

بررسی همبست آب، انرژی و غذا با رویکرد پویایی سیستم‌ها؛

مطالعه موردی دشت ورامین

علیرضا شاه‌محمدی^۱، کوروس خوشبخت^{۱*}، هادی ویسی^۱ و محمدرضا نظری^۲

^۱ گروه آگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ گروه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

سابقه و هدف: تغییرات اقلیمی و اکوسیستمی در هماهنگی با عواملی چون رشد جمعیت و مدیریت نادرست منابع، بسیاری از الگوهای مدیریت منابع طبیعی را به چالش کشیده است. تغییرات گسترده منجر به دگرگونی‌های محیط‌زیستی شده است که مدیران را ملزم به ارزیابی مدیریت و اقدامات خود می‌کند. دگرگونی‌های اکولوژیکی نوع شدیدی از تغییرات برگشت‌ناپذیر هستند که ترکیب جامعه و عملکرد اکوسیستم را به صورت تدریجی و پیوسته تحت تأثیر قرار می‌دهند. هدف از این تحقیق شناخت روابط همبست آب، انرژی و غذا در دشت ورامین به روش مدل ذهنی و پویایی همبست آب، انرژی و غذا تحت سناریوهای سیاستی بود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق با استفاده از مدل‌سازی ذهنی ذینفعان دشت ورامین و متخصصان دانشگاهی نسبت به شناخت روابط مدل همبست آب، انرژی و غذا اقدام شد. سپس با استفاده از مدل پویایی سیستم‌ها تعیین روابط علت و معلولی بین متغیرها، کمی کردن متغیرها صورت گرفت. داده‌های مربوط به مدل ذهنی از طریق گفتگو و مشارکت با کشاورزان و مدیران منطقه به وسیله نرم‌افزار Mental Modeler جمع‌آوری گردید. داده‌های مربوط به مدل پویایی همبست نیز از طریق سازمان‌ها، ذینفعان منطقه و مقالات معتبر جمع‌آوری و در نرم‌افزار Vensim شبیه‌سازی شد.

نتایج و بحث: نتایج مدل‌سازی پویایی همبست نشان داد وضعیت منابع آب سطحی، حجم آبخوان و امنیت آبی دشت طی دوره ۲۰ سال به ترتیب برابر با ۱۵۸ میلیون مترمکعب، ۲۷۰۰ میلیون مترمکعب و ۱۶۲- میلیون مترمکعب خواهد بود؛ که نشان از کاهش منابع در مقایسه با وضعیت پایه دارد. اعمال سناریوهای تخصیص نیاز محیط‌زیستی تالاب بندعلیخان نشان داد دشت توان اکولوژیکی برای تخصیص آب به تالاب نخواهد داشت به طوری که در ۲۰ سال آینده امنیت آبی دشت به ۱۸۰- میلیون مترمکعب می‌رسد. همچنین اعمال سناریو افزایش راندمان آبیاری بدون افزایش سطح زیر کشت از ۵۸ درصد به ۷۰ درصد در بهبود کاهش تقاضای آب کشاورزی و

* Corresponding Author: Email Address: kkhoshbakht@sbu.ac.ir

افزایش سطح کشت مؤثر بود. افزایش سطح زیر کشت نیز تا مقدار ۴۱۶۰۰ هکتار اثر مثبت بر تقاضای آب کشاورزی داشت اما بیش از این مقدار سبب افزایش فشار منابع آبی گردید.

نتیجه‌گیری: بررسی نتایج و روند مقایسه داده‌ها نشان داد طی دوره ۲۰ ساله، دشت ورامین وضعیت نامطلوبی در زمینه منابع آب و تولید غذا خواهد داشت. مدیریت منابع دشت ورامین نیازمند تغییر در باورها و ارزش‌های سازمانی، کشاورزی و توسعه‌ای دارد. توسعه سیستم‌های خورشیدی به‌منظور تأمین نیاز انرژی، راه‌اندازی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان ورامین و توسعه تصفیه‌خانه جنوب تهران، حرکت به سمت فشرده‌سازی پایدار در ایجاد پایداری منابع دشت به‌منظور بهره‌برداری صحیح منابع مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: امنیت آب، پویایی سیستم‌ها، فشرده‌سازی پایدار، مدل ذهنی، منابع آب زیرزمینی.

مقدمه

امروزه جهان با سیستم‌های پیچیده، عوامل خارجی نامعلوم و مخاطرات بالا در معرض آسیب‌های جدی قرار گرفته است؛ که نیازمند درک و شناخت بهتر روابط متقابل سیستم‌های منبع و کنار هم قرار دادن روابط پیچیده در فرآیند تصمیم‌گیری جهت تخصیص منابع است. سیستم‌های کشاورزی به‌منظور تولید غذا و رفع مسئله امنیت غذایی وابسته به منابع انرژی و آب هستند. در نتیجه این وابستگی متقابل باعث شکل‌گیری همبستگی آب، انرژی و غذا (WEF) شده است. از زمان انقلاب صنعتی گرایش‌ها به بهره‌برداری از منابع طبیعی از ظرفیت‌های محیط‌زیستی فراتر رفته است؛ و منجر به ایجاد تغییر در پویایی منابع جهانی و ملی تا نقطه نزدیک شدن یا حتی پیشی گرفتن از مرزهای سیاره‌ای شده است (Erb *et al.*, 2012). تحقیقات نشان می‌دهد ۲۰ درصد کاهش در منابع آبی تا سال ۲۰۷۰ رخ می‌دهد و میزان زمین‌های سطحی تحت تنش آبی از ۱۹ درصد به ۳۵ درصد افزایش می‌یابد (Pakmehr *et al.*, 2020). علاوه بر این، اختلالات در چرخه هیدرولوژیکی به‌طور قابل‌توجهی بر کیفیت آب و در دسترس بودن یا کمبود آب تأثیر می‌گذارد (Denicola *et al.*, 2015). طبق برآوردهای سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد^۱، بخش کشاورزی برای تأمین نیاز بشر تا سال ۲۰۵۰ باید تولیدات خود را تا ۵۶ درصد افزایش دهد (FAO, 2021). این در صورتی است که انتشار جهانی CO₂ ناشی از احتراق انرژی و فرآیندهای صنعتی در سال ۲۰۲۱ به بالاترین سطح سالانه خود رسیده است؛ به‌طوری‌که انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش ۶ درصدی نسبت به سال ۲۰۲۰ داشته است (Newell *et al.*, 2021). همچنین بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی مقدار مصرف انرژی تا سال

^۱ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

۲۰۳۵ حدود ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (FAO, 2014). بر اساس پیش‌بینی‌های سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد تا سال ۲۰۵۰ حدود ۱۰ درصد مصرف آب آبیاری نیز افزایش خواهد داشت. طبق آمار تعداد افراد دارای سوء‌تغذیه در ایران نزدیک به ۶ درصد جمعیت کل کشور است (FAO, 2019). بیلان منفی آب در ۴۰۰ دشت ایران، کاهش بارندگی‌ها و افزایش دما، ناترازی در بخش انرژی و تأمین امنیت غذایی بخش از مشکلات پیش روی جامعه ایران است. این مسائل به معنی مدیریت نادرست و عدم توازن در بخش عرضه و تقاضای منابع است؛ بنابراین تضمین فراهمی منابع WEF در راستای نیل به اهداف پایداری و امنیت غذایی باید با یک دیدگاه یکپارچه و با کمترین آسیب به محیط‌زیست مدیریت شود؛ به طوری که در تخصیص منابع مدیریت یکپارچه به جای بخشی‌نگری جایگزین شود (Rule, 2022). Dehghani *et al.* (2020) در ارزیابی سناریوهای تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب در راستای مدیریت یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از مدل WEAP[‡] نشان داد در صورتی که دشت ورامین در صورت ادامه وضعیت فعلی در ۲۰ سال آینده قادر به تأمین ۱۶/۲ و ۲۷/۴ درصد از نیازهای آبی بخش‌های کشاورزی و صنعت نیست. همبست WEF در ابداع راهکارهای پایدار و درک دانش مدیریت محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران مؤثر است. درک و شناخت منابع باید مبتنی بر رفتارهای اجتماع و مشارکت تمام ذینفعان مرتبط با سه منبع WEF باشد. یکپارچه‌سازی منابع و مدیریت منابع محیطی در راستای کمک به هم‌افزایی و کاهش تضادها و ناهماهنگی‌های میان آن‌ها است (Benson *et al.*, 2015; Gain *et al.*, 2015). تغییرات اقلیمی و اکوسیستمی در هماهنگی با عواملی چون رشد جمعیت و مدیریت نادرست منابع، بسیاری از الگوهای مدیریت منابع طبیعی را به چالش کشیده است. تغییرات گسترده منجر به دگرگونی‌های محیط‌زیستی شده است که مدیران را ملزم به ارزیابی مدیریت و اقدامات خود می‌کند (Schuurman *et al.*, 2020). دگرگونی‌های اکولوژیکی نوع شنیدنی از تغییرات برگشت‌ناپذیر هستند که ترکیب جامعه و عملکرد اکوسیستم را به صورت تدریجی و پیوسته تحت تأثیر قرار می‌دهند. (Schuurman *et al.*, 2021; Williams *et al.*, 2020). مدل‌های ذهنی سازه‌های ذهنی شکل‌گرفته‌ای هستند که افراد برای حل مشکلاتی که با آن‌ها مواجه می‌شوند از آن‌ها استفاده می‌کنند (Jones *et al.*, 2011). درک فردی از اکوسیستم‌ها، منابع و روابط انسان و محیط برای فهم و برخورد با مسائل موردپذیرش بسیاری از محققان قرار گرفته است (Hajjar and Kozack, 2015; Santo *et al.*, 2017). بنابراین وجود یا عدم وجود مشکل در یک اکوسیستم قضاوت ذهنی است که تحت تأثیر ارزش‌ها، ادراکات و اهداف مختلف قرار دارد (Hobbs, 2016). (Nyam *et al.*, 2022) در تحقیقی با عنوان

‡ Water Evaluation and Planning System

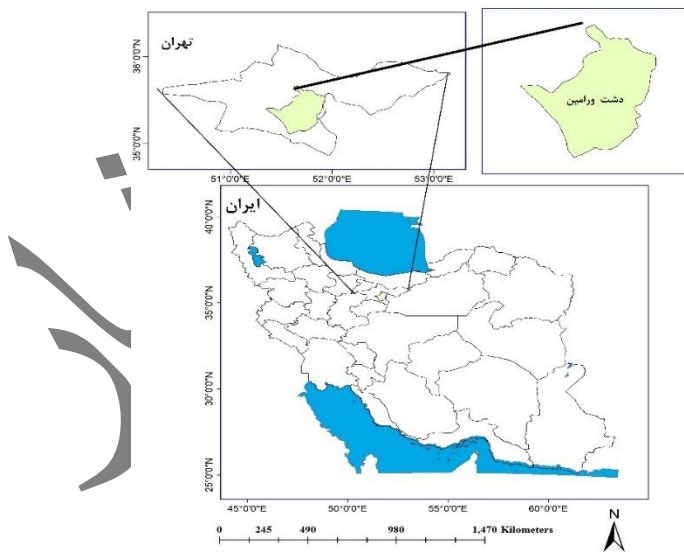
شناسایی الگوهای رفتاری سیستم‌های دوگانه آب-کشاورزی با استفاده از الگوهای بدوی سیستم و بررسی مدل ذهنی^۵ دینفغان نشان دادند؛ چهار اصل محدودیت‌های رشد، رفع شکست، تغییر مسئولیت و اصل جذابیت پیامدهایی برای سیاست‌های فعلی آب و توسعه کشاورزی در آفریقای جنوبی به همراه داشت. ساخت و تحلیل مدل به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا متغیرهای مفهومی در سیستم‌های محیط‌زیستی درک شود؛ و عدم اطمینان کاهش یابد. از مدل‌های ذهنی می‌توان به منظور ایجاد رابطه بین عناصر یک تصور ذهنی و محاسبه قدرت تأثیر عناصر یک سیستم، درک پویایی سیستم استفاده کرد (Henly et al., 2015). (Wang et al., 2023) یک مدل پویایی سیستم برای شبیه‌سازی و توسعه سیستم همبست WEF و سیستم اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی در استان هونان چین نشان دادند استان هونان مازاد تولید غلات خواهد داشت و در وضعیت خودکفایی در منابع آبی قرار خواهد گرفت اما از منظر امنیت انرژی وضعیت مناسبی نخواهد داشت. درک تعاملات پویا و مکانیسم‌های بازخورد در میان عوامل هیدرولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی برای برنامه‌ریزی راهبردی و مدیریت منابع آب بسیار مهم است (Sun and Yang, 2019). مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استفاده شده است (Karimlou et al., 2020). مدل پویایی سیستم‌ها می‌تواند اجزای هیدرولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی و همچنین اقدامات مدیریتی تحت سناریوهای اقلیمی و غیر اقلیمی را در یک مدل جامع برای درک رفتار پویایی سیستم‌های پیچیده و پاسخ آن‌ها به مداخلات در طول زمان ترکیب و تجزیه و تحلیل کند (Phan et al., 2018). هدف این تحقیق بررسی روابط بین منابع آب، غذا و انرژی در دشت ورامین و اثر سناریو افزایش راندمان آبیاری و نیاز محیط‌زیستی بر روابط موجود در دشت ورامین بود؛ بنابراین شناخت از همبست آب، انرژی و غذا توانایی ما در ابداع استراتژی‌های درازمدت و پایدار را افزایش می‌دهد و به هم‌افزایی و کاهش تضادها و ناهماهنگی‌های در مدیریت یکپارچه منابع کمک می‌کند (Benson et al., 2015).

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

⁵ Mental Model

دشت ورامین در ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی تهران و در حاشیه شمال غربی کویر مرکزی و بین طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه ۴۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه واقع شده است (شکل ۱). طبق آمار اراضی دشت ورامین در حدود ۳۴ هزار هکتار است؛ که تقریباً ۵۰ درصد مساحت دشت زیر کشت دو محصول گندم و جو است. کل تولیدات زراعی و باغی دشت ورامین حدود ۵۰۰ هزار تن در سال است که نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی ایران به‌ویژه استان تهران دارد (Ministry of Agricultural Jihad, 2020). میانگین بارندگی سالانه دشت ورامین معادل ۱۷۲ میلی‌متر و تبخیر آن معادل ۲۴۳۹ میلی‌متر در سال است (Valivand and Katibeh, 2022). وجود ۳ هزار چاه عمیق و نیمه عمیق در دشت ورامین این دشت را با کسری مخزن ۷۹- میلیون مترمکعب روبه‌رو کرده است (Ahmadi *et al.*, 2021). طبق گزارش‌های معاونت فنی سازمان محیط‌زیست ایران، دشت ورامین سالانه ۳۶ سانتی‌متر نشست می‌کند. روند خشک‌سالی دشت ورامین بر حادثر شدن شرایط حاکم بر منطقه با پیش‌بینی افزایش ۱/۳ درجه‌ای دما، تغییر در الگوی بارش و تغییرات میزان شاخص خشکی گزارش شده است (Azizi *et al.*, 2021). بنابراین مطالعه همبست در دشت ورامین با توجه به تأمین امنیت غذایی ایران به‌ویژه استان تهران و همچنین وجود مشکلات عدیده در زمینه آب، توسعه پایدار و بخشی‌نگری در مدیریت منابع آب، انرژی و غذا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.



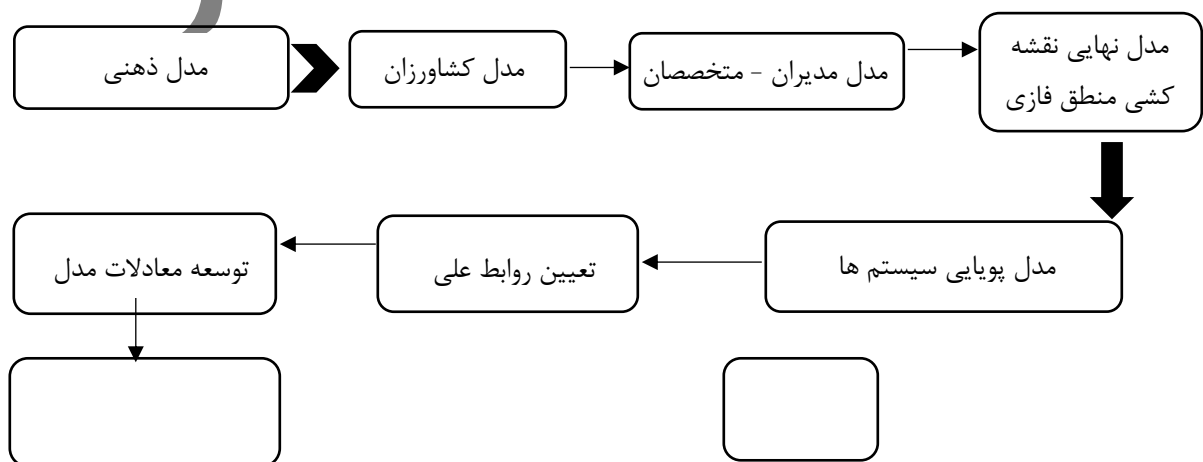
شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

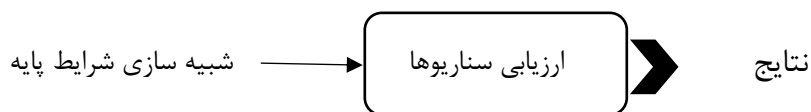
Fig. 1- Area of study

اولین تعریف مدل ذهنی توسط Craik (1943) انجام گرفت به گونه‌ای که افراد درک خود را از دنیای اطراف به هنگام سفر از طریق زمان و فضا تغییر دادند (Treur and Ments, 2022). مدل‌های ذهنی سازه‌های مهمی برای درک تفسیر انسان از دنیای خارجی هستند که بر تصمیمات و رفتارها تأثیر می‌گذارند. نقشه‌برداری شناختی منطق فازی** یک فرم پیچیده از جمع‌آوری داده‌ها است که مکانیک تحلیلی آن مبتنی بر بررسی ساختار و عملکرد نقشه‌های مفهومی است (Gray et al., 2014). در این تحقیق از روش نقشه‌برداری شناختی منطق فازی با استفاده از بازنمایی باورهای ذینفعان استفاده شد. نقشه‌برداری شناختی منطق فازی نسخه‌های ساختاری و پارامتری از نقشه‌های مفهومی هستند که علت مستقیم و غیرمستقیم را نشان می‌دهند؛ این نقشه‌ها ترکیبی از جنبه‌های منطق فازی، شبکه‌های عصبی، شبکه‌های معنایی و سیستم‌های دینامیکی غیرخطی است (Glykas, 2010). این نشان‌دهنده سهم و جریان روابط بر اساس باورهای فردی یا گروهی است (Gray et al., 2014). مشارکت در یک سلسله‌مراتب از سطح مدل‌های ذهنی فردی شروع می‌شود و به سطح سیستم‌ها بسط پیدا می‌کند (Jones et al., 2009). در این تحقیق با استفاده از فرآیندهای مشارکتی گروه‌هایی به‌عنوان ذینفع انتخاب شدند. دو گروه مشارکت‌کننده به‌عنوان کشاورزان و مدیران - متخصصان انتخاب شدند. دو جلسه گفتگو محور با گروه کشاورزان و مدیران - متخصصان برگزار شد. تعداد افراد شرکت‌کننده گروه کشاورزان و مدیران - متخصصان به ترتیب ۳۰ و ۲۰ نفر بود که موضوع اصلی تحقیق و فرآیند مشارکت کشاورزان و اهداف تحقیق شرح داده شد. استفاده از کشاورزان به‌منظور شناخت دانش آنان از همبست WEF و بیان جریان‌ات مرتبط با همبست و همچنین مشارکت مدیران - متخصصان به‌منظور آگاهی دادن و افزایش بینش کشاورزان نسبت به رویکردها و کارکردهای کشاورزی دشت ورامین و بازنگری مدل اولیه بود. برای تسهیل یادگیری اجتماعی و برنامه‌ریزی مشارکتی، از نرم‌افزار مبتنی بر نقشه‌کشی شناختی به نام مدل‌سازی ذهنی استفاده شد؛ بنابراین به‌طور منسجم درک جمعی در سراسر فرآیند، اصلاح و بازبینی شد. در مرحله دوم مدل ذهنی گروه کشاورزان در اختیار گروه مدیران - متخصصان قرار گرفت تا با استفاده از دانش شناختی تکمیل گردد. ادغام دو مدل در یک مدل واحد به‌منظور ایجاد نمایشی از پویایی سیستم انجام شد؛ که شامل باورها و روابط هر دو گروه است (Gray et al., 2014). در نتیجه مدل نهایی نقشه‌کشی شناختی منطق فازی به نرم‌افزار Vensim به‌منظور تعیین روابط کمی پویایی سیستمی وارد شد. تفکر پویایی سیستم‌ها یک روش مدل‌سازی مبتنی بر تفکر سیستمی با تأکید بر قیدها و بازخوردها است؛ که برای تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی مسائل پیچیده و ارزیابی پیامد سیاست‌گذاری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این

** Fuzzy-Logic Cognitive Mapping

روش در سال ۱۹۵۰ در دانشگاه MIT آمریکا و توسط Forrester ایجاد شد (Phan et al., 2018). اگرچه درک سیستم‌ها ثابت نبوده است و بین درک بوم‌شناختی و پاسخ‌های مدیریتی تأخیر وجود دارد اما مشاهدات و پیش‌بینی‌های کنونی ضرورت تغییر ژرف در نحوه درک و رویکرد ذینفعان و مدیران را به‌منظور تخصیص صحیح منابع فراهم کرده است (Rosenbaum, 2022). پویایی سیستم‌ها با الگوبرداری از جنبه‌های مختلف یک مسئله، روشی مؤثر برای تجزیه و تحلیل یک سیستم است (Ahmadvand et al., 2014). این رویکرد می‌تواند نتایج نامشخص یا غیرمنتظره یک تصمیم را روشن و به ما در درک سیستم‌های پیچیده کمک کند (Khoshneshin and Bastan, 2014). همچنین ممکن است برای آزمایش سناریوهای مختلف با دیدگاه سیستمی از مشکل استفاده شود (Ravar et al., 2020). مدل مفهومی توسعه یافته برای شبیه‌سازی همبست WEF در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است (شکل ۲). مدل همبست WEF که برای منطقه مورد مطالعه توسعه داده شده است از روابط به‌هم‌پیوسته برای مدل‌سازی زیرسیستم‌های آب، کشاورزی و انرژی و تعاملات آن‌ها تشکیل شده است. مدل شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Vensim ساخته شد و دوره شبیه‌سازی یک دوره ۲۰ ساله در نظر گرفته شد. معادلات حاکم در هر زیرسیستم بر اساس معادلات پایه رویکرد پویایی سیستم‌ها و نمودارهای حلقه علی هر زیرسیستم با استفاده از روابط و بازخوردهای مثبت و منفی ایجاد شد (شکل ۳). گذار به پایداری نیازمند اقدامات یکپارچه برای تغییر مؤثر است. چنین اقداماتی شامل نقشه‌برداری از مشکلات، با هدف کاهش ناکارآمدی‌ها در سیستم و سازمان‌دهی مجدد زنجیره‌های تولید در بخش‌های دیگر است (Soares Dal Poz et al., 2022). در سیستم‌های تولید مواد غذایی، گذار به پایداری شامل راهکارهایی است که باید از برخی ساختارها یا اصول تشکیل شوند. چنین راهکارهایی به درک و مدیریت سیستم‌های بسیار پیچیده نیاز دارند و برای این کار معمولاً از ابزارهای غیر سنتی استفاده می‌کنند. نمونه‌ای از ابزار غیر سنتی در کشاورزی، مدل‌سازی پویایی سیستم است که به‌طور گسترده در مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده برای درک روابط متقابل بین اجزا استفاده می‌شود (Bala et al., 2017).





شکل ۲- فلوجارت مراحل انجام پژوهش

Fig. 2- Flowchart of research steps

زیرسیستم آب

کشاورزی دشت ورامین وابسته به عرضه آب سطحی و زیرزمینی است در نتیجه منابع آب سطحی دشت از طریق رودخانه شور از شمال غرب، رودخانه جاجرود از شمال شرق از طریق سد ماملو در دسترس قرار می‌گیرد (جدول ۱). از طرفی دیگر پساب حاصل از تصفیه‌خانه جنوب تهران به‌عنوان یک منبع آب سطحی نیز وارد دشت ورامین می‌شود (Ahmadi *et al.*, 2021). بارش دشت نیز با تأمین نیاز آبی گیاه و همچنین ایجاد رواناب در تأمین آب مؤثر است. بر اساس گزارش وزارت نیرو کل مقدار مجموعه ورودی آب‌های سطحی معادل ۳۴۰ تا ۳۸۵ میلیون مترمکعب است. مصرف آب زیرزمینی در دشت ورامین معادل ۴۶۰ میلیون مترمکعب است که از این میزان تخلیه، ۶۵ / ۴۵۰ میلیون مترمکعب مرتبط با ۲۰۰۱ چاه عمیق و ۱۰۴۹ چاه نیمه عمیق است (Azizi and Nejatian, 2019). تأمین آب زیرزمینی دشت ورامین از طریق نفوذ آب‌های سطحی، آب برگشتی و جریان ورودی از مرز آبخوان تأمین می‌شود و حجم استاتیک آبخوان دشت ورامین معادل ۴۰۰۰ میلیون مترمکعب است (Azizi and Nejatian, 2019). از مجموع آب‌های زیرزمینی، ۶۸ میلیون مترمکعب در بخش شرب، ۱۶ میلیون مترمکعب در بخش صنعت و ۷۵۹ میلیون مترمکعب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (Ministry of Energy, 2021).

در این بخش از سیستم کل منابع آب سطحی از معادله (۱) به دست آمد.

$$SWS = (R + SHr + SRW + DWf + Ef) - (P + EV + WSW) \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله منابع آب سطحی (SWS)، رواناب (R)، رودخانه شور (SHr)، آب برگشتی سطحی (SRW)، جریان آب سد ماملو (DWf)، پساب (Ef)، نفوذ به آب زیرزمینی (P)، تبخیر (EV) و برداشت از منابع آب سطحی (WSW) است. میزان

انتقال آب از سد ماملو به دشت ورامین سالانه به میزان ۵۰ میلیون مترمکعب در سال است که در سال‌های اخیر به دلیل کاهش ذخیره سد و همچنین اختصاص به آب شرب شرق و جنوب شرقی استان تهران با کاهش مواجه شده است. از سویی دیگر میزان انتقال پساب از طریق کانال روباز به سمت دشت ورامین معادل ۱۲۰ میلیون مترمکعب گزارش شده است.

مقدار آب وردی به منابع آب زیرزمینی نیز از معادله (۲) به دست آمد.

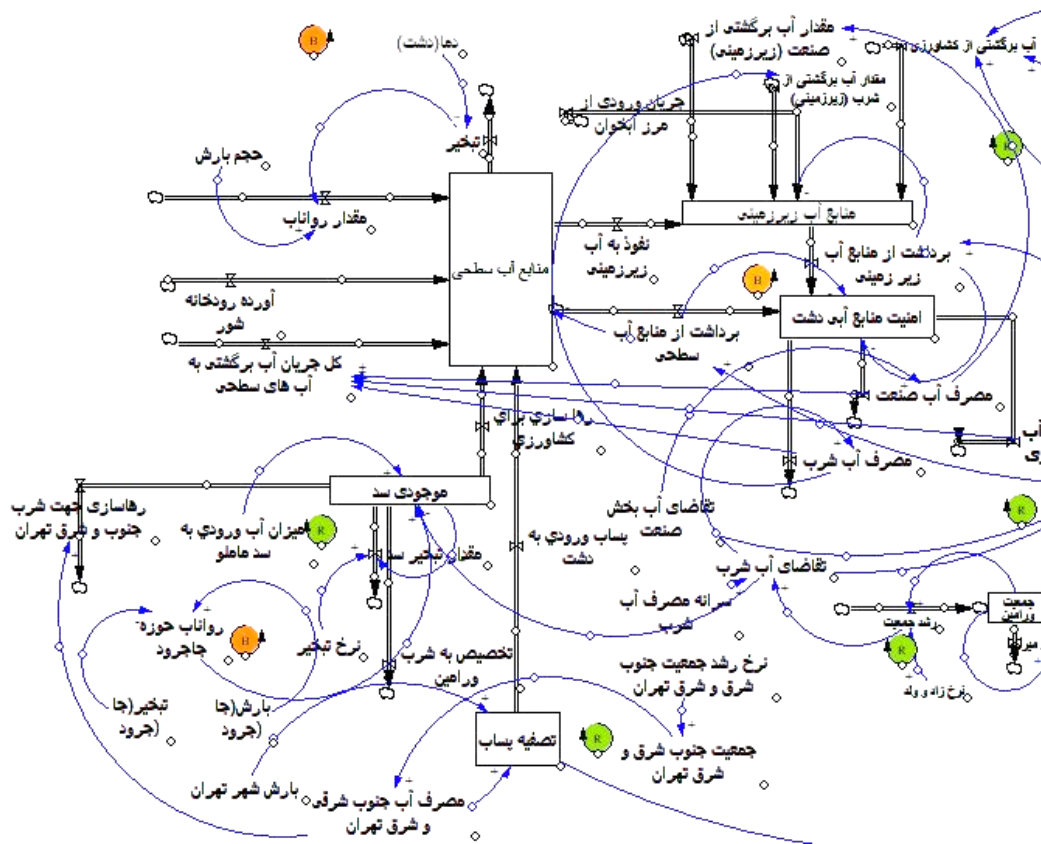
$$GWS = (P + AQB + RGW) - (WGW)$$

$$GWS = (P + AQB + RGW) - (WGW)$$

در این معادله منابع آب زیرزمینی (GWS)، نفوذ به آب‌های زیرزمینی (P)، جریان مرز آبخوان (AQB)، آب برگشتی زیرزمینی (GRW)، برداشت از منابع زیرزمینی (WGW) است. همچنین امنیت آب (WSe) از اختلاف بین عرضه آب (WS) و تقاضای آب (WD) یا همان مصرف آب در بخش‌های مختلف طبق معادله (۳) به دست آمد.

معادله (۳)

$$WSe = WS - WD$$



شکل ۳- نمودار علی زیرسیستم هیدرولوژی

Fig. 3- Causal diagram of the hydrology subsystem

جدول ۱- ورودی‌ها و خروجی‌های زیرسیستم‌های هیدرولوژی، کشاورزی و انرژی در مدل پویایی سیستم

Table 1. Inputs and outputs of hydrology, agriculture and energy subsystems in the system dynamics model

منابع Sources	متغیرها Variables	کمیت Quantity	منابع Reference
Surface water sources منابع آب سطحی	• Runoff رواناب	30 MCM/Year	Ministry of Energy (2021), Azizi et al. 2021, Ahmadi et al. 2021
	• Shur River رودخانه شور	130 MCM/Year	
	• Mamlo Dam سد ماملو	50 MCM/Year	
	• Return water flow جریان آب برگشتی	40 MCM/Year	
Groundwater sources	• Penetration into groundwater نفوذ به منابع آب زیرزمینی	12 MCM/Year 240 MCM/Year 116 MCM/Year	Ministry of Energy (2021), Azizi et al. 2021, Ahmadi et al. 2021

منابع آب زیرزمینی	<ul style="list-style-type: none"> Return water flow جریان آب برگشتی Infiltration from the aquifer boundary نفوذ از مرز آبخوان 		Tehran Province Water and Wastewater Regional Water Company of Tehran
DAM سد	<ul style="list-style-type: none"> Allocation to agriculture اختصاص به کشاورزی Allocation to the Varamin drinking اختصاص به شرب ورامین Allocation to the Tehran drinking اختصاص به شرب تهران 	50 MCM/Year 15 MCM/Year 120 MCM/Year	Tehran Province Water and Wastewater Regional Water Company of Tehran
Total production تولید کشاورزی	<ul style="list-style-type: none"> Agricultural and horticultural productions تولید زراعی و باغی 	530,000 T/Year	Agricultural Administration Statistics (2021)
Effluent پساب	<ul style="list-style-type: none"> South Tehran sewage treatment plant تصفیه‌خانه جنوب تهران 	100 MCM/Year	Regional water company of Tehran
Energy انرژی	<ul style="list-style-type: none"> Electricity consumption مصرف برق Fossil Fuels مصرف سوخت فسیلی 	805370 MWH 80 L/ha	Tavanir, 2020 Questionnaire and Interview

زیرسیستم کشاورزی و انرژی

تولید بیش از ۵۰۰ هزار تن محصول زراعی و باغی، دشت ورامین را به یکی از مهم‌ترین دشت‌های ایران تبدیل کرده است (Maj, 2020). تأمین نیاز آب گیاهان در منطقه خشک و نیمه‌خشک دشت ورامین متکی بر مصارف آب زیرزمینی و سطحی است. کارایی سیستم‌های آبیاری نیز از طریق افزایش بهره‌وری مصرف آب در ایجاد توازن در مصرف منابع آبی مؤثر است. گندم و جو نیز به‌عنوان الگوی کشت غالب منطقه بر مصرف آب و سطح زیر کشت محصولات اثرگذار است (شکل ۴). نیروی الکتریسیته و سوخت‌های فسیلی در سیستم‌های آبیاری و ماشین‌آلات مورد استفاده است. همچنین انرژی الکتریسیته در بخش خانگی و صنعتی در بخش تقاضای انرژی مؤثر است (شکل ۵).

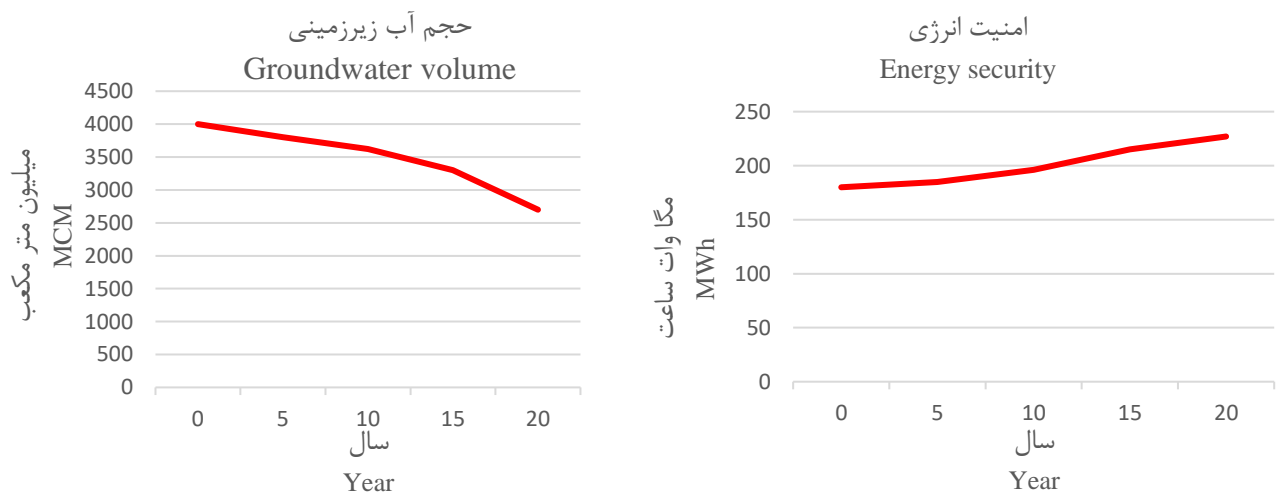
توسعه سناریوها

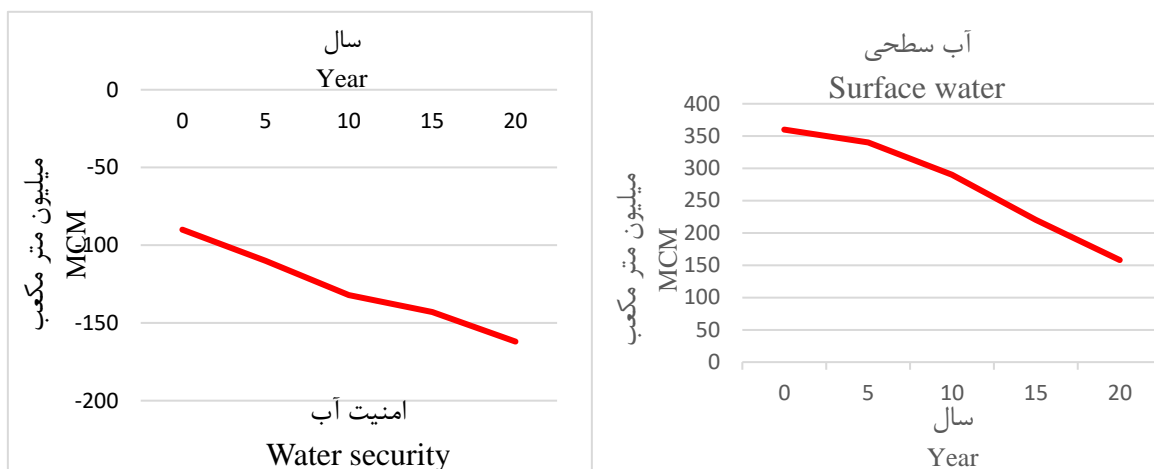
در رویکرد همبست مداخله نهادهای تصمیم‌گیرنده و دیگر ذینفعان در فرآیند رسیدگی به یک معضل محیط‌زیستی اهمیت ویژه‌ای دارد. با اعمال رویکرد همبست جهت تعیین شرایط و معیارهایی که به حل مشکل کمک می‌کنند، امکان شناخت هم‌افزایی منابع، بهره‌برداری از منابع و فرآیندهای حاکمیتی و ارائه خدمات رفاهی میسر می‌شود. در این روند، می‌توان با اعمال سناریوهای مدیریتی و سیاستی راه‌های به حداقل رساندن تبادلات، اثرات سوء عوامل خارجی و خطرات مرتبط را شناسایی کرد (Meyer and Kurian, 2017). Mohanty and Patnaik (2017) بیان کردند سیاست توسعه سیستم خورشیدی پمپاژ آب در ایالت راجستان هندوستان سبب افزایش زمین‌های زیر کشت شد و تعداد کشت محصولات به دو محصول در سال افزایش پیدا کرد؛ بنابراین در این تحقیق سناریو شرایط پایه به‌عنوان بیانگر ادامه شرایط کنونی بدون تغییر اساسی در سیاست‌های مدیریتی اعمال گردید. در این سناریو داده‌های مربوط به سال ۱۴۰۰ به‌عنوان داده‌های مرجع برای شرایط پایه و نیازها به‌صورت ثابت در نظر گرفته شد. سناریو افزایش راندمان آبیاری اعمال ضریبی نسبت به حالت پایه ۲۰ درصد افزایش اعمال شد. همچنین نیاز محیط‌زیستی به‌عنوان یک عامل افزایش تقاضای آب معادل ۵۰ میلیون مترمکعب در سال به سیستم اعمال شد.

نتایج و بحث

نتایج مدل پویایی همبست WEF در دشت ورامین نشان داد که با ادامه روند کنونی بهره‌برداری از منابع دشت، منابع آب سطحی دشت به تدریج طی ۲۰ سال آینده به ۱۵۸ میلیون مترمکعب در سال کاهش خواهد یافت. این کاهش به دلیل کاهش ورودی منابع آب سطحی شامل رودخانه شور، افزایش تخصیص آب سد ماملو به شرب تهران ورامین و همچنین افزایش تبخیر و کاهش بارندگی است. با توجه به سهم بیشتر منابع زیرزمینی و عدم تغذیه مجدد آبخوان، روند تخلیه در این بخش بیشتر است. نتایج مدل بدون اعمال سناریو نشان داد طی دوره ۲۰ ساله حجم آبخوان دشت ورامین از مقدار ۴۰۰۰ میلیون مترمکعب به ۲۷۰۰ میلیون مترمکعب کاهش خواهد یافت (شکل ۷). این موضوع نشان می‌دهد سیاست‌های تأمین منابع آب از جمله استفاده بی‌رویه از چاه‌ها، توسعه شهرنشینی و ایجاد صنایع و همچنین عدم افزایش بهره‌وری آب کشاورزی از طریق روش‌های نوین آبیاری دلیل بروز چنین مسئله‌ای است. از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴، ۱۳۶۰۵۵۴ هکتار زیرسامانه‌های آبیاری تحت فشار قرار گرفته است که معادل ۱۸ درصد کل زمین‌های آبی کشور است (Ministry of

(Agricultural Jihad, 2020). همچنین نتایج نشان داد امنیت منابع آبی طی دوره ۲۰ ساله به میزان ۱۶۲ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. بر اساس تحقیق (Ahmadi et al. (2021 تغییر سالانه حجم مخزن آبرفتی دشت ورامین معادل ۷۹ - میلیون مترمکعب در سال است. (Azizi et al. (2021 در تحقیقی با محاسبه بیلان آب زیرزمینی دشت ورامین نشان دادند که کسری مخزن آب زیرزمینی دشت ورامین در بین سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۵ معادل ۳۹/۵۹- میلیون مترمکعب بوده است؛ بنابراین با کاهش در بخش منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت ورامین، امنیت منابع آبی نیز با کاهش روبه‌رو خواهد بود. (Garg et al. (2022 در تحقیقی با عنوان شناسایی مناطق بالقوه برای برداشت آب باران بر اساس رویکرد فشرده‌سازی پایدار در مناطق استوایی نیمه‌خشک نشان داد برداشت غیرمتمرکز آب باران یک رویکرد امیدوارکننده برای کاهش خشک‌سالی در زمین‌های خشک است. برداشت آب باران از نظر افزایش دسترسی به آب زیرزمینی (۲/۶-۶/۹ متر)، افزایش محصول (۴۰- ۱۰۰ درصد) و درآمد کشاورزان (۵۰-۲۰۰ درصد) در حوضه‌های آبخیز مؤثر بود. (Monem et al. (2020 با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی منابع آب در شبکه آبیاری زاینده‌رود نشان داد که استفاده از رویکرد همبست و مدیریت یکپارچه در مقایسه با بخشی‌نگری، بهبود عملکرد شبکه و سناریوهای توسعه‌ای را در برداشت. مصرف انرژی و میزان عرضه انرژی در دشت ورامین معادل ۸۰۵ و ۹۹۰ هزار مگاوات در ساعت است (Tavanir, 2020). بخش امنیت انرژی دشت ورامین با تأمین انرژی روبه‌رو است؛ این تأمین انرژی به دلیل وجود منابع کافی انرژی در ایران و تأمین انرژی خارج از مرزهای دشت است.

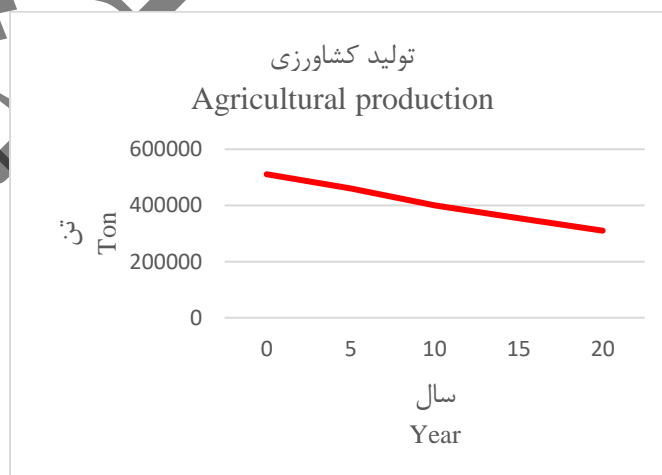




شکل ۷- تغییرات آب سطحی، حجم آب زیرزمینی، امنیت آبی و امنیت انرژی دشت ورامین از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰

Fig. 7- Change of surface water resources, groundwater volume, water security and energy security of Varamin plain from 2022 to 2042

بر اساس محدودیت‌های منابع آبی و کاهش امنیت آب در دشت ورامین، تولید محصول دشت نیز با کاهش روبه‌رو خواهد شد. دشت ورامین به دلیل هم‌جواری با شهرستان تهران نقش مهمی در تأمین نیاز مردم تهران و شهرستان‌های اطراف دارد. نتایج مدل پویایی همبست WEF در دشت ورامین نشان داد تولید کشاورزی دشت ورامین به ۳۱۰ هزار تن محصول در سال کاهش می‌یابد (شکل ۸). این کاهش تولید، امنیت غذایی منطقه و حوزه مصرف محصولات دشت را به مخاطره می‌اندازد؛ که به علت کمبود منابع آبی و کاهش سطح زیر کشت به مقدار ۲۵۴۰۰ هکتار است (شکل ۸).

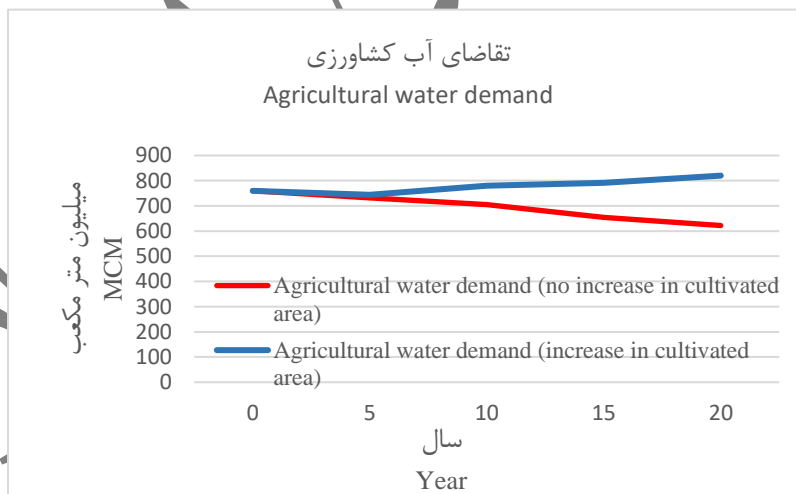
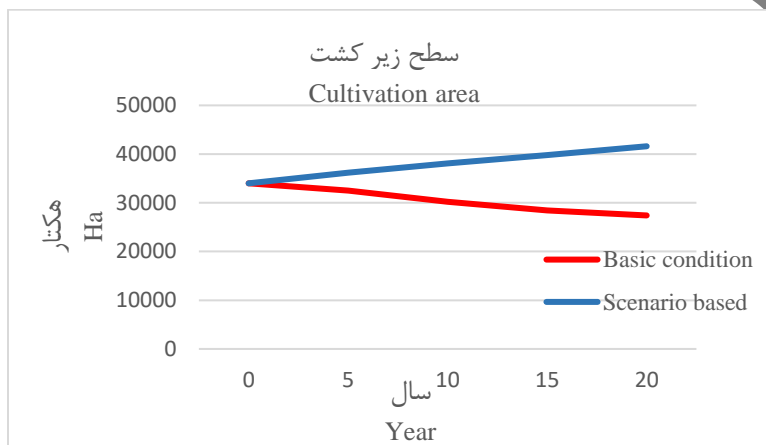
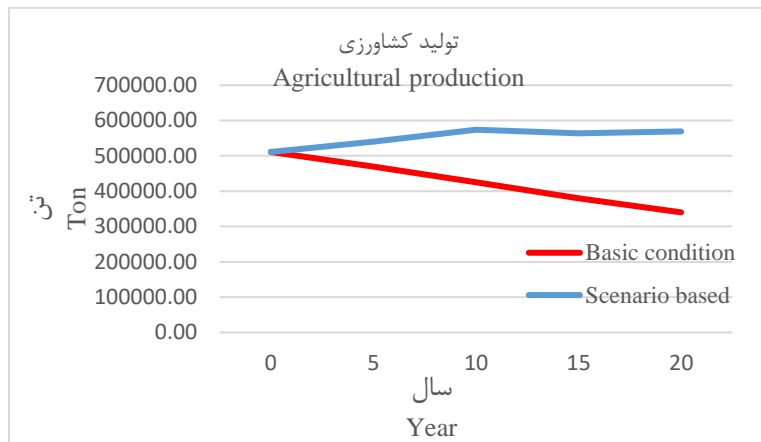


شکل ۸- تغییرات تولید کشاورزی دشت ورامین از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰

Fig. 8- Change of agricultural production in the Varamin Plain from 2022 to 2042

سناریو افزایش راندمان آبیاری

با توجه به محدودیت منابع آب قابل عرضه در کشورهایمانند ایران که با محدودیت فیزیکی آب مواجه هستند، سرمایه‌گذاری‌های بیشتر در بخش عرضه آب‌های قادر به پاسخگویی به افزایش تقاضای آب نیست؛ بنابراین راه‌حل بحران آب را می‌توان در چگونگی توسعه و مدیریت صحیح منابع آبی جستجو نمود. به عبارت دیگر مدیریت تقاضا مهم‌ترین راه مقابله با بحران آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Alizadeh *et al.*, 2014). بررسی روند تغییرات راندمان آب آبیاری طی سال‌های مختلف نشان می‌دهد که راندمان آبیاری از سال ۹۰-۹۵ برابر با ۵۸ درصد بوده است (Abbasi *et al.*, 2015). با اعمال سناریو افزایش راندمان آبیاری از ۵۸ درصد به ۷۰ درصد بدون افزایش سطح زیر کشت، تولید کشاورزی دشت ورامین به نسبت مدل پایه افزایش نشان داد (شکل ۹). افزایش تولید محصولات کشاورزی دشت ورامین از ۵۰۰ هزار تن به ۵۶۹ هزار تن مربوط به افزایش کارایی مصرف آب و همچنین افزایش ۷۶۰۰ هکتاری در دشت ورامین بود؛ بنابراین به استفاده از سیستم‌های آبیاری نوین و افزایش بهره‌وری آب تقاضای آب کشاورزی کاهش یافت (شکل ۹). همچنین در صورت عدم افزایش راندمان آبیاری سطح زیر کشت به ۲۵ هزار هکتار می‌رسد. از سویی دیگر نتایج افزایش راندمان آبیاری همراه با افزایش دو برابری سطح زیر کشت فعلی نشان داد دشت ورامین توان اکولوژیکی به‌منظور افزایش سطوح کشت تا دو برابر مساحت فعلی خود را ندارد. در همین رابطه تقاضای آب کشاورزی در سناریو افزایش راندمان آبیاری با افزایش سطح زیر کشت به مقدار ۱۰ درصد افزایش نشان داد. با نگاهی به گذشته دشت ورامین طی ۵۰ سال گذشته مساحت زمین‌های قابل کشت دشت ورامین از ۸۰ هزار هکتار به ۳۴ هزار هکتار کاهش یافته است. این مقدار زمین با استفاده از آورد رودخانه جاجرود (سد ماملو)، کن و شور زیر کشت بودند اما اکنون به دلیل تقاضای آب شرب و توسعه صنعتی، توسعه سطوح کشت امکان‌پذیر نیست. (Alizadeh *et al.*, 2014) نیز در تحقیقی با عنوان ارزیابی سناریوهای توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم نشان دادند در صورت توسعه ۱۰ درصدی سیستم‌های آبیاری تحت فشار در اراضی‌ای که از آب زیرزمینی استفاده می‌کنند در هر دو شرایط بدون افزایش سطح کشت و با افزایش ۲۰ درصدی سطح کشت وضعیت کمی آب زیرزمینی بهبود خواهد یافت (Arnold *et al.*, 2011).



شکل ۹- تغییرات تولید کشاورزی، سطح زیر کشت و تقاضای آب کشاورزی تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری از

سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰

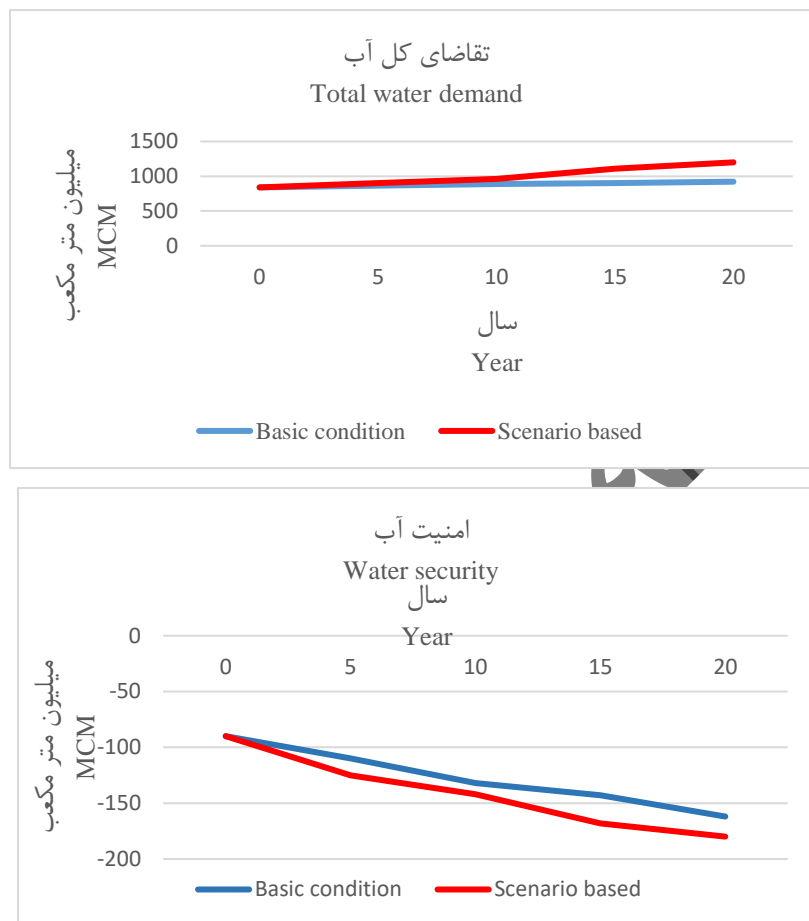
Fig. 9- Change of agricultural production and agricultural water demand under the scenario of increasing irrigation efficiency without increasing the cultivation area from 2022 to 2042

سناریو تقاضای محیط‌زیستی

تالاب به‌عنوان یک منطقه انتقالی بین یک اکوسیستم زمینی و یک اکوسیستم آبی، یک مجموعه طبیعی با ویژگی‌های هیدرولوژیکی منحصربه‌فرد و ارزش خدمات اکولوژیکی است (Mo et al., 2023). تالاب بندعلیخان، تالابی فصلی و دارای آب شیرین است که در جنوب شهرستان ورامین و در منطقه حفاظت‌شده کویر مرکزی واقع شده است. تالاب‌ها علاوه بر داشتن تنوع زیستی غنی، در حفظ عملکردهای اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی مؤثر هستند (Yousefi et al., 2023). تالاب‌ها ۶ درصد از سطح زمین جهان را پوشش می‌دهند و حدود ۱۲ درصد از استخر کربن جهانی را در برمی‌گیرند و نقش مهمی در چرخه جهانی کربن ایفا می‌کنند (Ferrati et al., 2005). تالاب بندعلیخان ۲۳ هزار هکتار وسعت دارد که در سال‌های پرآبی ۵ هزار هکتار آن کاملاً پرآب می‌شود اما در حال حاضر ۱۰۰ هکتار به‌صورت مقطعی آبیگری می‌شود (معاونت فنی محیط‌زیست). نیاز محیط‌زیستی تالاب بندعلیخان بر اساس مصاحبه با کارشناسان و مدیران محیط‌زیست استان تهران معادل ۵۰ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد با اختصاص ۵۰ میلیون مترمکعب آب در سال، امنیت آبی دشت ورامین متزلزل‌تر می‌شود. از سویی دیگر با اختصاص این حجم از آب تقاضای کل آب در دشت ورامین به مقدار ۱۸ درصد از شرایط پایه رشد نشان داد (شکل ۱۰). امنیت آبی دشت طی یک دوره ۲۰ ساله معادل ۱۶۲- میلیون مترمکعب برآورد شد که در صورت اعمال نیاز محیط‌زیستی تالاب بندعلیخان به عدد ۱۸۰ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد امکان تخصیص آب از منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت ورامین به تالاب امکان‌پذیر نیست. در نتیجه حفاظت از تالاب بندعلیخان نیازمند اتخاذ یک رویکرد یکپارچه و اعمال مجموعه‌ای از سیاست‌های مشارکتی است؛ بنابراین توسعه زیرساختی شبکه فاضلاب شهرستان ورامین و جمع‌آوری رواناب‌های سطحی حوزه آبریز تالاب اهمیت ویژه‌ای دارد. ایالت نیویورک با رویکرد سه‌گانه قوانین فدرال، ایالتی و منطقه‌ای، از جمله قانون آب پاک، قانون تالاب‌های آب شیرین مجموعه‌ای کامل از قوانین حفاظتی را پیاده‌سازی کرده است (Larson et al., 2016). علاوه بر این تشکیل پایگاه داده تالاب سیستم مدیریت سلسله مراتبی تالاب را به همراه سیاست جبرانی سخت‌گیرانه برای اطمینان از حفاظت تالاب‌ها اتخاذ کرده است

(Sonti et al., 2020). Newaz and Rahman (2019) بیان کردند مدیریت پایدار تالاب *Tanguar Haor* در منطقه شمال

شرقی بنگلادش، از طریق رویکرد مدیریت مشارکتی جامعه محلی و ترتیبات حاکمیتی امکان پذیر است.



شکل ۱۰- تغییرات تولید کشاورزی و تقاضای آب دشت ورامین تحت سناریو تخصیص نیاز زیست محیطی از سال ۱۴۰۰ تا

۱۴۲۰

Fig. 10- Change of agricultural production and water demand of Varamin Plain under the scenario of allocation of environmental needs from 2022 to 2042

نتیجه گیری

در این تحقیق از نقشه کشی شناختی منطق فازی برای شناخت و درک همبست WEF در دشت ورامین به منظور افزایش ظرفیت انطباقی مورد انتظار ذینفعان، استفاده شد. نقشه کشی شناختی منطق فازی همبست WEF در دشت ورامین به عنوان مبنایی برای مدل پویایی سیستم و پویایی های اجتماعی، اقتصادی، محیط زیستی استفاده شد. استفاده از طوفان

اندیشه و گفتگو بین کشاورزان و مدیران - متخصصان و ترسیم مدل اولیه ذهنی مشارکت‌کنندگان نشان داد افراد بر باورهای خود نسبت به سیستم جامعه تأمل می‌کنند در مباحث مشارکتی از یکدیگر یاد می‌گیرند؛ بنابراین توسعه شناختی و اشتراک دانش منجر به درک متقابل‌تری از سیستم می‌شود. نتایج اجرای مدل کمی پویایی سیستم همبست WEF در دشت ورامین نشان داد منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت ورامین در وضعیت فعلی بسیار شکننده است و طی دوره ۲۰ ساله میزان منابع آب در دسترس سطحی به مقدار ۱۵۸ میلیون مترمکعب خواهد رسید. این مقدار معادل ۴۳ درصد کاهش در منابع آب سطحی دشت ورامین است. در مقابل حجم آبخوان دشت ورامین به مقداری معادل ۲۷۰۰ میلیون مترمکعب خواهد رسید که معادل ۳۲/۵ درصد کاهش است. بر همین اساس امنیت آب دشت ورامین با تنش‌های جدی مواجه خواهد شد. افزایش راندمان آبیاری بدون افزایش سطح کشت می‌تواند در متعادل کردن وضعیت فعلی کمک‌کننده باشد به طوری که با اجرای سیاست‌های برنامه ششم توسعه تقاضای آب کشاورزی تا حدودی کاهش می‌یابد و فشار بر منابع آب زیرزمینی کاسته می‌شود. اگر این افزایش راندمان همراه با افزایش سطح کشت به میزان دو برابر مقدار فعلی باشد فشار بر منابع آبی افزوده می‌شود. هرگونه اعمال سیاست‌های محیط‌زیستی از قبیل احیای تالاب بندعلیخان و اختصاص ۵۰ میلیون مترمکعب آب به تالاب با توجه به کاهش امنیت منابع آبی باید از طریق تأمین حلقه تالاب و از طریق تخصیص پساب صورت پذیرد.

منابع

- Abbasi, F., Sarraf, F. and Abbasi, N., 2015. Evaluation of the efficiency of irrigation water in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research Journal*. 17(67), 113-128. (In Persian with English abstract).
- Ahmadi, A., Malek Mohammadi, B., Mozaal, L., 2021. Use of modeling in the development of scenarios of water resources and uses; Case study: study area of Varamin Plain. *Journal of water and sustainable development*. 8(3), 1-10. (In Persian with English abstract).
- Ahmadvand, A., Varandineri, A., Bastan, M. and Yahyaei, M., 2014. Analysis of Tehran construction and demolition waste management with system dynamics approach. *Asian Journal of Research in Business Economics and Management*. 4(8), 234-242.
- Alizadeh, H., Liaghat, A., Sohrabi, T., 2014. Assessing pressurized irrigation systems development scenarios on groundwater resources using system dynamics modeling. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. 3(4), 1-15. (In Persian with English abstract).
- Arnold, L.R., 2011. **Estimates** of Deep-Percolation Return Flow beneath a Flood- and a Sprinkler-Irrigated Site in Weld County, Colorado, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011-5001, US Geological Survey: Reston, VA, USA, 225p.
- Azizi, H.R.**, Nejatian, N., Athari, M.A., Hashemi, S.S., 2021. The effects of climate change on the drought trend of Varamin plain using De-Martonne index. *Newar*. 45(112-113), 67-76. (In Persian with English abstract).

Azizi, H.R., Nejatian, N., 2019. Calculation of underground water balance of Varamin Plain. *Geography and Human Relationships*. 3(3), 189-204. (In Persian with English abstract).

Bala, B.K., Arshad, F.M., Noh, K.M., 2017. Systems thinking: system dynamics. In *System Dynamics*. Springer, Singapore. 15-35.

Benson, D., Gain, A.K. and Rouillard, J.J., 2015. Water governance in a comparative perspective: From IWRM to a “nexus” approach? *Water Alternatives*. 8 (1), 756–773.

Soares Dal Poz, M.E., de Arruda Ignácio, P.S., Azevedo, A., Francisco, E.C., Piolli, A.L., Gheorghiu da Silva, G., Pereira Ribeiro, T., 2022. Food, Energy and Water Nexus: An Urban Living Laboratory Development for Sustainable Systems Transition. *Sustainability*. 14(12), 7163.

Denicola, E., Aburizaiza, O.S., Siddique, A., Khwaja, H., 2015. Climate Change and Water Scarcity: The Case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*. 81(3), 342–353.

Erb, K.H., Haberl, H., DeFries, R., Ellis, E., Krausmann, F., Verburg, P.H., 2012. Pushing the Planetary Boundaries. *Science*. 14, 1419-1420.

FAO, 2014. Walking the Nexus Talk. Assessing the water-energy-food nexus in the context of the sustainable energy for all initiative. Retrieved from <http://www.fao.org>.

FAO, 2019. Macronutrients and micronutrients. Available online at http://www.fao.org/elearning/Course/NFSLBC/en/story_content/external_files/Essential_Nutrients.pdf

FAO, 2021. World Food Situation. FAO: Rome, Italy.

Ferrati, R., Canziani, G.A., Moreno D.R., 2005. Estero del Ibera: hydrometeorological and hydrological characterization. *Ecological Model*. 186, 3–15.

Garg, K.K., Akuraju, V., Anantha, K.H., Singh, R., Whitbread, A.M., Dixit, S., 2022. Identifying potential zones for rainwater harvesting interventions for sustainable intensification in the semi-arid tropics. *Scientific Reports*. 12(1), 1-18.

Glykas, M., 2010. *Fuzzy cognitive maps: Advances in theory, methodologies, tools and applications* (Vol. 247). Springer Science & Business Media.

Gray, S.R.J., Gagnon, A.S., Gray, S.A., O’Mahony, C., Muir, D., Falaleeva, M., 2014. Are local coastal managers detecting the problem? Assessing stakeholder perception of climate vulnerability using Fuzzy Cognitive Mapping. *Ocean and Coastal Management*. 94, 74-89.

Hajjar R., Kozak R.A., 2015. Exploring public perceptions of forest adaptation strategies in Western Canada: Implications for policy-makers. *Forest Policy and Economics*. 61, 59–69.

Henly-Shepard, S., Gray, S., Cox, L., 2015. The use of participatory modeling to promote social learning and facilitate community disaster planning. *Environmental Science & Policy*. 45, 109-122

Hobbs, R.J., 2016. Degraded or just different? Perceptions and value judgments in restoration decisions. *Restoration Ecology*. 24, 153–158.

Jones, N. A., Perez, P., Measham, T. G., Kelly, G. J., d’Aquino, P., Daniell, K. A., Ferrand, N., 2009. Evaluating participatory modeling: developing a framework for cross-case analysis. *Environmental management*. 44(6), 1180.

Jones, N.A., Ross, H., Lynam, T., Perez, P. and Leitch, A., 2011. Mental Models: An Interdisciplinary Synthesis of Theory and Methods. *Ecology and Society*. 16(1), 46.

Karimlou, N., Hassani, A., Rashidi Mehrabadi, A., Nazari, M.R., 2020. Developing a model for decision-makers in dynamic modeling of urban water system management *Water Resource Management*. 34 (2), 481-499.

Khoshneshin, F. and Bastan, M., 2014. Analysis of dynamics of crisis management in the earthquake and performance improvement using system dynamics methodology. 10th International Conference on Industrial Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Larson, M.A., Heintzman, R.L., Titus, J.E., Zhu, W., 2016. Urban wetland characterization in south-central New York State. *Wetlands*. 36, 821-829.

Meyer, K., Kurian, M., 2017. The Role of International Cooperation in Operationalizing the Nexus in Developing Countries: Emerging Lessons of the Nexus Observatory. In: Abdul Salam, P., Shrestha, S., Pandey, V.P., Anal, A.K. (Eds.), *Water-Energy-Food Nexus: Principles and Practices*. Wiley. pp 89-102.

Ministry of Agricultural Jihad, 2020. Agricultural statistics, second volume of 2022. Planning and economic deputy, information and communication technology center. 93 pages. Available online at: <https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/amar99-1400.pdf>

Ministry of Energy, 2015. Iran Water Resources Management Company. Water balance report of Varamin plain study area.

Mo, L., Chen, J., Xie, Y., 2023. Wetlands conservation in Beijing of China: Present status and development strategies. *Watershed Ecology and the Environment*. 5, 73-79.

Mohanty, P., Patnaik, S., 2017. Energy-Centric Operationalizing of the Nexus in Rural Areas: Cases from South Asia. In: Abdul Salam, P., Shrestha, S., Pandey, V.P., Anal, A.K. (Eds.), *Water-Energy-Food Nexus: Principles and Practices*. Wiley. pp117-126.

Monem, M.J., Delavar, M., Hosseini, M., 2020. Application and Evaluation of Water, Food and Energy (NEXUS) in Irrigation Networks Management: Case Study of Zayandehrud Irrigation Network, *Iranian Journal of Irrigation & Drainage* 14, 276-285. (In Persian with English abstract).

Newaz, M.W., Rahman, S., 2019. Wetland resource governance in Bangladesh: An analysis of community-based co-management approach. *Environmental Development*. 32, 100446.

Newell, R., Raimi, D., Villanueva, S. and Prest, B., (2021). Global energy outlook 2021: pathways from Paris. June, https://media.rff.org/documents/RFF_GEO_2021_Report_1.pdf

Nyam, Y.S., Kotir, J.H., Jordaan, A., Ogundeji, A.A., 2022. Identifying behavioural patterns of coupled water-agriculture systems using system archetypes. *Systems Research and Behavioral Science*. 39(2), 305-323.

Pakmehr, S., Yazdanpanah, M., Baradaran, M., 2021. Explaining farmers' response to climate change-induced water stress through cognitive theory of stress: An Iranian perspective. *Environment, Development and Sustainability*. 23, 5776-5793.

Phan, J.C.R., Smart, O., Sahin, S.J., Capon, W.L., 2018. Hadwen Assessment of the vulnerability of a coastal freshwater system to climatic and non-climatic changes: a system dynamics approach. *Journal of Clean Production*. 183, 940-955.

Ravar, Z., Zahraie, B., Sharifinejad, A., Gozini, H., Jafari, S., 2020. System dynamics modeling for assessment of water food-energy resources security and nexus in Gavkhuni basin in Iran. *Ecological Indicators*. 108, 105682.

Rosenbaum, E., 2022. Mental models and institutional inertia. *Journal of Institutional Economics*. 18(3), 361-378.

Rule, T.A., 2022. Positive-Sum Water-Energy-Food Nexus Governance. *NYU Environmental Law Journal*. 31.

Santo, A.R., Guillozet, K., Sorice M.G, Baird T.D, Gray S., Donlan C.J, Anderson C.B., 2017. Examining private landowners' knowledge systems for an invasive species. *Human Ecology*. 45, 449–462.

Schuurman, G.W., Hoffman, C.H., Cole, D.N., Lawrence, D.J., Morton, J.M., Magness, D.R., Fisichelli, N.A., 2020. Resist-accept-direct (RAD)-a framework for the 21st-century natural resource manager. *National Park Service*. No. 2020/2213.

Sonti, N.F., Campbell, L.K., Svendsen, E.S., Johnson, M.L., Auyeung, D.N., 2020. Fear and fascination: Use and perceptions of New York City's forests, wetlands, and landscaped park areas. *Urban Forestry & Urban Greening*. 49, 126601.

Sun, B., Yang, X., 2019. Simulation of water resources carrying capacity in Xiong'an New Area based on system dynamics model. *Water*. 11(5), 1085.

Tavanir, 2020. Statistics of tavanir. Available online at: <https://amar.tavanir.org.ir>

Treur, J. and Van Ments, L., 2022. Mental models and their dynamics, adaptation, and control: a self-modeling network modeling approach. *Springer Nature*.

Valivand, F., Katibeh, H., 2022. Evaluation of Quantitative and Qualitative Management Plans in Varamin Plain Aquifer. *Journal of Water and Wastewater*. *Journal of Water and Wastewater*. 33(4), 36-50.

Wang, X., Dong, Z., Sušnik, J., 2023. System dynamics modelling to simulate regional water-energy-food nexus combined with the society-economy-environment system in Hunan Province, China. *Science of the Total Environment*. 863, 160993.

Williams, J.W., Ordóñez, A., Svenning, J.C., 2020. A unifying framework for studying and managing climate-driven rates of ecological change. *Nature Ecology and Evolution*. 5, 17-26.

Yousefi, E., Sayadi, M.H., Chamanehpour, E., Ghasami, F., Amini, Z., 2023. Using the new approach of ecosystem management to develop the ecological management plan of Kaji Namakzar Wetland of Nehbandan. *Journal of Environmental Science Studies*. 8(1), 6191-6209.

Investigating of water, energy, and food nexus with the systems dynamics approach; a case study of Varamin Plain

Alireza Shahmohammadi,¹ Korous Khoshbakht,^{1††} Hadi Veisi¹ and Mohammad Reza Nazari²

¹ Department of Agroecology, Shahid Beheshti University, Environmental Sciences Research institute, Shahid Beheshti University, Evin, Tehran, Iran

² Environment and Natural Resources Economics Department, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Introduction: Climate and ecosystem changes in coordination with other factors have challenged many basic paradigms of natural resource management. Extensive changes have led to environmental transformations requiring managers to evaluate their management and actions. Ecological transformations are a severe type of irreversible change that gradually, and continuously affects community composition and ecosystem functioning. The purpose of this research was to know the correlation between water, energy, and food in Varamin Plain by the method of the mental model and the dynamics of water, energy, and food correlation under political scenarios.

Materials and methods: In this research, by using the mental modeling of the beneficiaries of Varamin Plain and university experts, it was done to know the relationships of the model of water, energy, and food nexus. Then, using the systems dynamics model to determine the cause-and-effect relationships between the variables, the variables were quantified. The data relating to the mental model were collected through dialogue and participation with the farmers and managers of the region using the Mental Modeler software. The data relating to the correlation dynamics model was also collected through organizations, regional stakeholders, and authoritative articles and simulated in Vensim software.

Results and discussion: The results of system dynamics modeling showed that the state of surface water resources, aquifer volume, and water security of the plain during a period of 20 years would be equal to -158 million cubic meters, 2700 million cubic meters, and -162 million cubic meters respectively; which shows the reduction of resources in comparison with the base situation. The application of scenarios for the allocation of the environmental needs of the Bandalikhan wetland showed that the plain would not have the ecological ability to allocate water to the wetland so in the next 20 years, the water security of the plain will reach -180 million cubic meters. Also, applying the scenario of increasing irrigation efficiency without increasing the cultivated area from 58% to 70% was effective in improving the reduction of agricultural water demand and increasing the cultivated area. The increase in the cultivated area up to 41,600 hectares had a positive effect on agricultural water demand, but more than this amount caused the pressure on water resources to increase.

†† Corresponding Author: *Email Address*. kkhoshbakht@sbu.ac.ir

Conclusion: Examining the results and comparing the data showed that during a period of 20 years, the Varamin Plain will have an unfavorable situation regarding water resources and food production. Managing the resources of Varamin Plain requires a change in organizational, agricultural, and development beliefs and values. The development of solar systems in order to meet the energy needs, the establishment of the Varamin sewage treatment plant, and the development of the refinery in the south of Tehran, moving towards sustainable intensification is effective in creating the stability of the resources of the plain in order to properly exploit the resources.

Keywords: Mental model, Sustainable intensification, Systems dynamics, Underground water resources, Water security.

نسخه
پیش
انتشار