا و با عدم وابستگی به منابع آب زیرزمینی در شبکه آبیاری قزوین بررسی کردند. نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های مطرح و شاخص کفایت آبیاری نشان‌دهنده وابستگی به شبکه آبیاری مورد مطالعه به آب زیرزمینی بود و طبق تعریف شاخص کفایت آبیاری، شبکه آبیاری از مطلوبیت ضعیف در کفایت آبیاری سطحی برخوردار است. همچنین، در مصرف انرژی نشان داد سوخت دیزل و کود نیترا در مجموع ۶۰ تا ۷۰ درصد از مصرف انرژی را در مزارع به خود اختصاص داده‌اند.

رادمهر و همکاران [۲۶] نقش همبست آب، انرژی و غذا در مدیریت منابع آب زیرزمینی با استفاده از الگوی عامل بنیان چندگانه در دشت نیشابور را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ارزیابی رویکرد پیوندی با استفاده از شاخص ارزیابی همبست آب، انرژی و غذا نشان داد اجرای این رویکرد همراه با در نظر گرفتن منافع ذی‌نفعان می‌تواند به صورت قابل توجهی به بهبود وضعیت منابع آب در دشت نیشابور منجر شود.

از آنجا که رویکرد تجزیه و روش تحلیل سلسله مراتبی، روشی برای مدیریت و تصمیم‌گیری است و در فرایند برنامه‌ریزی از معیار وزن‌دهی در سیستم‌های باز بهره می‌گیرد، این روش ساختار رده‌ای را به منظور ساده‌سازی یک فرایند پیچیده تصمیم به صورت رده‌های اهداف، معیارها، زیرمعیارها و استراتژی‌ها در نظر می‌گیرد. به بیان دیگر، AHP اهرم مؤثری در پیاده‌سازی اصول مدیریت جامع به شمار می‌رود.

کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین است که برای تولید مواد غذایی ضروری است. آب، انرژی و غذا ارتباط نزدیکی با هم دارند، زیرا هم آب و هم انرژی ورودی‌های حیاتی برای تولید غذا هستند. افزایش فشار ناشی از کمبود منابع و افزایش تقاضا برای غذا، نیاز به مدیریت بهینه همبست آب، انرژی و غذا را تقویت می‌کند. عدم قطعیت‌های ناشی از شرایط طبیعی و فعالیت‌های انسانی، تخصیص بهینه را پیچیده می‌کند. همچنین، سامانه همبست آب، انرژی و غذا دارای تعاملات و فرایندهای

می‌کند و مورد مطالعه قرار می‌دهد. سپس، این مدل برای ارزیابی پیشرفت به سمت اهداف توسعه پایدار در آفریقای جنوبی استفاده شده است.

Naidoo و همکاران [۲۱] همراه با تحلیل‌های سیستمی یک مدل تحلیلی همبست آب، انرژی و غذا که خروجی‌های آن به عنوان مبنایی برای توسعه نظریه تغییر، یک طرح کلی برای عملیاتی کردن رویکرد در آفریقای جنوبی ارائه دادند و نشان دادند عملیاتی کردن همبست آب، انرژی و غذا از طریق یک فرایند تعاملی می‌تواند مسیرهای پایدار به سمت امنیت منابع، ایجاد شغل و ثروت، بهبود معیشت و رفاه، و یکپارچگی منطقه‌ای را ایجاد کند.

Namany و همکاران [۲۲] در کشور قطر یک ابزار ارزیابی یکپارچه، بر اساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و همبست آب، انرژی و غذا (WEF Nexus) را برای طراحی یک طرح تصمیم‌گیری استفاده کردند که سیاست‌گذاران را در ایجاد اولویت‌های ملی و استراتژی‌های بخشی راهنمایی می‌کند. شاخص‌های مد نظر امنیت، پایداری و انعطاف‌پذیری بوده‌اند. یافته‌های این تحقیق نشان داد شاخص تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری از نظر حیاتی بر امنیت و پایداری آب، انرژی و غذا برتری دارد، که نشان‌دهنده نیاز به توسعه بیشتر طرح‌های کاهش خطر و استراتژی‌های واکنش است.

Winters و همکاران [۲۳] پایداری جزایر کوچک در حال توسعه در دریای کارائیب را در چارچوب همبست مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که نقش حکمرانی ضعیف و عدم برنامه‌ریزی بلندمدت برای رشد جمعیت، بلایا و تغییرات آب‌وهوایی، استراتژی‌های مدیریت تطبیقی، سرمایه‌گذاری زیرساخت‌ها با تأکید بر راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت، شبکه‌های انرژی غیرمتمرکز با تأکید بر انرژی‌های تجدیدپذیر، و تولید غذای محلی به‌وضوح موانعی برای دستیابی به اهداف پایداری برای جزایر کوچک کارائیب هستند.

شاه محمدی و همکاران [۲۴] ظرفیت موجود منابع آب، انرژی و غذایی تحت سناریوهای مختلف سیاستی و تولید کشاورزی در دشت ورامین که به عنوان یک دشت در معرض چالش‌های جدی در حوزه‌های تأمین آب، انرژی و تولید غذا است را مورد بررسی قرار دادند و با شناخت

ششمین استان کشور است. مقایسه اعداد و ارقام یادشده نشان‌دهنده بالا بودن متوسط عملکرد محصولات زراعی استان نسبت به کشور است، به طوری که استان البرز از نظر عملکرد محصولات زراعی در واحد سطح، رتبه اول را در بین استان‌های کشور به خود اختصاص داده است. مساحت حوضه‌های آبخیز و اراضی کشاورزی، شهری و سطوح بیابان استان البرز ۵۳۴۸۰۹ هکتار است که در تقسیم‌بندی کلی شامل حوضه آبخیز سدهای موجود (سد امیرکبیر)، حوضه آبخیز سد سفیدرود و حوضه آبخیز داخلی است.

روش پژوهش

هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر و روش‌های تخصیص بهینه منابع بر اساس رویکرد همبست آب، انرژی و تولید غذا است، به منظور ارزیابی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر در مرحله اول ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند، ضروری است. سطح یک در سلسله‌مراتبی هدف و سطوح میانی معیارهای مؤثر بر تصمیم‌گیری و سطح آخر، گزینه‌های تصمیم‌گیری هستند (شکل ۲). مهم‌ترین بخش در این مرحله انتخاب معیارها و عوامل مؤثر بر هدف تصمیم است. پس از استخراج گزینه‌ها و معیارهای مورد نیاز در این مطالعه و تهیه پرسشنامه‌ها باید نظرات کارشناسی مورد ارزیابی قرار گیرد. در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی ابتدا عناصر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌شود. سپس، با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی، وزن نسبی عناصر محاسبه می‌شود. درخور یادآوری است که کلیه مقایسه‌ها در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به صورت زوجی انجام می‌گیرد. بر اساس نظرات کارشناسان مختلف دانشگاهی و اجرایی اقدام به ارزیابی گزینه‌ها از طریق ماتریس مقایسه زوجی می‌شود. ترکیب نظرات مختلف از طریق محاسبه میانگین هندسی صورت می‌گیرد. برای مقایسه زوجی عناصر از جدول ۱ استفاده می‌شود که توسط مبتکر روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین شده و قضاوت‌های شفاهی به صورت کمی بین ۱ تا ۹ ارزش‌گذاری شده‌اند. ارجحیت یک گزینه نسبت به خودش مساوی ۱ است.

پیچیده و پویایی هستند، زیرا تغییر هر یک از این بخش‌ها، علاوه بر اینکه روی هر یک از بخش‌های دیگر در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی تأثیر می‌گذارد، عوامل مختلف اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، فنی و محیط زیست نیز متأثر این تغییر است. مدیریت رابطه همبستی با هدف تأمین امنیت آب، انرژی و مواد غذایی مستلزم استفاده از یک روش یکپارچه و یا ابزاری برای آنالیز یکپارچه سیستم است که توانایی شناسایی تعاملات و برهمکنش‌های بین بخش‌های مختلف این سیستم را داشته باشد تا به اهداف برنامه‌ریزی به‌صرفه و مدیریت سیاسی و استراتژیکی ایده‌آل برسد. آنالیز مدیریت رابطه پیوندی آب، انرژی و غذا باید توانایی پاسخ‌گویی به سؤال‌هایی مانند «به طور هم‌زمان، استراتژی مطلوب برای مدیریت آب، انرژی و غذا چیست؟» را داشته باشد، چون تمرکز بر یکی از منابع منجر به خسارت و کاهش منابع دیگر می‌شود [۴].

از آنجا که همبست آب، انرژی و غذا در مدیریت بهینه منابع و همچنین، شناسایی عوامل تأثیرگذار بر آن از موضوعات مهم اخیر است، بررسی ادبیات و پیشینه موضوع، بیانگر فقدان آشکار مطالعات در این زمینه است. بنابراین در مطالعه حاضر، عوامل تأثیرگذار بر مدیریت بهینه منابع با استفاده از نظرات کارشناسان در زمینه مدیریت آب با بهره‌گیری از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند AHP با رویکرد همبست پیشنهاد شده است که از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعه‌شده

استان البرز با وسعتی حدود ۵۱۴۲ کیلومتر مربع با مختصات جغرافیایی بین ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۱۰ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است.

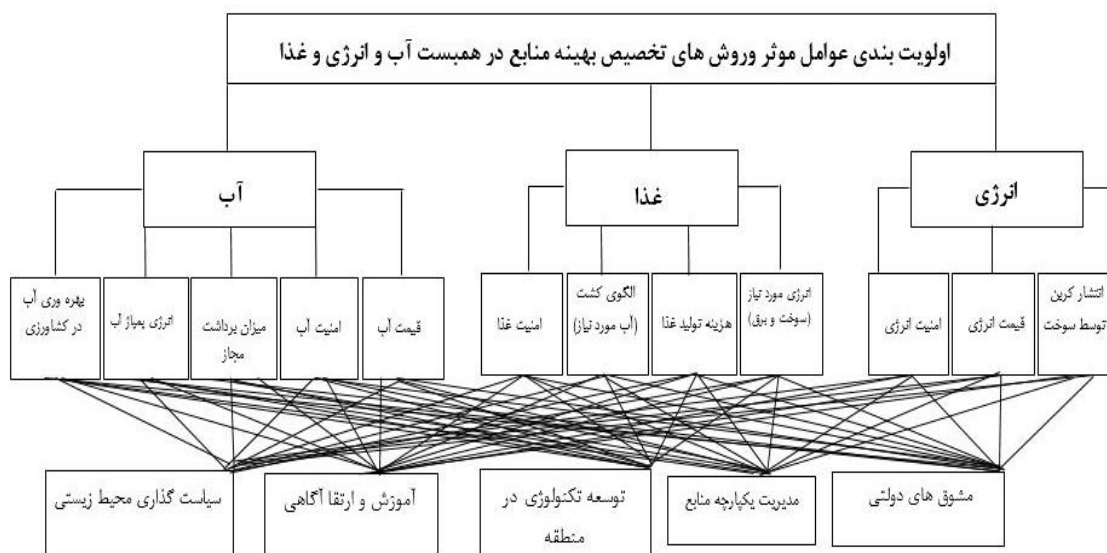
استان البرز با سطح زیر کشت ۳۸۲۴۲ هکتار انواع محصولات زراعی، ۰/۳۳ درصد اراضی زیر کشت زراعی کشور را به خود اختصاص داده و از نظر سطح زیر کشت محصولات زراعی سی و یکمین استان کشور است. میزان تولید محصولات زراعی استان البرز ۹۱۰۸۶۱ تن است که معادل ۱/۱ درصد کل محصولات زراعی کشور است. از نظر میزان تولید محصولات زراعی استان البرز بیست و

بنابراین، اصل معکوس بودن یک گزینه نسبت به دیگری و ارجحیت یک برای یک گزینه نسبت به خودش، دو خاصیت اصلی ماتریس مقایسه‌ای دو به دو در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی هستند. میزان ناسازگاری در روش AHP شاخصی است که سازگاری مقایسه‌ها را نشان می‌دهد. این میزان گویای درجه صحت و دقت ارزش‌گذاری‌ها در مقایسات زوجی است. چنانچه میزان یادشده برابر و کمتر از ۰/۱ باشد، می‌توان ارزش‌گذاری‌ها و مقایسات را خوب و صحیح دانست. با توجه به موضوع و هدف تحقیق، نخست عوامل مؤثر بر مدیریت بهینه منابع با رویکرد همبست در بخش

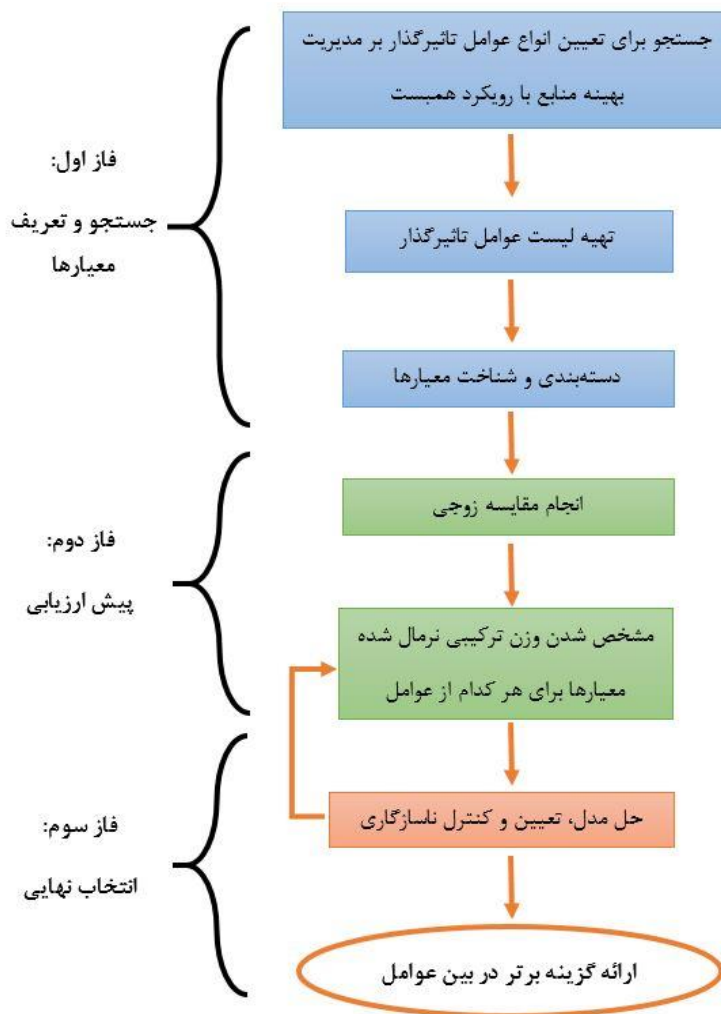
کشاورزی بر اساس تجارب و مطالعات انجام‌شده و با نظر کارشناسان شناسایی و با توجه معیارهای مشخص‌شده، از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و نرم‌افزار Expert Choice برای امتیازدهی استفاده شد. شکل ۳ فلوجارت مراحل تحقیق را با استفاده از Expert Choice نشان می‌دهد. همان‌گونه که اشاره شد، مراحل وزن‌دهی، معیارها و زیرمعیارهای مد نظر در روش AHP در شکل ۲ نشان داده شده است. وزن هر یک از معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی مشخص و در نهایت، معیارهای تأثیرگذار شناسایی شدند.

جدول ۱. ارزش‌گذاری معادل عددی در مقیاس زوجی

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر (Extremely Preferred)
۷	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی (Very Strongly)
۵	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی (Strongly)
۳	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر (Moderately Preferred)
۱	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت یکسان (Equally Preferred)
۸، ۶، ۴، ۲	ترجیحات بین فواصل فوق



شکل ۲. مراحل وزن‌دهی معیارهای مؤثر بر مدیریت بهینه منابع با رویکرد همبست در بخش کشاورزی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی AHP

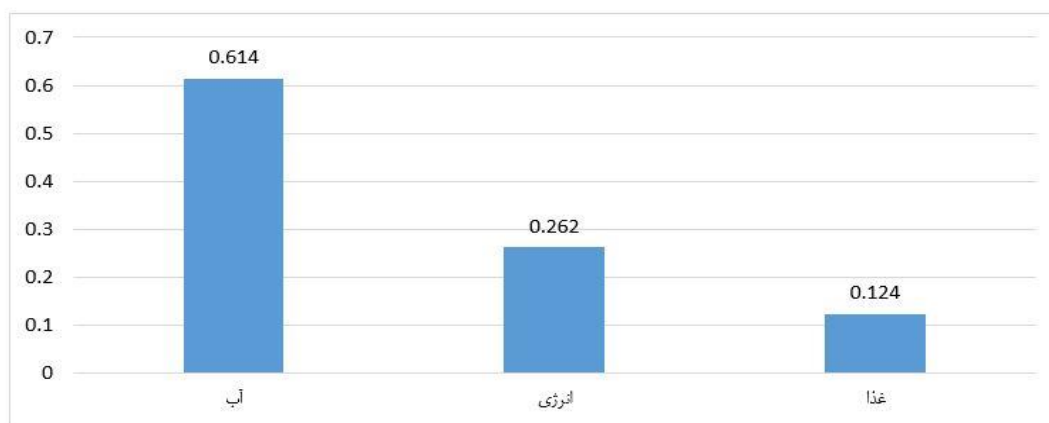


شکل ۳. فلوچارت انجام مدل‌سازی در نرم‌افزار Expert Choice

یافته‌ها

ساخت مدل برای تحلیل سلسله‌مراتبی از سطح صفر یا هدف شروع شده و به سمت سطوح پایین‌تر سلسله‌مراتبی یعنی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها توسعه می‌یابد. از آنجا که وزن معیارها منعکس‌کننده اهمیت آنها در تعیین هدف است، وزن هر گزینه نسبت به معیارها، سهم آن گزینه در معیارهای مربوطه است. در نتیجه، وزن نهایی هر گزینه از مجموع حاصل ضرب وزن هر معیار در وزن گزینه مربوطه از آن معیار به دست می‌آید. در سطح اول هدف مشاهده می‌شود که در اینجا اولویت‌بندی معیارهای تصمیم‌گیری در همبست آب، انرژی و غذا است. در سطح بعدی ۳ معیار همبست (آب و غذا و انرژی) در نظر گرفته شده و در سطح سوم زیرمعیارها در نظر گرفته شده‌اند (شکل ۴ و جدول ۲).

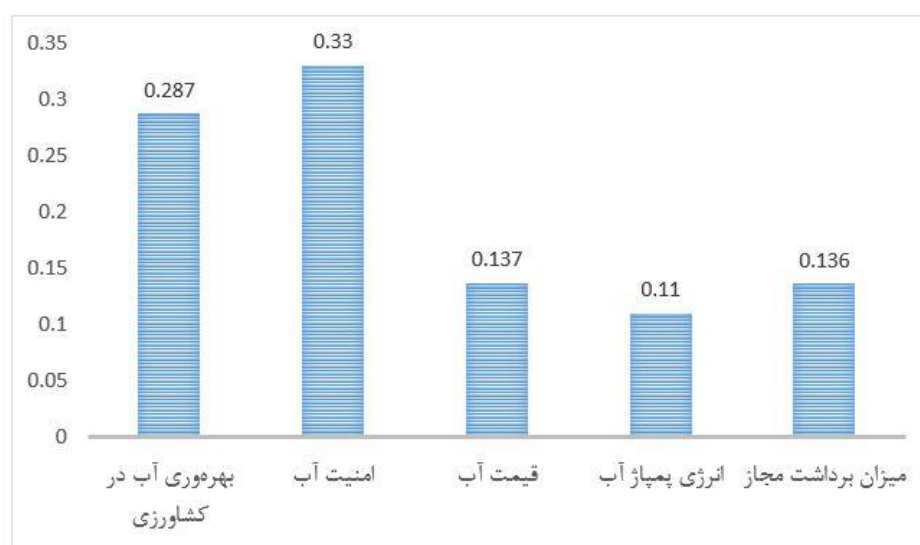
بررسی نتایج و خروجی نرم‌افزار نشان می‌دهد آب بیشترین وزن را در رویکرد همبست به خود اختصاص داده است و بعد از آن، انرژی در رتبه دوم قرار دارد. مطابق شکل ۵ برای معیار آب در امتیازدهی زوجی بیشترین امتیاز مربوط به امنیت آب (در دسترس بودن آب سالم و کافی به همراه به‌صرفه بودن آن) با ۰/۳۳ امتیاز و پس از آن، به میزان بهره‌وری آب در کشاورزی با امتیاز ۰/۲۸۷ است. برای معیار انرژی در امتیازدهی زوجی بیشترین امتیاز مربوط به امنیت انرژی با امتیاز ۰/۴۲۵ است و بعد از آن، قیمت انرژی با امتیاز ۰/۳۸۲ در جایگاه دوم قرار دارد (شکل ۶). برای معیار غذا، امنیت غذا با وزن ۰/۴۱۵ و میزان ناسازگاری ۰/۰۵ بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده است (شکل ۷).



شکل ۴. وزن‌های خروجی معیارها

جدول ۲. ارزش‌گذاری شاخص‌های تأثیرگذار بر هر یک از معیارها در روش AHP

وزن	زیرمعیار	معیار
۰/۲۸۷	بهره‌وری آب در کشاورزی	آب (۰/۶۱۴)
۰/۳۳۰	امنیت آب	
۰/۱۳۷	قیمت آب	
۰/۱۱۰	انرژی پمپاژ آب	
۰/۱۳۶	میزان برداشت مجاز	
۰/۲۵۱	انرژی مجاز (سوخت و برق)	غذا (۰/۱۲۴)
۰/۴۱۵	امنیت غذایی	
۰/۲۰۷	الگوی کشت (آب مورد نیاز)	
۰/۱۲۷	هزینه تولید مواد غذایی	
۰/۳۸۲	قیمت انرژی	انرژی (۰/۲۶۲)
۰/۴۲۵	امنیت انرژی	
۰/۱۹۳	انتشار کربن توسط سوخت	



شکل ۵. تعیین ارجحیت نسبی زیرمعیارهای آب



شکل ۶. تعیین ارجحیت نسبی زیرمعیارهای انرژی

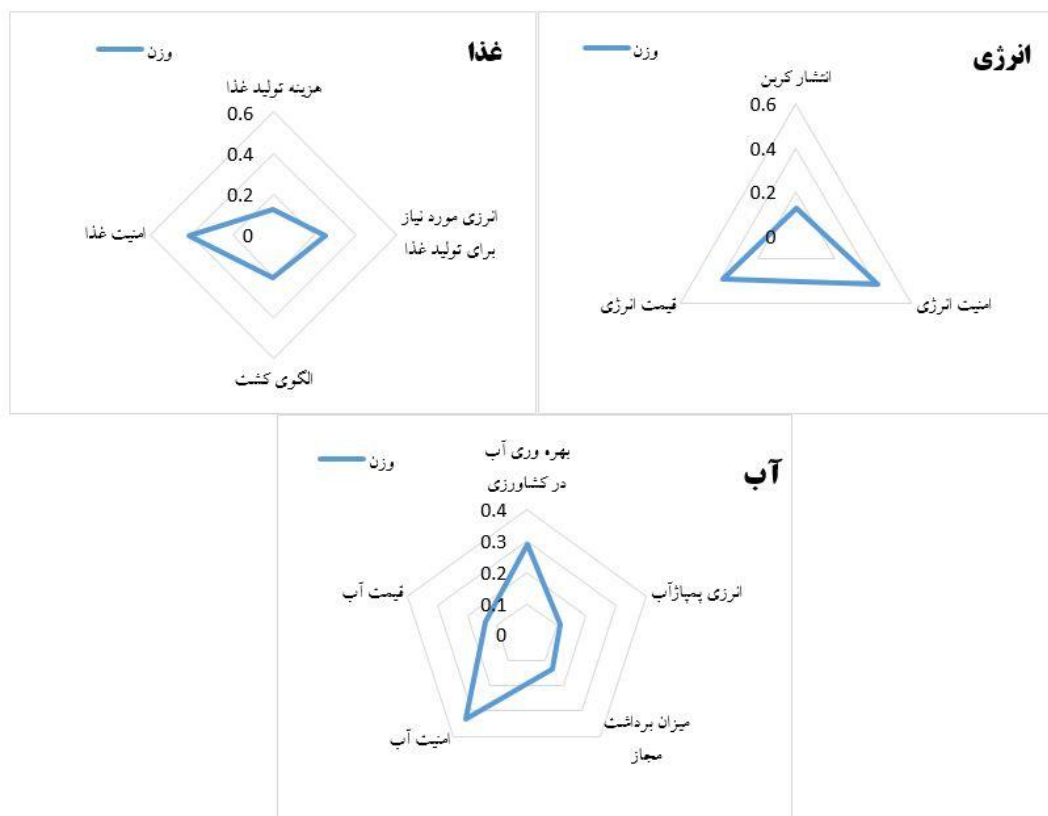


شکل ۷. تعیین ارجحیت نسبی زیرمعیارهای غذا

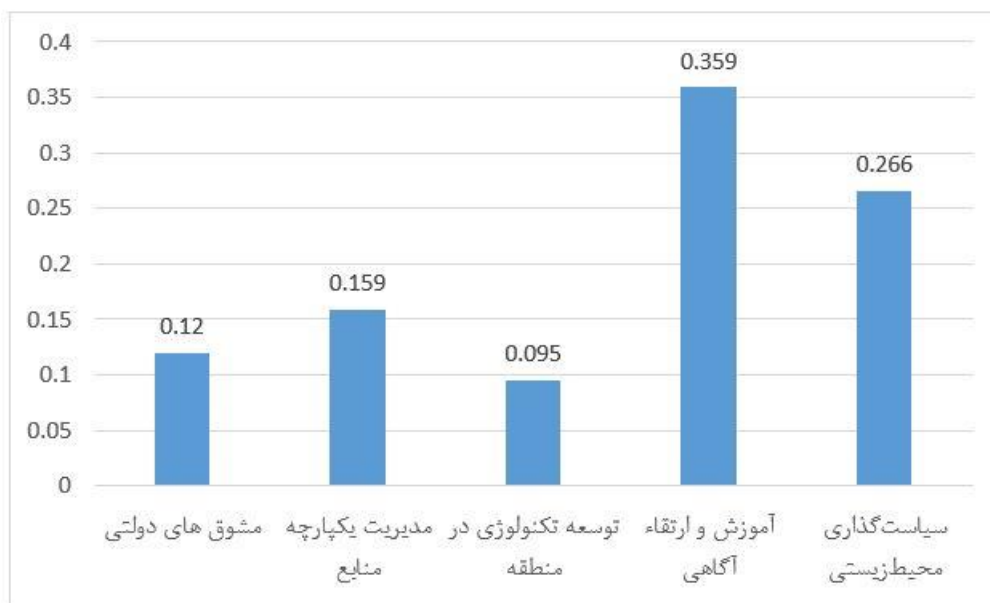
در شکل ۹ مشاهده می‌شود، آموزش و ارتقای آگاهی عمومی و تغییر رفتار مصرف‌کننده به منظور استفاده بهینه از منابع بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده و بعد از آن در جایگاه دوم سیاست‌گذاری محیط زیستی قرار دارد. در مدیریت بهینل منابع نهادهای مدیریتی و سیاست‌گذاری باید هماهنگ با هم فعالیت کنند و ضمن توجه به آموزش و ارتقای آگاهی عموم مصرف‌کنندگان و نهادهای قانون‌گذار به سایر گزینه‌ها نیز توجه داشته باشند.

نتایج معیارهای اصلی سه‌گانه و نیز معیارهای فرعی تحلیل سلسله‌مراتبی نشان می‌دهد در همبست، آب بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داد و نیز امنیت همبست (امنیت آب و غذا و انرژی) نسبت به معیارهای فرعی دیگر از امتیاز و اولویت بیشتری برخوردارند (شکل ۸).

بعد از محاسبه وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها باید وزن نهایی هر یک از گزینه‌های پیشنهادی برای مدیریت بهتر منابع با رویکرد همبست محاسبه شود. همان‌طور که



شکل ۸. مقایسه نتایج ارزش گذاری زیرمعیارها



شکل ۹. ترکیب وزن ها و ارزش گذاری راهکارها برای مدیریت بهینه منابع با رویکرد همبست

تصمیم‌ها را به پیروی از کشورهای دیگر یا بر اساس تجربیات قبلی بدون درک کامل از وضعیت فعلی منابع و فرهنگ بومی اتخاذ کنند و این معمولاً منجر به ناکارآمدی در عملکرد بخش‌ها و به دنبال آن، باعث زیان مالی قابل توجه می‌شود. برای همین در اتخاذ انتخاب‌های اساسی در بخش‌های همبست آب، انرژی و غذا سیاست‌گذاری درست بر پایه آموزش و ارتقای آگاهی اهمیت پیدا می‌کند.

نتایج تحقیق نشان‌دهنده آن است که آموزش و ارتقای آگاهی از مطلوب‌ترین و ضروری‌ترین راهکارها برای مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آب و غذا و انرژی است. از سوی دیگر، واکاوی سایر راهکارها نشان می‌دهد هر یک از آنها در مدیریت بهینه منابع مؤثر هستند. از آنجا که منطقه مورد مطالعه یک منطقه کشاورزی است و ذی‌نفعان کشاورزان هستند، آموزش و ارتقای آگاهی این ذی‌نفعان برای کشاورزی با کمترین آسیب به محیط زیست و بیشترین بهره‌وری در به دست آوردن محصول حائز اهمیت است. همچنین، با بررسی و تحلیل داده‌های پژوهش مشخص شد که سیاست‌گذاری‌های محیط زیستی در راستای کشاورزی پایدار می‌تواند راهکار مؤثری در مدیریت بهینه منابع باشد. نتایج این تحقیق در مورد اهمیت اولویت شاخص‌ها با سایر منابع موجود در این مقاله مقایسه شده و با نتایج مطالعات پیشین [۲۰-۲۲] مطابقت دارد.

در نهایت، پیشنهاد می‌شود با فرهنگ‌سازی درست، آموزش و مطلع کردن کشاورزان در مورد سیاست‌ها و قوانین مربوط به محیط زیست، زیربنای مشارکت فعالانه آنها در زمینه رسیدن به هدف مدیریت بهینه منابع با رویکرد همبست به صورت ساختاری نظام‌مند و برنامه‌ریزی شده فراهم شود.

منابع

- [1]. Dai J, Wu S, Han G, Weinberg J, Xie X, Wu X, et al. Water-Energy Nexus: A Review of Methods and Tools for Macro-Assessment. *Applied Energy*. 2017;811:393-818.
- [2]. Saladini F, Betti G, Ferragina E, Bouraoui F, Cupertino S, Canitano G, et al. Linking the Water-Energy-Food Nexus and Sustainable Development Indicators for the Mediterranean Region. *Ecological Indicators*. 2018;91: 889-892.

با بررسی و تحلیل داده‌های پژوهش، راهکار آموزش و ارتقای آگاهی از کارآمدی مطلوب‌تری برای مدیریت بهینه منابع به شمار می‌رود. از آنجا که اکثریت گروه هدف این مطالعه، کشاورزان هستند، آموزش و ارتقای آگاهی کشاورزان برای بالا بردن سطح بهره‌وری از منابع آب و انرژی و خاک بسیار اهمیت دارد. امروزه، با پیشرفت روزبه‌روز ارقام جدید و واریته‌های محصولات کشاورزی که مقاومت زیادی در برابر تنش‌های آبی و آفات و بیماری‌ها دارند، آموزش و آگاه‌سازی کشاورزان امری مهم است. همچنین، از آنجا که منطقه البرز به دلیل وجود زمین‌های کشاورزی و باغ‌های میوه، منطقه‌ای سرسبز و خوش آب‌وهوا و مفرح محسوب می‌شود، در سال‌های اخیر تغییر کاربری اراضی کشاورزی و از بین رفتن مزارع و باغ‌ها وجود دارد که عدم سیاست‌گذاری مناسب محیط زیستی، منجر به آن شده است. همچنین، سیاست‌گذاری‌های تشویقی مناسب برای ایجاد و توسعه زیرساخت‌های تولیدات گلخانه‌ای برای کاهش خسارت‌ها به محیط زیست، تغییر الگوی کشت منطقه و مدیریت یکپارچه منابع نیاز به هم‌افزایی درونی و انسجام عملکردی برای برنامه‌ریزی بین بخشی در مدیریت سازمانی و نهادهای اجرایی در ساختار نظام برنامه‌ریزی استانی و ملی دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

ارتباطات آب، غذا و انرژی تعدادی از پیچیدگی‌ها، فرصت‌ها و چالش‌هایی را که بین رشته‌ای، متقابل و چندبخشی هستند، نشان می‌دهد. این پیچیدگی‌ها فقط به یک بخش محدود نمی‌شود، بلکه به دلیل وابستگی بین منابع آب، غذا و انرژی هرگونه تعاملات و شوک به یکی از این منابع یک یا چند بخش دیگر را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد. سرمایه‌گذاری دانش و به‌اشتراک‌گذاری مهارت‌ها و تخصص و آموزش و ارتقای آگاهی برای مدیریت بهینه منابع امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

هنگام طراحی و راه‌اندازی یک سیستم همبست، دستیابی به عملکرد بالا در سه بخش آب و غذا و انرژی هدف نهایی است. دستیابی به این عملکرد مستلزم ایجاد استراتژی‌های چندسطحی است که تحقق اهداف ملی را همراه با اهداف میان‌بخشی تضمین می‌کند. در بسیاری از موارد، تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران تمایل دارند که

- [3]. Hoff H. Understanding the nexus. Background paper for the Bonn 2011 Conference: the water, energy and food security nexus. Stockholm Environment Institute. Stockholm. 2011.
- [4]. Cai X, Wallington K, Shafiee-Jood M, Marston L. Understanding and Managing The Food-Energy-Water Nexus – Opportunities for Water Resources Research, *Advances in Water Resources*. 2018;111:859–823.
- [5]. Bizikova L, Roy D, Venema HD, McCandless M, Swanson D, Khachtryan A., et al. Water-Energy-Food Nexus and Agricultural Investment: A Sustainable Development Guidebook. International Institute for Sustainable Development. 2014.
- [6]. Sharifi Moghaddam A, Sadeghi H. Application of water-energy-food correlation in water resources management. National Conference on Water Resources Management Strategies and Environmental Challenges. Sari. 2018;1. [In Persian]
- [7]. Jia Z, Cai Y, Chen Y, Zeng W. Regionalization of water environmental carrying Capacity for supporting the sustainable water resources management and development in China. *Resources, Conservation and Recycling*. 2018;134:282–293.
- [8]. Hou X, Lv T, Xu J, Deng X, Liu F, Pi D. Energy sustainability evaluation of 30 Provinces in China using the improved entropy weight-cloud model. *Ecological Indicators*. 2021;126:107657.
- [9]. Nadaraja D, Lu C, Islam MM. The Sustainability Assessment of Plantation Agriculture—A Systematic Review of Sustainability Indicators. *Sustainable Production and Consumption*. 2021;26:892–910.
- [10]. Cansino-Loeza B, Sánchez-Zarco XG, Mora-Jacobo EG, Saggiante-Mauro FE, González-Bravo R, Mahlkecht J, et al. Systematic Approach for Assessing the Water–Energy–Food Nexus for Sustainable Development in Regions with Resource Scarcities. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2020;8(36):13734–13748.
- [11]. Guerra JBSO, de A, Berchin II, Garcia J, Neiva S, da S, et al. A literature-based study on the water–energy–food nexus for sustainable development. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2021;35(1),95–116.
- [12]. Basheer M, Elagib NA. Sensitivity of Water-Energy Nexus to dam operation: A Water-Energy Productivity concept. *Science of the Total Environment*. 2018;616–617:918–926.
- [13]. Dale AT, Bilec MM. The Regional Energy & Water Supply Scenarios (REWSS) Model, Part II: Case studies in Pennsylvania and Arizona. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2014;7:237–746.
- [14]. Grafton RQ, Williams J, Jiang Q. Food and water gaps to 2050: preliminary results from the global food and water system (GFWS) platform. *Food Security*. 2015;7:209–220.
- [15]. Blanco M, Van Doorslaer B, Britz W. Assessing Agriculture-water Relationships: a Pan-European Multidimensional Modelling Approach. 126th Seminar, European Association of Agricultural Economists, Italy. 2012. 126th Seminar, June 27-29, 2012, Capri, Italy from European Association of Agricultural Economists.
- [16]. Liu J, Williams JR, Zehnder AJB, Yang H. GEPIC—modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale. *Agricultural Systems*. 2007;94:478–493.
- [17]. Amarasinghe U. PODIUMSIM: CPSP Report10 Country Policy Support Program. International Commission on Irrigation and Drainage. New Delhi: India; 2005.
- [18]. Lawford R, Bogardi J, Marx S, Jain S, Pahl Wostl C, Knappe K, et al. Basin perspectives on the Water–Energy–Food Security Nexus. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2013;5(6):607-616.
- [19]. Li G, Huang D, Sun C, Li Y. Developing interpretive structural modeling based on factor analysis for the water-energy-food nexus conundrum. *Science of the Total Environment*. 2019;651(1):309-322.
- [20]. Nhamo L, Mabhaudhi T, Mpandeli S, Dickens C, Nhemachen C, Senzanje A, et al. An integrative analytical model for the water-energy-food nexus: South Africa case study *Environmental Science and Policy*. 2020;109:15–24.
- [21]. Naidoo D, Nhamo L, Mpandeli S, Sobratee N, Senzanje A, Liphadzi S, et al. Operationalising the water-energy-food nexus through the theory of change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021;149:111416.
- [22]. Namany S, Govindan R, Martino MD, Pistikopoulos EN, Linke P, Avraamidou S, et al. An Energy-Water-Food Nexus-based Decision-making Framework to Guide National Priorities

- in Qatar. *Sustainable Cities and Society*. 2021;75:103342.
- [23]. Winters ZS, Crisman Thomas L, Dumke David T. Sustainability of the Water-Energy-Food Nexus in Caribbean Small Island Developing States. *Water*. 2022;14:322.
- [24]. Shahmohammadi A. Assessing and explaining the status of water, energy and food linkages in Varamin plain Analysis of amplifications and exchanges under different climatic and agricultural scenarios. PhD Thesis, Shahid Beheshti University, Research Institute of Environmental Sciences. 2018. [In Persian]
- [25]. Ashuri V. Assess the status of the irrigation network with the approach of water, energy and food link index. Master Thesis, Department of Irrigation and Drainage Engineering, University of Tehran, Abu Reihan Campus. 2020. [In Persian]
- [26]. Radmehr R. Evaluating the role of water, energy and food linkage in groundwater resources management using multiple factor model in Neishabour plain. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. 2021. [In Persian]