تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۴/شماره ۹۲ /پاییز ۱۴۰۲/صفحه ۲۳ - ۴۶

نوع مقاله: پژوهشی

بررسی تأثیر تغییرات عوامل آموزش و ترویج کشاورزی روی زیرسیستم‌های زنجیرهٔ منابع آب، غذا و انرژی در مدیریت شبکه‌های آبیاری

(مطالعهٔ موردی: شبکهٔ آبیاری قزوین)

مصطفی اصلانی[۱]، محمد جواد منعم*[۲]، علی باقری[۳]

۱ - دانشجوی دکتری دانشگاه تربیت مدرس دانشکده کشاورزی گروه مهندسی و مدیریت آب

*۲- استاد دانشگاه تربیت مدرس دانشکده کشاورزی گروه مهندسی و مدیریت آب

۳ - دانشیار دانشگاه تربیت مدرس دانشکده کشاورزی گروه مهندسی و مدیریت آب

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۱/۱۱

چکیده

عوامل آموزش و ترویج، چه در بهبود بهره‌وری منابع آب و چه در رعایت الگوی کشت مصوب توسط کشاورزان، از جمله عواملی است که بسیاری از شاخص‌های عملکرد شبکه‌های آبیاری را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اثر این آموزش‌ها باید در پیوند با منابع آب، غذا، و انرژی در شبکه‌های آبیاری به صورت سیستمی بررسی شود. این آموزش‌ها در توسعهٔ مدل مفهومی زنجیرهٔ آب، غذا و انرژی (نکسوس) ذیل زیرسیستم‌های "محدودیت توسعه کشاورزی" و "راهکارهای رفع نیاز آبی تأمین‌نشده" در مرزهای شبکهٔ آبیاری قزوین بررسی شدند. مدل کمّی ارائه شده در این بخش که از بررسی تحقیقات گذشته، مصاحبه‌ها و جمع آوری اطلاعات توسعه یافته است، شامل هشت زیرسیستم است که دو زیرسیستم به طور مستقیم تحت تأثیر متغیر آموزش قرار دارند. شاخص نکسوس به صورت ترکیب خطی از برخی شاخص‌ها از جمله شاخص‌های بهره‌وری آب، بهره‌وری انرژی، عملکرد محصول و کفایت تحویل آب تعریف شد. در این تحقیق، با در نظر گرفتن تغییرات افزایشی در میزان نفر ساعات آموزش‌های ترویجی، در سه گزینهٔ ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد، میزان تغییرات شاخص‌های کفایت شبکه و بهره‌وری آب کشاورزی و در نهایت شاخص نکسوس بررسی گردید. بیشترین میزان اثربخشی در گزینه ۶۰ درصد افزایش در آموزش‌های ترویجی به دست آمد که برابر با ۲۳/۲۵ درصد بوده است. از طرفی، بالاترین سرعت اثربخشی در گزینهٔ ۲۰ درصد به مقدار ۱/۸۳ درصد مشاهده گردید. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان به اهمیت تأثیر عامل آموزش در کنار دیگر عوامل فنی و مدیریتی در روند کلی بهبود سیستم اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: آموزش و ترویج کشاورزی، الگوهای سیستمی، مدل مفهومی نکسوس، مدیریت شبکه‌های آبیاری.

مقدمه

مفهوم توسعهٔ پایدار رهیافتی است که در آن کارایی، عدالت و پایداری با هم تلفیق شده‌اند (Muslimi, 2006). در این میان راهبردهای مختلفی از جمله برنامه‌ریزی در جهت ترویج و آموزش کشاورزی در زمینهٔ تحقق هدف‌های توسعهٔ پایدار مطرح شده است. فلسفهٔ آموزش و ترویج کشاورزی بر سه رکن تداوم آموزش موثر و مفید، تحکیم ارادهٔ خودیاری و پرورش حس همیاری در افراد استوار است. به عبارت دیگر، ترویج فعالیت آموزشی است به منظور انتقال دانش و مهارت‌های تکامل‌یافته و مفید و مؤثر از منابع

نگارنده مسئول: Email: Monem_mj@modares.ac.ir
https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.363549.1559

بررسی و تحقیق به جوامع روستایی، عشایری و کارگری.

بر این اساس، آموزش‌های ترویج کشاورزی فرآیندی از آموزش غیررسمی است که رو به سوی جمعیت روستایی دارد. این جریان آموزشی راهنمایی‌ها و اطلاعاتی به روستائیان ارائه می‌دهد تا آنها مشکلات خود را حل کنند.

هدف اصلی برنامه‌های ترویج به توسعهٔ کشاورزی محدود نمی‌شود؛ هدف این برنامه‌ها رفع سه مشکل اساسی جوامع روستایی است: ضعف تولید، نا برابری در توزیع درآمد و مشارکت‌نداشتن روستائیان در فعالیت‌های اجتماعی تا از این طریق راه را برای رسیدن به توسعهٔ پایدار روستایی در همهٔ ابعاد و عناصر آن هموار سازد (Oakley and Garforth, 1988). با این همه، گاهی برنامه‌های آموزش و ترویج کشاورزی را ناکارآمد و نامطلوب تلقی می‌کنند، اما نمی توان آنها را در حال و آیندهٔ توسعه نواحی روستایی نادیده گرفت.

از طرفی، آب به عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده در توسعهٔ بخش کشاورزی، اهمیت اقتصادی آن را گوشزد می‌کند. بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کنندهٔ آب است، در حدود ۷۰ درصد از کل منابع آب شیرین در سطح جهان در این بخش مصرف می‌شود (Fyles and Madramootoo, 2016). این در حالی است که بهره‌وری و کارایی استفاده از این منبع در بخش کشاورزی به‌خصوص در کشور ما پایین است. از این رو، صاحب‌نظران تدوین سیاست‌ها و راهبردهای مختلف افزایش بهره‌وری آب را ضروری می‌دانند، آن را منبع امنیت غذایی برمی‌شمرند و بر این باورند که باید بهره‌وری کشاورزی به ویژه در کشورهای در حال توسعه از مفهوم سنتی خود به معنای تولید در واحد سطح به مفاهیم جدیدی بر مبنای کمیابی منبع آب تعریف شود (Haro *et al.*, 2014). در این راستا، آموزش کشاورزان برای حفاظت و مدیریت پایدار منابع آب بهترین وسیله برای توانمندسازی نیروی انسانی فعال در این بخش به شمار می‌آید (Bakker, 2012). آموزش با ایجاد آگاهی و تغییر نگاه کشاورزان نسبت به منابع طبیعی به ویژه منابع آبی موجب بهبود رابطه آنان با محیط زیست می‌شود و در پرتو چنین آگاهی‌هایی می‌توان امیدوار بود که استفادهٔ پایدار از منابع آبی بهتر بتواند به اجرا درآید (Ramezani, 2010).

بهره‌برداری نامناسب از این منابع و تخریب منابع طبیعی پایهٔ زیست محیطی، سبب افت سطح ایستابی سفره‌های آب زیرزمینی، کاهش بهره‌وری و بازده آب، و آلودگی آب‌های زیرزمینی شده است (Gudarzi *et al.*, 2011).

مانگو (Mango, 2017) در تحقیق خود به تعیین عوامل موثر بر دانش کشاورزان در زمینهٔ راهکارهای حفاظتی آب و خاک پرداخت. بولنسه (Boelense, 2008) در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که توانمندسازی کشاورزان به وسیله راهکارهای آموزشی و ترویجی از عوامل عمده در مدیریت بهینهٔ منابع آب کشاورزی است. نتایج تحقیقات رحیمیان (Rahimian, 2016) نشان داد که چهار متغیر آموزش‌های ارائه شده به کشاورزان یعنی ویژگی‌های فنی مزرعه، درک کشاورزان از بحران کم‌آبی، نظام مدیریت آب از منبع تا مزرعه و ویژگی‌های فردی، اقتصادی و اجتماعی کشاورزان به ترتیب بیشترین تأثیر را بر اعمال مدیریت پایدار منابع آب توسط گندم‌کاران آبی در شهرستان کوهدشت داشته است.

در خصوص نقش ترویج و آموزش‌های مرتبط در عملکرد تولیدات کشاورزی در ایران تحقیقات گسترده‌ای شده است. بیشتر این تحقیقات به صورت کتابخانه‌ای یا میدانی و با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از پرسشنامه‌های تنظیم شده توسط کارشناسان و ذی‌نفعان و با به کارگیری آماره‌های محاسباتی اجرا شده است. در این خصوص، کشاورز با حقیقت و همکاران (ba haghighat *et al.* 2021) Keshavarz) به ترتیب عوامل زیرساختی، آموزشی-ترویجی، و اقتصادی را دارای بیشترین تأثیر مثبت بر پایداری فعالیت ترویج در بخش خصوصی دانستند و با توجه به تاثیر عوامل زیرساختی، ساماندهی شبکه ترویج خصوصی

از سوی سازمان جهاد کشاورزی در ابتدا و انجام سیاست-های حمایتی جهت راه‌اندازی شرکت‌های نوپای مشاوره از قبیل اطلاع‌رسانی، آموزش و فرهنگ‌سازی جهت پذیرش فرهنگ ترویج خصوصی در کشور را پیشنهاد دادند.

طاهری و همکاران (Taheri *et al*., 2023) راهکارهای بهبود فرآیند مدیریت دانش در نظام نوین ترویج کشاورزی را با استفاده از تحقیق میدانی و مدل آماری بررسی کردند. بر اساس یافته‌های آنها، به‌ترتیب در بعد تولید دانش، راهکار «وجود سامانه‌های مدیریت ایده‌ها»، در بعد ذخیره‌سازی دانش، «ثبت و نگهداری پژوهش‌ها و تجارب ارزنده محققان، مروجان و کارشناسان»، در بعد سازماندهی و پردازش دانش، «سازماندهی دانش و اطلاعات بهره‌برداران به شیوه-های مختلف» و در بعد توزیع و انتقال دانش «تولید انواع رسانه‌های نوشتاری و الکترونیکی برای انتقال دانش در بین ذینفعان بر اساس ویژگی‌ها و نیازهای آن‌ها» در بالاترین رتبه‌ها قرار گرفتند. همچنین، یافته‌های حاصل از تحلیل عاملی تأییدی آنها نشان داد که راهکارهای بهبود فرآیند مدیریت دانش دارای چهار مؤلفه اصلی تولید، ذخیره‌سازی، پردازش و سازماندهی و توزیع دانش است و همگنی و پایایی معرف‌ها مورد تأیید بود. شیرکوند و همکاران (Shirkavand *et al*., 2021) با اشاره به اهمیت بخش کشاورزی در توسعهٔ پایدار کشور و همچنین اهمیت امنیت غذایی در دستیابی به این موضوع مهم، برنامه‌ریزی در نظام ترویج را برای دستیابی به این امر لازم دانستند و لازمهٔ آن را شناسایی، تبیین و ارائهٔ راهبردهای سازگار با محیط درونی و بیرونی این نظام معرفی کردند. شیروانی (Shirvani, 2021) به نقش ترویج در توسعهٔ کارآفرینی روستایی، موانع پیش رو و نقش ترویج در توسعهٔ کارآفرینی اشاره کرده است. جمشیدی (Jamshidi, 2021) نیز به عوامل مؤثر بر توسعهٔ پایدار روستایی و نقش ترویج در تأمین معاش و افزایش ضریب ایمنی این توسعه در جامعه روستایی اشاره کرده است. شعبانی و همکاران (Sha'abani *et al*., 2022) با اشاره به توسعه پایدار جامعه روستایی، نقش ترویج را در آن مهم بر شمردند. مطابق نظر آنها، آموزش ترویجی ابزار مهمی است که به سیاست‌گذاران، مقامات دولتی، کارکنان طرح‌های توسعه، کارشناسان ترویج و متخصصان کشاورزی در عینیت بخشیدن به اهداف برنامه‌ها و طرح‌های خود و رسیدن به توسعهٔ پایدار کشاورزی کمک می‌کند. واعظ تهرانی و همکاران (Vaez Tehrani *et al*., 2012) در تحقیق سیستمی صورت‌گرفته در مرزهای تحقیقاتی شبکهٔ آبیاری قزوین، متغیر آموزش به کشاورزان را با استفاده از پاسخ‌های پرسشنامه به صورت مقدار ثابت ۰/۱۲۵، در مدل پویایی سیستم در نظر گرفتند و به رابطه این متغیر با دیگر متغیرهای مؤثر بر آن و یا متأثر از آن نپرداختند.

به‌رغم تحقیقات گسترده‌ای که برای بهبود بهره‌وری مصرف آب در شبکه‌های آبیاری صورت گرفته است نمی-توان ادعا کرد که بهبود بهره‌وری و عملکرد به طور کامل تحقق یافته‌اند. دلیل عمدهٔ دست‌نیافتن به موفقیت را می-توان در عدم توجه توام به منابع اساسی در بهره‌وری و در نتیجه به پایداری و امنیت در تمام وجوه آن در شبکه‌های آبیاری جستجو کرد. بنابراین، زمانی می‌توان با اطمینان به دنبال افزایش بهره‌وری و عملکرد در یک منبع مانند منبع آب بود که بتوان این موضوع را در دیگر منابع هم‌راستا یا دارای اهمیتی هم‌تراز با منبع آب مطابق با اصول زنجیرهٔ منابع و پیوند آنها بررسی کرد. مهم‌ترین مسئله‌ای که این مقاله در پی بررسی آن است نقش آموزش ترویجی در راستای بهبود وضعیت کشت کشاورزان است. در این خصوص نقش آموزش در بهبود مصرف آب کشاورزی به‌ویژه در زمینهٔ استخراج‌های غیرمجاز آب و همچنین رعایت الگوی کشت در راستای مدیریت بهینهٔ منبع آب با بالابردن سطح آگاهی کشاورزان در زنجیره و پیوند آب، غذا، و انرژی بررسی شده است.

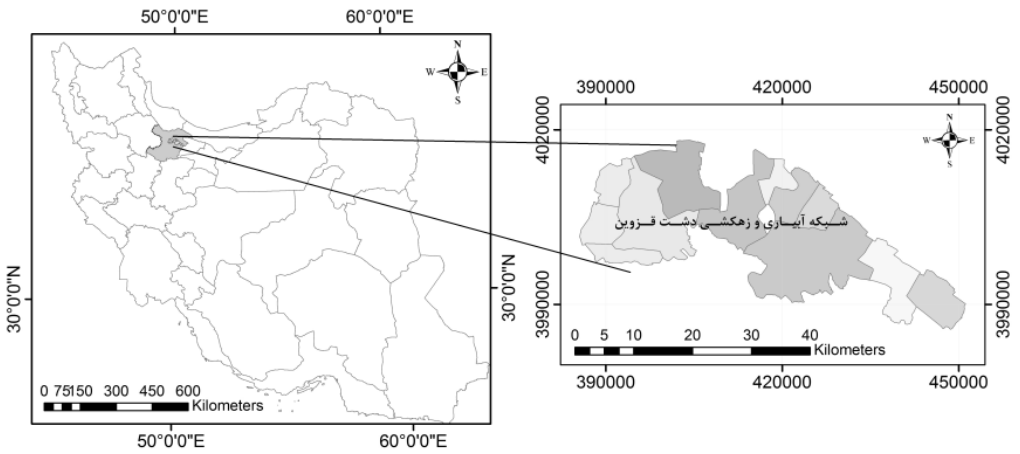
آمارهای منتشرشده از سازمان‌های کشاورزی مبین این موضوع است که میزان آموزش‌های ترویجی در بخش کشاورزی نه تنها متناسب با میزان توسعه در بخش کشاورزی نیست بلکه این میزان آموزش‌ها با توجه به نیروی انسانی موجود، بودجهٔ تخصیص‌یافته و همینطور برنامه-ریزی‌های اجرا شده روال مشخصی برای بهبود شرایط استفاده از منابع نداشته است. لازم است گفته شود این موضوع با توجه به تغییر تصمیمات کشاورزان مبنی بر توسعهٔ کشاورزی هم در بعد توسعهٔ اراضی و هم در تغییرات الگوی کشت بیشتر تشدید می‌گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی منحصربه فرد و وجود دشت قزوین، شکل ۱، موجب شده است این استان یکی از مناطق مستعد تولید محصولات کشاورزی شناخته شود. مجموعهٔ اراضی زیر کشت سالانهٔ استان قزوین به طور متوسط ۲۴۴/۷۸ هزار هکتار است که از این مقدار حدود ۱۵۰/۴ هزار هکتار (۶۱/۴ درصد) آبی و حدود ۹۴/۴ هزار هکتار (۳۸/۶ درصد) به صورت دیم است (Farahza and Nazari, 2020). طبق گزارش سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین در سال ۲۰۱۹ سهم تخلیه بخش کشاورزی از آبخوان این دشت از بدو بهره‌برداری در حدود ۱۳۵۳ میلیون متر مکعب است که حدود ۸۵۸ میلیون متر مکعب آن در بخش زراعی و برای تولید محصولات عمده مانند گندم، جو و کلزا استفاده می-شود (AJOQP, 2019). برتری نسبی استان قزوین در کشاورزی تجاری موجب شده است زمینه برای تحقق توسعهٔ همه جانبه کشاورزی در این منطقه فراهم باشد (Kashani *et al.*, 2014).

در حال حاضر ۱۵۸ تشکل، ۱۰ اتحادیه و یک کانون مرکزی فعال هستند و مدیریت شبکه را بر عهده دارند (Karimi *et al.*, 2008; Alimardani *et al.*, 2020). بررسی‌ها، مطالعهٔ گزارش‌های موجود (Hatam *et al.*, 2012) و مصاحبه با مسئولان شبکه نشان می‌دهد مهم‌ترین مشکلات موجود در شبکهٔ آبیاری قزوین شامل این موارد است: محدودیت در تأمین آب، راندمان پایین شبکه، تغییر در الگوی کشت و افزایش نیاز آبی، فرسوده شدن سازه‌ها و کانال‌ها، مشارکت نداشتن آب‌بران در نگهداری شبکه، مشکلات حقوقی و مدیریتی تشکل‌های آب‌بران نوپا و افزایش سطح تحت پوشش شبکه.

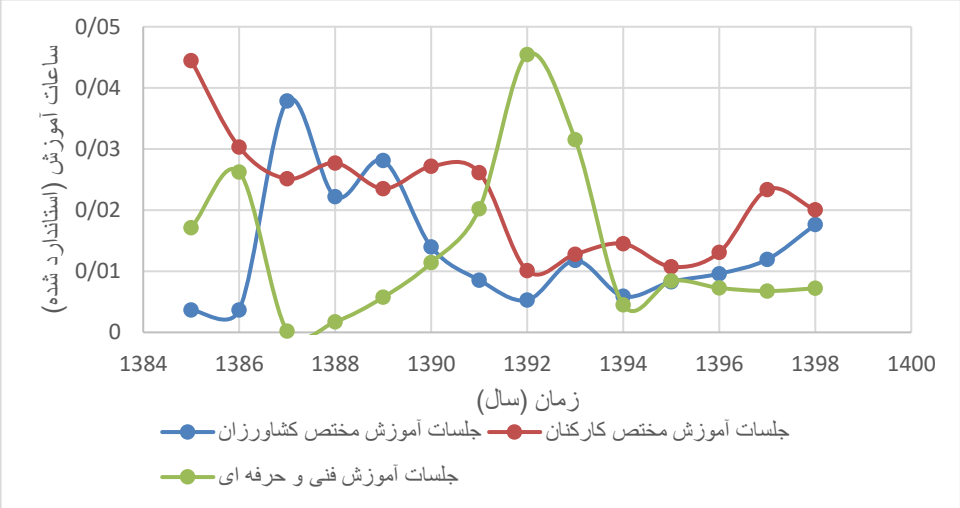


شکل۱- موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در ایران

Figure 1- Location of the study area in Iran

وضعیت آموزش‌های ترویجی در شبکهٔ آبیاری قزوین

آمارهای سازمان کشاورزی استان قزوین نشان می‌دهد که از مجموع ۱۱۵۲۱ نفر روز کلاس آموزشی و ترویجی برگزار شده در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸، تنها ۴۴/۷ درصد از کلاس‌های آموزشی و ترویجی مختص کارکنان و ۳۹/۳ درصد مختص کشاورزان و ۱۶ درصد مختص هنرآموزان فنی و حرفه‌ای بوده است. از تعداد ۸۳۹ مروج به کار گرفته شده و مجموع ۶۱۱ جلسه ترویجی، ۳۱۸۰ نفرساعت آموزش‌های مربوط به منابع آب یعنی در حدود ۳/۶ درصد کل آموزش‌ها را شامل شده است و ۶/۹ درصد آموزش‌های مربوط به زراعت و باغبانی را شامل شده است. نمودار شکل ۲ ، میزان آموزش‌ها را در استان قزوین از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ نمایش داده است. نکتهٔ مهم در این نمودارها نوسان دوره‌های آموزشی است به‌طوری که نه تنها این آموزش‌ها به نسبت تغییرات الگوی کشت کشاورزان و الگوی مصرف آب آنها افزایش نیافته، بلکه شامل روال منظمی نیز نیست. این اطلاعات نشان می‌دهد که موضوع آموزش در خصوص بهبود مصرف آب و آگاه‌سازی کشاورزان در رعایت الگوی کشت مصوب و بهبود بهره‌وری به جایگاه واقعی خود دست پیدا نکرده است و نیاز به آموزش‌های بیشتر وجود دارد. این در حالی است که آموزش‌های لازم برای کارکنان و کشاورزان سیر نزولی دارد. آموزش‌های مربوط به کشاورزان که نیاز به برنامه‌ریزی مدون و تخصیص اعتبار لازم دارد، به‌ویژه در زمان تغییر سطوح مدیریتی بالا (حوالی سال ۱۳۹۲) به افت شدید دچارشده است. آموزش‌های فنی و حرفه‌ای نیز با توجه به فرآیند اجرای آن در سطوح وزارت کار و وزارت علوم و به دلیل استقبال نشدن عمومی روال نامنظم و تقریباً معکوس روال آموزش کشاورزان را داراست.



شکل ۲- نمودار مقایسه‌ای آموزش‌های ارائه شده در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸در قزوین

Figure 2- Comparative chart of education presented in 2006-2019 at Qazvin province

توسعهٔ رویکرد نکسوس و ابزار پیاده‌سازی آن

شبکه‌های آبیاری به منظور ایجاد شرایط مناسب برای بهره‌برداری موثر از منابع آب و افزایش راندمان آبیاری احداث می‌شوند، اما به دلیل بهره‌برداری نشدن و نگهداری نا مناسب کارایی آنها پایین است. بطوریکه متوسط بازده کل آبیاری در کشور در حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد و در شبکه آبیاری قزوین ۳۵ درصد می‌باشد (Siyahi, 2007). در حال حاضر مدت زیادی از ساخت اولین شبکه‌های آبیاری در جهان می‌گذرد و بسیاری از آنها به دلایل مختلفی تخریب شده اند یا به‌صورت غیرفعال درآمده‌اند. برخی از این دلایل شامل مشکلات فنی و سازه‌ای، مسائل زیست محیطی، اجتماعی، مدیریت بهره‌برداری و نگهداری، و استفادهٔ

نابهینه از منابع آب است. مجموعهٔ این عوامل باعث ضعف عملکرد شبکه‌ها، فرسوده شدن زودهنگام تاسیسات آبی و آبیاری، و کاهش عمر مفید آنها در اثر سوء مدیریت می‌شود (Kavehkar & Parvaresh Rizi, 2009). ارزیابی سیستم-های متداول آبیاری نشان داده است که مطلوبیت اغلب آنها به دلیل نقص در طراحی و اجرا، نگهداری و تعمیرنامناسب، و فقدان مدیریت شایسته پایین‌تر از حد انتظار است (Monem *et al.*, 2001).

اگر فرض شود که در تأمین نیاز کاربران در شبکه‌های آبیاری برای تحویل آب با رویکردهای عدالت، کفایت، پایداری و راندمان، تحلیل‌هایی بشود در جهت بهبود روش-های تحویل و توزیع و به طور کلی با مدیریت هوشمند انتقال، توزیع و تحویل آب، به کارگیری سیستم‌های خودکار و فناوری‌های کنترلی مناسب‌تر روش‌های کاراتری اعمال شود، باز هم نمی‌توان مدعی شد که میزان آب مصرفی در جهت مصرف بهینهٔ انرژی و تولید حداکثری غذا به کار رفته است. این موضوع در راستای تأمین پایداری هر یک از منابع قابل بحث است.

با در نظر گرفتن نتیجهٔ تحقیقات می‌توان گفت که تأمین امنیت در کدام یک از منابع اساسی مورد نیاز بشر بدون در نظر گرفتن تأثیر دیگر منابع، که هر یک تابعی از عوامل اشاره شده است، بر دیگری عملاً کاری ناقص است.

از این رو تعریف پویایی سیستم[1] برای بررسی وضعیت هر منبع به عنوان هستهٔ اصلی مدل- با توجه به اینکه متغیرهای اساسی آن در زمان متغیرند - و پایداری آن با توجه به عناصر مرتبط و اندرکنش منابع بر یکدیگر، در تأمین امنیت این منابع امری ضروری است که در دههٔ اخیر تحت عنوان تئوری نکسوس دربارهٔ آن بحث می‌شود. بررسی این مجموعه و سیستم و ارتباط عناصر آن باید در ابعاد مختلف مورد بحث قرار گیرد. اصولاً پیوند بین آب، انرژی و غذا در بحث‌های مدیریت، تحلیل، طرح و اجرا مورد توجه محققان بوده است(Bach, 2012). بنابراین، وجود یک مفهوم (دیدگاه) جدید برای فهم مؤثر درون‌پیوستگی آب، غذا و انرژی و چگونگی حصول اطمینان از امنیت آنها برای یک جمعیت پیوسته در حال رشد لازم خواهد بود (Hanlon *et al.*, 2013). نکسوس نظریه‌ای است که بر فهم روابط پیچیده و پویای بین آب، غذا و انرژی تأکید می‌کند، به‌طوری‌که بتوان به‌شکلی پایدار از منابع محدود استفاده و آنها را مدیریت کرد (WEF, 2014; FAO, 2014). اصل کلی و وجه تمایز این نظریه با دیگر دیدگاه‌ها تأکید بر امنیت منابع، به جای پایداری[2] است. بدون تأمین امنیت منابع در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی نمی‌توان انتظار توسعهٔ پایدار داشت. یکی از مشخصات ویژهٔ این نظریه، بر خلاف دیگر دیدگاه‌ها مانند مدیریت جامع منابع آب، این است که اهمیت هر سه بخش آب، غذا و انرژی به یک اندازه مورد تأکید و توجه قرار می‌گیرد. بنابراین، لزوم مطالعه ارتباط بین بخش‌ها در سیستم برای جلوگیری از هدررفت دیگر منابع به ازای برداشت مناسب از منابع دیگر از مراحل اصلی این دیدگاه است. هر چند هستهٔ اصلی این سیستم جدید متشکل از سه عنصر آب، غذا و انرژی است ولیکن در بررسی جامع، همهٔ توانمندی‌ها، فرصت‌ها و موانع، عوامل دیگری به عنوان محرک می‌توانند در بررسی و ارزیابی سه منبع اساسی نقش مهمی ایفا کنند، و استفاده از دیگر منابع اصلی را تحت‌الشعاع قرار دهند.

با توجه به اصول نکسوس، در هر قلمروی که بتوان تأمین امنیت هر منبع و تأثیر منابع سه‌گانه را روی یکدیگر مشاهده و تحلیل کرد تئوری نکسوس را نیز می‌توان پیاده کرد.

به کمک علم پویایی سیستم‌ها ضمن شناسایی تعامل اجزای مختلف رویکرد نکسوس در شبکه‌های آبیاری، مدل مفهومی و جامع بهره برداری شبکه‌ها تهیه می‌شود. این مدل با هدف برقراری امنیت آب، غذا و انرژی تدوین

[1] System Dynamics.

[2] Sustainability

می‌گردد که با استفاده از آن پیامدهای تصمیم‌گیری‌ها آشکار می‌شود. یادگیری رفتار شبکه‌ها در شرایط فعلی و آینده تسریع و تسهیل می‌گردد و تصمیم‌های مدیریتی مناسب در شبکه‌های آبیاری با توجه به رویکرد پویایی نکسوس اتخاذ خواهد شد. در این مدل، با بررسی همزمان عوامل موثر و متأثر در بهره‌وری و امنیت منابع و با در نظر گرفتن ساختارهای حاکم بر شبکه‌های آبیاری، درک واقع‌بینانه‌تری از رفتار شبکه‌ها به دست می‌آید و امکان مطالعهٔ بازخوردهای تغییرات این عوامل روی سایر اجزای شبکه وجود خواهد داشت.

عملکرد شبکه عموماً بر اساس شاخص‌های مختلفی مانند مقدار آب تخصیص‌یافته، مقدار مادهٔ غذایی به دست آمده، مقدار انرژی استفاده شده و کاهش ارزش زمین (با توجه به شوری یا باتلاقی شدن) بر حسب واحد آب موجود شاخص‌بندی می‌شود که هر یک از شاخص‌ها خود به نوعی وابسته به عوامل مختلف تخصیص آب است. رفتار هر یک از شاخص‌ها در تعامل با تعیین رفتار پویای شبکه و مبتنی بر الگوهای رفتاری[3] و نمودارهای علّی‌معلولی[4] (CLD) در شبکه است که نهایتاً مطلوبیت یا عملکرد شبکه را تعیین می‌کند. بنابراین بر اساس منابع مرتبط در مدل سیستمی، شاخص نکسوس با ترکیب خطی هشت شاخص فرعی محاسبه‌شده در مدل به شرح زیر تعریف شد: شاخص‌های عملکرد محصول، بهره‌وری آب کشاورزی، بهره‌وری انرژی، بهره‌وری اقتصادی آب، بهره‌وری اقتصادی غذا، بهره‌وری اقتصادی انرژی، کفایت آب در شبکه و نهایتاً نسبت تولید محصول شبکه به تولید استان.

-
-
-
-

الگوی سیستمی[5] و زیرسیستم‌های مرتبط با عوامل آموزش ترویجی

مطابق با تحقیقات اصلانی و همکاران (Aslani *et al.* 2023)، مدل بهبود مدیریت شبکه‌های آبیاری منطبق با رویکرد زنجیره اندرکنش منابع آب، غذا و انرژی (نکسوس) در هشت زیرسیستم بر اساس نتایج جلسات بازدید، مصاحبه و پرسشنامه از کارشناسان، ذی‌نفعان و خبرگان صنعت آب تدوین شد. اساس این مدل، هشت دغدغهٔ اصلی ذیل فعالیت کشاورزی در منطقه بوده است. هشت دغدغهٔ اصلی به عنوان مکانیسم‌های مهم پویایی سیستم برای هر دو سطح (مدیریت شبکه و مدیریت مزرعه) به شرح زیر شناسایی شد:

زیرسیستم محدودیت منابع آب در حوزهٔ یک شبکهٔ آبیاری که رشد مهم‌ترین حلقهٔ اقتصادی منطقه را متأثر می‌کند (الگوی محدودیت رشد).

زیرسیستم ترکیبی در مواجهه با ضعف شاخص عدالت در شبکهٔ آبیاری (الگوی موفقیت در پی موفق در کسب منابع آب بیشتر، الگوی جابه‌جایی مشکل در تأمین نیاز آبی کشاورزان پایین‌دست و الگوی تهدید و تشدید در افزایش میزان نیاز آبی حاصل از تغییرات الگوی کشت در کل کشاورزی منطقه).

زیرسیستم مجموعه اقدامات شخصی و مدیریتی در مواجهه با کسری حجم آب موجود در دسترس شبکه حاصل از اتخاذ تصمیمات بدون پشتوانهٔ بلندمدت (الگوهای ترکیبی راه-حل‌های منجر به شکست در تأمین نیاز آبی از منابع زیرزمینی، تخصیص منابع بیشتر آبی برای تأمین تعهدات شبکه و تغییرات در الگوی کشت به‌منظور تحصیل محصول بیشتر).

زیرسیستم مجموعه تصمیمات فردی کشاورزان و راهکارهای مقطعی مدیران در مواجهه با نیاز آبی تأمین‌نشده در بخش کشاورزی (الگوی ترکیبی از راه‌حل‌های منجر به

[3] Archetypes.
[4] Causal Loop Diagrams
[5] System Archetype

شکست به‌منظور دسترسی غیرمجاز به منابع زیرزمینی و الگوی جابه‌جایی مشکل در مواجهه مدیران شبکه با مشکل برداشت‌های غیرمجاز با ارائهٔ راه‌حل انسداد چاه‌ها).

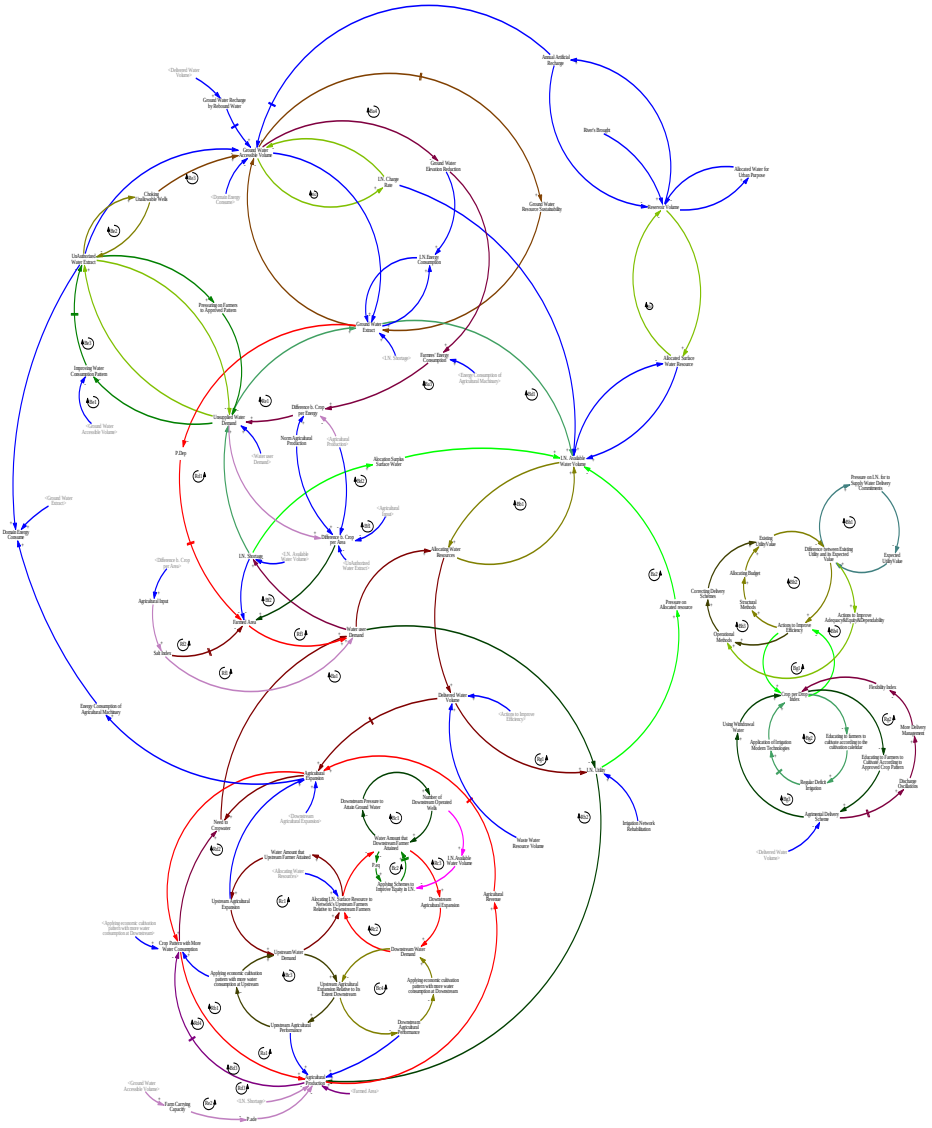
- زیرسیستم میزان عملکرد محصول (معضل استفاده از نهاده-های کشاورزی) (الگوی ترکیبی راه‌حل‌های منجر به شکست در استفادهٔ کشاورزان از نهاده‌های کشاورزی و عواقب شوری زمین و افزایش سطح زیر کشت در رسیدن به محصول بیشتر).
- زیرسیستم مواجهه با مهم‌ترین معضل بخش کشاورزی (بهره‌وری آب در کشاورزی)، (الگوی جابه‌جایی مشکل در برخورد مسئولان شبکه در بهبود میزان بهره‌وری آب از طریق بهبود راندمان شبکه در مقابل راه‌حل بهبود بهره‌وری آب در سطح بلوک‌های زراعی و الگوی راه‌حل منجر به شکست توسعهٔ طرح تحویل توافقی با ابزار آموزش به کشاورزان در مقابل تأثیرات بلندمدت مدیریت بیشتر آب تحویلی به کشاورزان).
- زیرسیستم کاهش محسوس مطلوبیت شبکه (الگوی تقلیل اهداف مطابق با فشارهای وارد به مسئولان شبکه و نهایتا تنزل اهداف اولیهٔ طرح شبکه آبیاری که نیازمند بازنگری در زیرساخت‌های سازه‌ای و توانمندسازی مدیریتی در شبکهٔ آبیاری است).
- زیرسیستم تبیین شاخص نکسوس به عنوان اصلی‌ترین شاخص ترکیبی از منظر آب، غذا و انرژی (ارائه راهکار بهبود مطلوبیت در مقابل افزایش سطح زیر کشت به عنوان راه‌حل بی‌اثر در این زمینه).

نتایج

توسعهٔ مدل مفهومی – تبیین زیرسیستم‌های مرتبط با آموزش

مکانیسم‌های فوق‌الذکر مطابق شکل ۳ و در قالب زیرسیستم‌های پویایی سیستم تدوین شد و نهایتاً مدل نهایی از تلفیق زیرسیستم‌ها با چارچوب سیستمی تحقیق به دست آمد. در این بین، سه زیرسیستم محدودیت رشد[6] توسعه کشاورزی (زیرسیستم اول)، زیرسیستم نیاز تأمین نشده آب کشاورزان ترکیبی (الگوی سیستمی ترکیبی از راه‌حل‌های منجر به شکست[7] و انتقال بار مسئولیت[8]) و زیرسیستم بهبود شاخص بهره‌وری آب کشاورزی (الگوی سیستمی ترکیبی از انتقال بار مسئولیت و راه‌حل‌های منجر به شکست) مطابق نمودارهای شکل‌های ۴ تا ۶ به مدل اصلی اضافه شد.

[6] Limit to Growth
[7] Fixes that Backfire
[8] Shifting the Burden



شکل۳- مدل مفهومی زنجیرهٔ آب، غذا و انرژی در شبکه‌های آبیاری ایران

Figure 3. Conceptual model of water, food and energy chain in Iranian irrigation networks

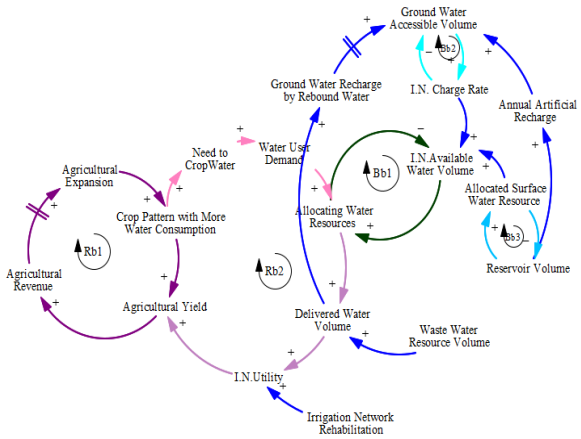
مطابق مدل شکل ۴، توسعهٔ کشاورزی منطبق با تغییر الگوی کشت و با حرکت به سمت الگوهای آب‌بر میزان عواید کشاورزان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و این حلقه (Rb1) با ایجاد شتاب در میزان آب درخواستی در شبکه مؤثر خواهد بود. حلقه (Rb2) ماحصل تشدید نیاز آبی توسط توسعهٔ کشاورزی هم در الگو و هم در سطح زیر کشت اراضی است. این حلقه با حلقه متعادل‌کننده (Bb1)، ناشی از محدودیت منابع آبی متوقف می‌شود. در واقع با عنایت به تأمین آب شبکه از دو منبع آب سطحی حاصل از برداشت از سد زیاران و تأمین آب از منابع چاه‌های تلفیقی (آب زیرزمینی) حلقه (Bb1) توسط دو مکانیزم فعال می‌شود. یک مکانیزم حاصل از محدودیت منابع زیرزمینی در دسترس شبکه است که با متغیر I.N. Charge Rate نشان داده شده است (حلقه Bb2)، و دیگری کم شدن آورد سطحی از سد زیاران (حلقه

Bb3) است که محدودیت را در حلقهٔ توسعهٔ کشاورزی تحمیل می‌کنند.

مطابق مدل شکل ۵، در پاسخ به نیاز تأمین‌نشدهٔ کشاورزان، راه‌حل کوتاه‌مدت استخراج‌های غیرمجاز به طور مقطعی نیاز کشاورزان را تأمین می‌کند (متعادل می‌کند)(Be1). این در حالی است که در بلندمدت، با تشدید کمبود آب در دسترس زیرزمینی برای کشاورزان به‌منظور استخراج میزان، شاخص میزان محصول در واحد انرژی مصرفی کاهش خواهد داشت و برداشت غیر مجاز راه‌حل مثمر ثمری برای تأمین نیاز آبی تأمین نشده نخواهد بود (Re1). مضافاً اینکه میزان آب در دسترس گیاه (ظرفیت زراعی مزرعه) کاهش شدید دارد (با توجه به ممنوع شدن دشت قزوین) و نهایتاً به میزان تولید محصول در بلندمدت کاهش نشان خواهد داد (Re2).

در مقابل راه‌حل‌های ارائه شده از سوی کشاورزان، راه‌حل‌های ارائه شده از سوی نهادهای نظارتی، مسدود کردن چاه‌هاست که به نقل از کارشناسان آب منطقه‌ای، راه‌حل مثمر ثمری نبوده است (Be2). هرچند با این راه‌حل مکانیزم احیای منابع زیرزمینی فعال می‌شود (Re3) و راه‌حل اساسی بهبود مصرف آب (به واسطهٔ پارامترهای فشار روی کشاورزان به واسطهٔ تأمین کفایت و آموزش‌های ترویجی) است.

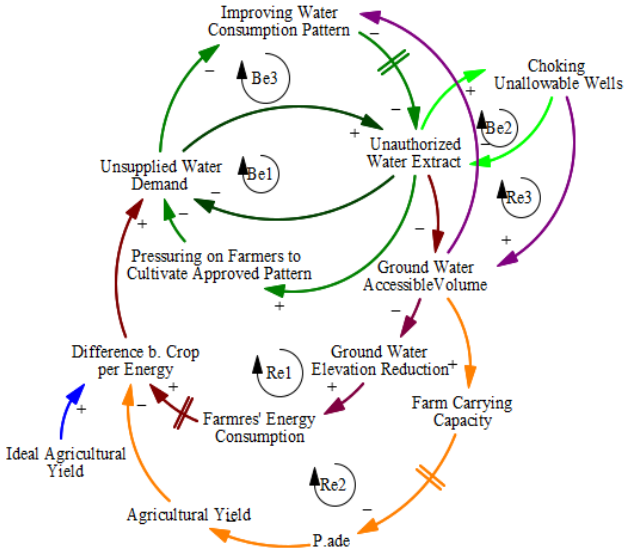
مطابق مدل شکل ۶، در خصوص بهبود بهره‌وری آب کشاورزی، راه‌حل‌های پاسخ داده شده، بهبود شرایط تأمین راندمان از طریق بهبود زیرساخت‌های شبکه همزمان با بهبود زیرساخت‌های مدیریتی است (بهسازی‌های فیزیکی و مدیریتی)(Bg1)؛ این در حالی است که به عقیدهٔ کارشناسان، توسعهٔ طرح‌های مدیریتی مانند کم‌آبیاری تنظیم شده[9] به واسطهٔ آموزش‌های ترویجی در خصوص کشت مطابق تقویم کشت و نهایتاً مدیریت آب در مزرعه می‌تواند کارایی بهتری داشته باشد (Bg2). به موازات الگوی سیستمی یاد شده (انتقال بار مسئولیت)، الگوی دیگری در شبکه فعال می‌شود؛ به این ترتیب که راه‌حل آموزش‌های ترویجی (در خصوص کشت مطابق الگوی کشت مصوب)، باعث ارتقای طرح توزیع توافقی می‌گردد که به بهبود بهره‌وری در کل سیستم آبیاری می‌انجامد (Bg3) که در بلندمدت با توجه به ایجاد نوسان در سیستم و متعاقب آن مدیریت سیستم باعث کاهش انعطاف‌پذیری سیستم می شود که منجر به‌کاهش بهره‌وری آب کشاورزی می‌گردد (Rg2).



شکل ۴- مدل زیرسیستم محدودیت رشد توسعهٔ کشاورزی

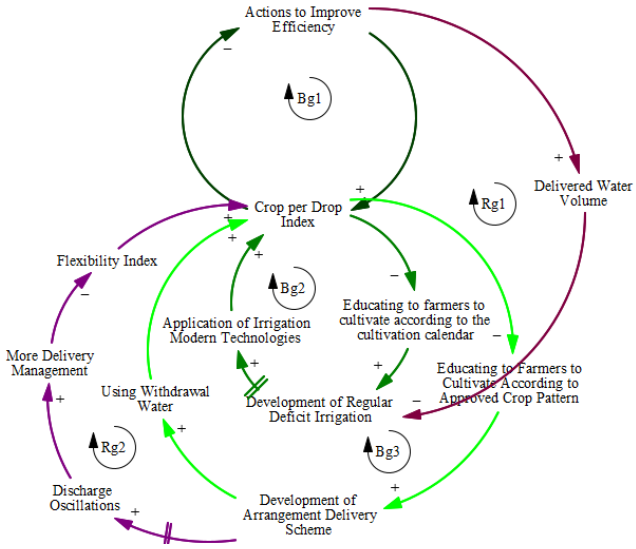
Figure 4- Subsystem model for limitation of agricultural expansion growth

[9] Regular Deficit Irrigation



شکل ۵- مدل زیرسیستم ترکیبی نیاز آبی تأمین نشدهٔ کشاورزان

Figure 5- integrated Subsystem model unsupplied water needs of farmers



شکل ۶- مدل زیرسیستم ترکیبی بهبود بهره‌وری آب کشاورزی

Figure 6- integrated Subsystem model for improving agricultural water productivity

مدل جریان[10]-حالت[11] زیرسیستم‌ها و نقش پارامترهای آموزش و ترویج

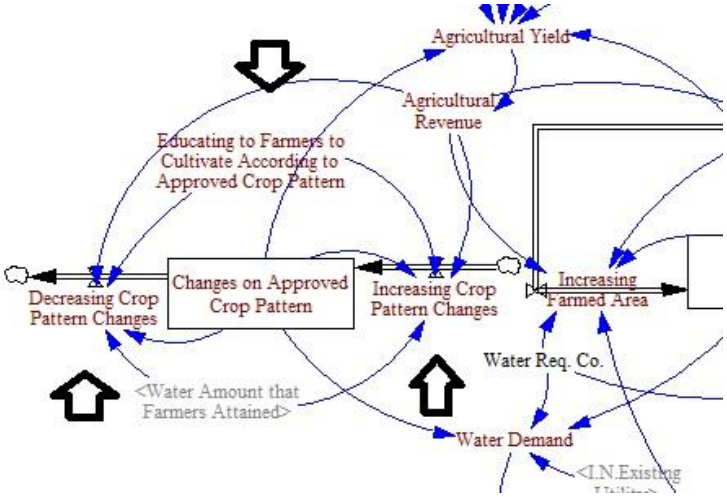
به دنبال توسعهٔ مدل مفهومی، برای کمّی‌سازی مدل به‌منظور محاسبات، لازم است تا مدل جریان-حالت و مدل کمی توسعه یابد. در این مرحله، با توجه به لزوم تعریف روابط، لازم است تا متغیرهای کمکی به مدل اضافه شود و متغیرهای حالت را توجیه کنند که مشابه مدل‌های شکل ۷ تا ۹ توسعه یافته‌اند.

رابطهٔ آموزش‌های ترویجی در افزایش یا کاهش تغییرات الگوی کشت موجود نسبت به الگوی کشت مصوب از اطلاعات گزارش سازمان کشاورزی استان قزوین استخراج گردید. رابطهٔ تغییرات آموزش‌های ترویجی بر دو متغیر

[10] Flow Variable

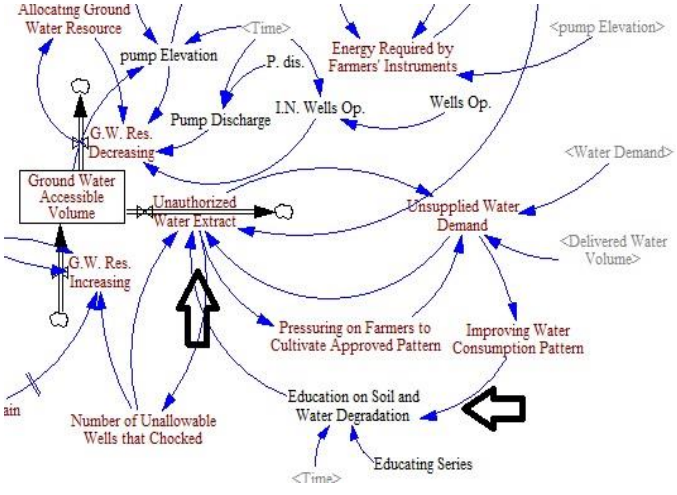
[11] Stock Variable

جریان افزایشی و کاهشی الگوی کشت و تاثیر نهایی بر متغیر حالت الگوی کشت موجود به صورت تابع شرط (شکل ۷) بیان گردید. از طرفی، میزان آموزش و میزان استخراج‌های غیرمجاز آب زیر زمینی با توجه به همبستگی موجود میان متغیر آموزش با دیگر پارمترهای موثر، از رگرسیون خطی چندمتغیره استخراج گردید (شکل۸). با توجه به رابطهٔ دو طرفه بین میزان آموزش‌های مربوط به تقویم کشت با متغیر توسعهٔ طرح توافقی، از رابطه رگرسیون این دو متغیر استفاده شد. از طرفی، با توجه به تأثیر دیگر پارامترها در توسعهٔ طرح توافقی و موجود بودن همبستگی لازم، رابطهٔ رگرسیون خطی چندمتغیره برای تعیین توسعهٔ طرح توافقی استخراج گردید (شکل۹).



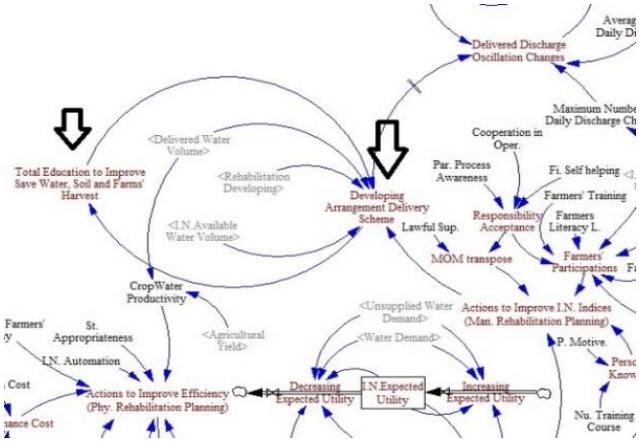
شکل ۷- پارامتر آموزش در مدل توسعهٔ کشاورزی

Figure 7- Education parameter in the agricultural expansion model



شکل ۸- پارامتر آموزش در مدل منبع آب زیرزمینی

Figure 8- Education parameter in the groundwater resource mode



شکل ۹- پارامتر آموزش در مدل توسعهٔ طرح توافقی

Figure 9- Education parameter in the plan of arrangement development model

متغیرهای مرتبط در روابط مورد نظر بر اساس الگوهای رفتاری و مدل‌های جریان-حالت در هریک از زیر سیستم‌ها شناسایی شد. معادلات کمی برای روابط یاد شده، با استفاده از رگرسیون خطی چندمتغیره و بر اساس داده‌های تاریخی موجود در شبکه از سال ۱۳۷۹ استخراج شده است. چهار رابطهٔ مرتبط با آموزش‌های ترویجی در سه زیرسیستم به شرح زیر استخراج گردید. در کلیهٔ این روابط متغیرها به صورت درصد استاندارد شده بیان شده اند.

در زیر سیستم محدودیت رشد توسعهٔ کشاورزی، تغییرات الگوی کشت (CPC) به سه متغیر شامل درآمدهای کشاورزان (AR)، میزان آب تحویلی (DWV)، و آموزش‌های ترویجی مرتبط با کشاورزی و الگوی کشت (AEE)، وابسته است و به صورت رابطهٔ ۱ به دست آمد.

$$CPC = 0.812\ AR + 0.45\ DWV + 0.518\ AEE - 1.4 \quad (۱)$$

در زیر سیستم نیاز آبی تامین نشده، برداشت غیر مجاز آب (UWE) به صورت تابعی از چهار متغیر شامل برداشت آب زیر زمینی(GWV)، نیاز آبی تامین نشده(UWD)، آموزش‌های ترویجی مرتبط با آب و خاک (WEE)، و بهره-وری انرژی برای استخراج آب زیر زمینی(EP) به صورت رابطهٔ ۲ به دست آمد.

$$UWE = GWV + 1.149\ UWD - 0.016\ WEE + 0.169\ EP \quad (۲)$$

بهره‌وری آب کشاورزی تابعی است از انعطاف‌پذیری که نشان دهندهٔ میزان اختیارات کشاورزان در مدیریت آبیاری مزارع است. انعطاف‌پذیری در شبکه تحت عنوان توسعهٔ طرح توافقی(DAD) بیان شده است. طرح توسعهٔ توافقی تابعی است از نسبت آب تحویلی(DWV) به آب در دسترس شبکه(AWV)، میزان بهسازی‌های فیزیکی(PI) و مدیریتی (MI) در شبکه، نوسان‌های دبی روزانهٔ تحویلی(DDA) ، و کل آموزش‌های ترویجی (EE) که به صورت رابطهٔ ۳ به دست آمد.

$$DAD = (DWV/AWV) + PI + (MI/4\ DDA) + EE \quad (۳)$$

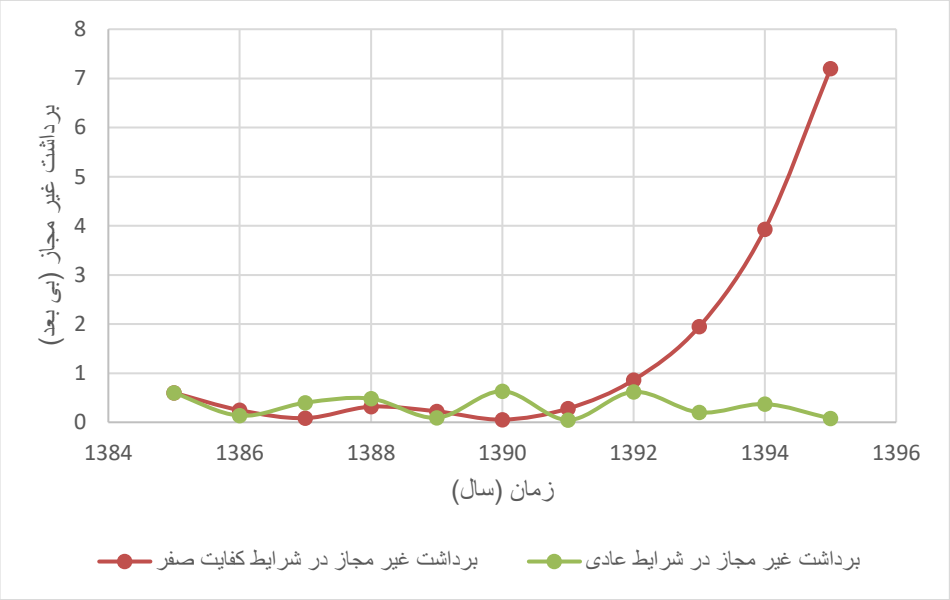
از طرفی، میزان کل آموزش‌های ترویجی به صورت برگشتی، خود وابسته به میزان توسعهٔ طرح توافقی است. رابطهٔ رگرسیونی مستقیم این دو متغیر به صورت رابطهٔ ۴ به دست آمد.

$$EE = -0.174\ DAD \quad (۴)$$

صحت‌سنجی مدل

مدل برای سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ تدوین و اجرا شد و صحت کارکرد آن با توجه به مکانیزم‌های شناسایی شده

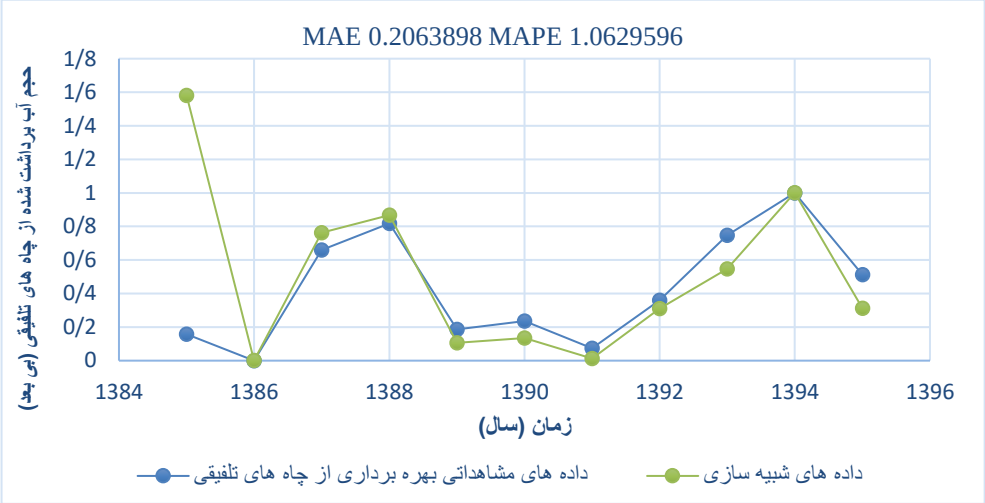
و روابط به دست آمده برای این سال‌ها ارزیابی گردید. مطابق فرآیند مدل‌سازی برای مدل‌های سیستمی، برای آزمون‌های شرایط حدی و تکرار رفتار صحت‌سنجی شد. برای حصول اطمینان از فرایند صحیح کارکرد مدل چندین آزمون شرایط حدی مختلف به‌اجرا درآمد. در یک آزمون تولید محصول برای شرایط مصرف انرژی صفر، مصرف آب صفر و سطح تحت کشت صفر بررسی گردید. میزان برداشت غیر مجاز برای کاهش انرژی الکتریکی، میزان برداشت غیر مجاز برای کاهش کفایت تا صفر و میزان انعطاف‌پذیری برای کاهش نوسان‌های تحویل دبی تا صفر آزمون گردید. کلیهٔ متغیرهای متأثر تحت تغییرات صورت‌گرفته در مدل، رفتار حدی مورد انتظار را از خود نشان دادند. نمودار شکل ۱۰، آزمون شرایط حدی را برای میزان برداشت غیرمجاز آب در شرایط کفایت صفر نشان می‌دهد. طبیعی است در صورت شرایط کفایت صفر، انتظار می‌رود برداشت غیر مجاز آب به‌طور روزافزون افزایش یابد که نتیجه حاصل حاکی از درستی عملکرد مدل است.



شکل ۱۰- تغییرات برداشت‌های غیرمجاز برای کفایت تحویل صفر

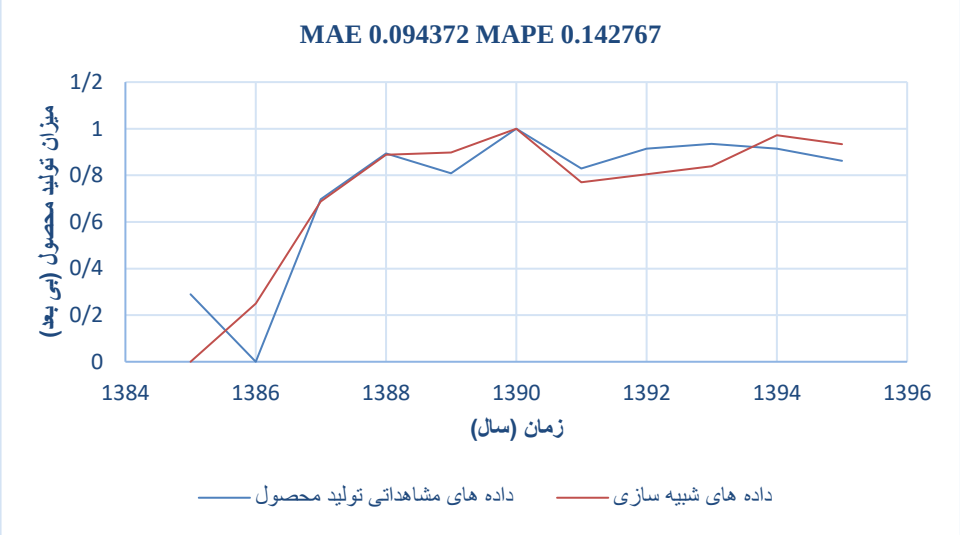
Figure 10- Unauthorized Extraction Changes for Zero Delivery Adequacy

برای پنج متغیر شامل حجم آب در دسترس شبکه، حجم برداشت آب زیرزمینی، حجم آب تحویلی، میزان تولید محصول و سطح کشت اراضی آزمون تکرار رفتار انجام شد. در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ میزان برداشت آب زیرزمینی و میزان تولید محصول برای سال‌های مدل‌سازی در مقایسه با مقادیر مشاهداتی ارائه شده است. روند نمودارها و مقادیر حداکثر مطلق خطا (MAE) و میانگین درصد مطلق خطا (MAPE) نشان دهندهٔ انطباق مناسب نتایج مدل توسعه یافته با مقادیر مشاهداتی است.



شکل ۱۱- آزمون تکرار رفتار برای متغیر برداشت آب زیرزمینی

Figure 11- Behavioural Test for GroundWater Extraction Variable

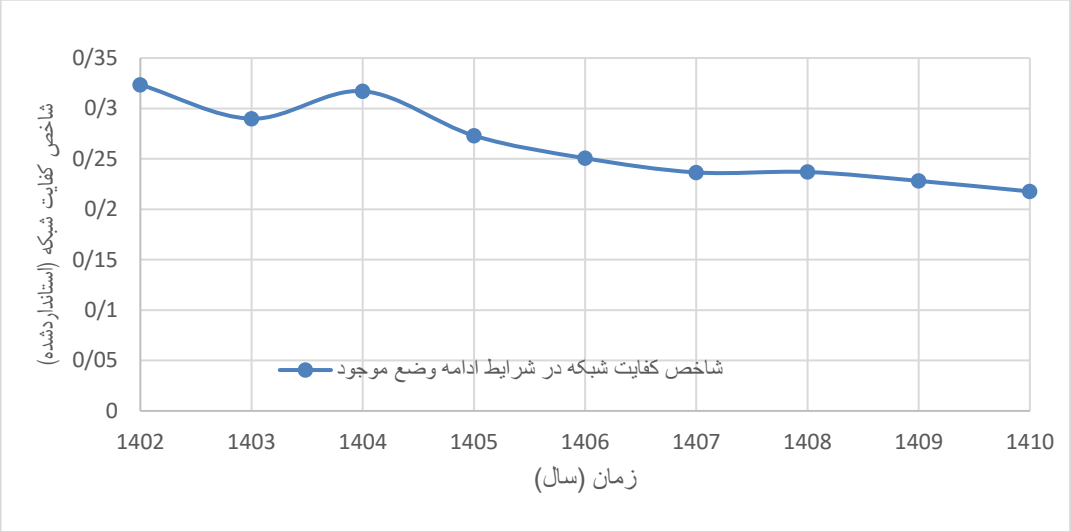


شکل ۱۲- آزمون تکرار رفتار برای متغیر تولید محصول

Figure 12- Behavioural Test for Yield Production Variable

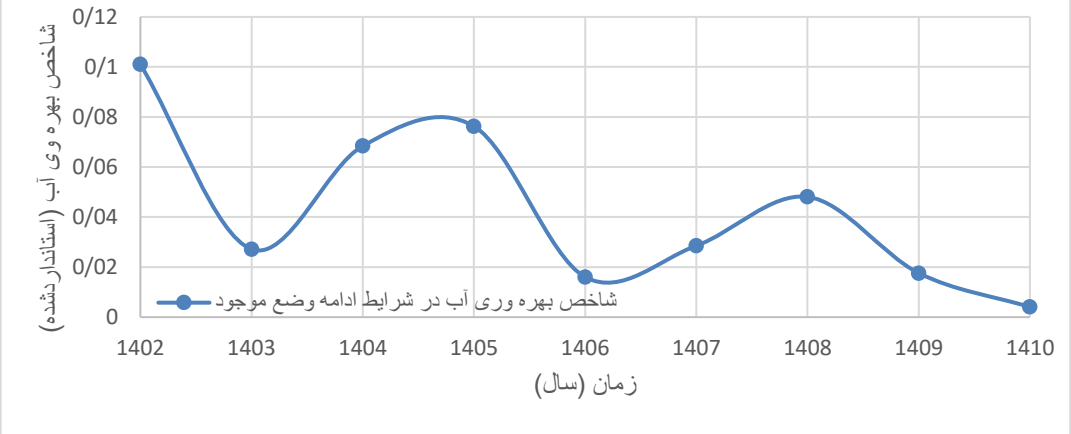
روند اجرای مدل تا سال ۱۴۱۰

مدل توسعه‌یافتهٔ مدیریت شبکه مبتنی بر رویکرد نکسوس در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ مدل‌سازی و صحت-سنجی شد. با عنایت به تایید کارایی آن، مدل برای بررسی روند تغییرات در سال‌های ۱۴۰۲ تا ۱۴۱۰ به‌کارگرفته شد. با در نظر گرفتن به‌کارگیری عامل آموزش در دو زیرسیستم مهم محدودیت رشد توسعه کشاورزی و زیرسیستم نیازآبی تأمین‌نشده، تأثیر تغییرات متغیر آموزش در دو شاخص بهره‌وری آب کشاورزی و کفایت شبکه بررسی گردید که مطابق نمودارهای شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ ارائه شده است.



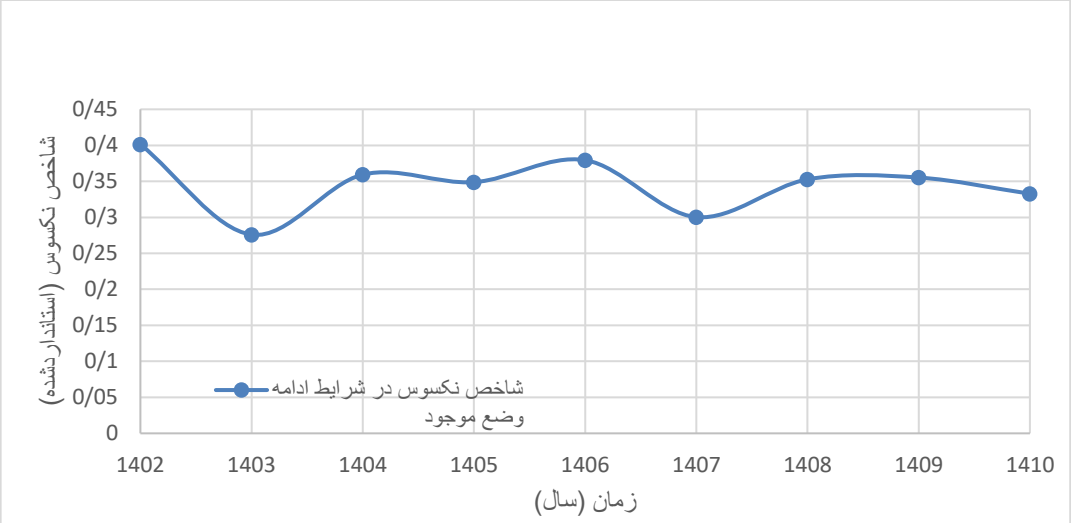
شکل ۱۳- تغییرات شاخص کفایت شبکه تا سال ۱۴۱۰

Figure 13- Changes in network adequacy index by 2031



شکل ۱۴- تغییرات شاخص بهره‌وری آب شبکه تا سال ۱۴۱۰

Figure 14- Changes in network water adequacy index by 2031



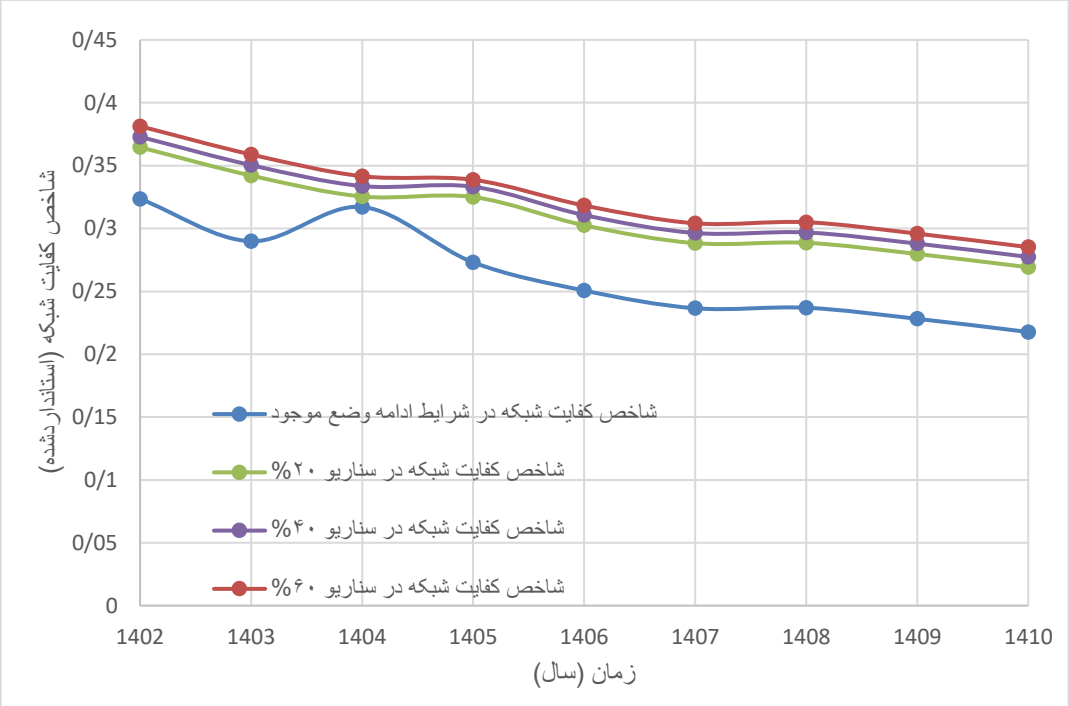
شکل ۱۵- تغییرات شاخص نکسوس تا سال ۱۴۱۰

Figure 15- Changes NEXUS index by 2031

روند کاهش تغییرات تا سال ۱۴۱۰ در مدل مدیریت شبکهٔ آبیاری قزوین ناگزیر بوده و این کاهش در هشت شاخص فرعی مترتب این موضوع است. این روند در شاخص کفایت شبکه تا سال ۱۴۱۰ با توجه به تعریف این شاخص یعنی نسبت تحویل به تقاضای آب، شدیدتر خواهد بود که به متغیر میزان آب در دسترس شبکه از دو منبع آب سطحی و آب زیرزمینی بر می‌گردد. تغییرات نمودار شاخص بهره‌وری آب نیز با توجه به تمهیدات اندیشیده شده تا سال ۱۴۱۰ بهبود قابل توجهی نمی‌یابد. لازم است گفته شودکه نوسان ایجاد شده در نمودارهای خروجی مدل دینامیک بیانگر آن است که برخی مکانیزم ها اگرچه موجب بهبود کوتاه مدت بهره‌وری شده‌اند، اما مکانیزم های متعادل کننده فعال شده و با تاخیر زمانی مشخصی مجددا آن را کاهش داده‌اند.

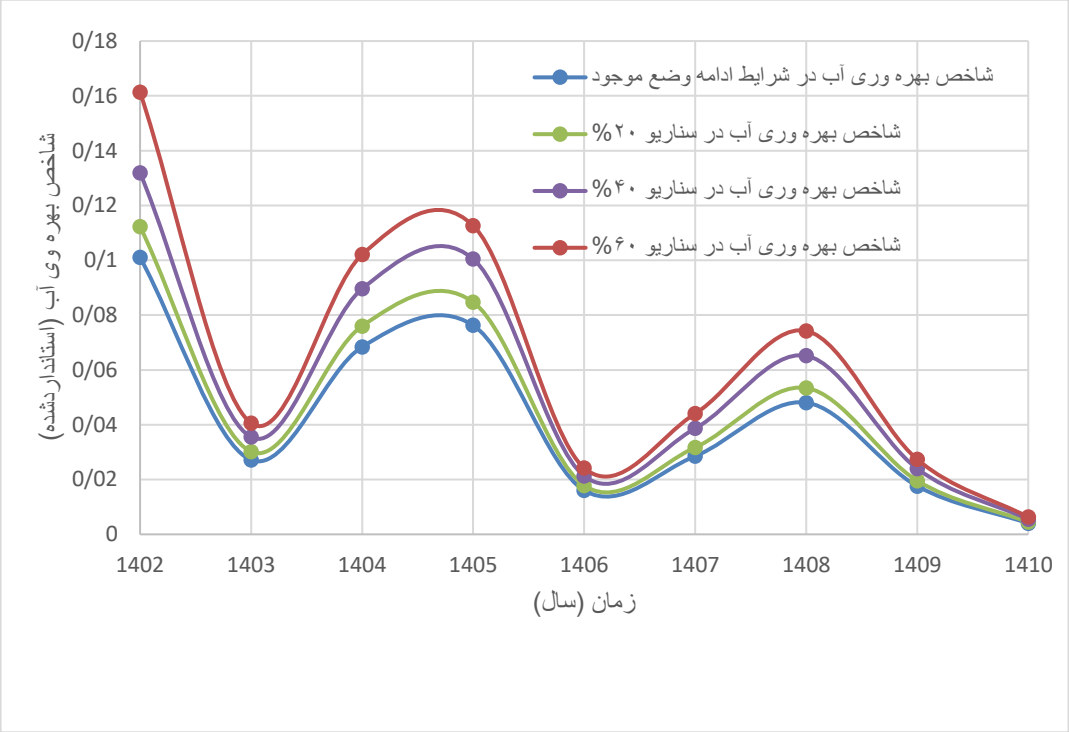
به کارگیری سیاست افزایش آموزش‌های ترویجی

برای بهبود روند کاهشی شاخص نکسوس و شاخص‌های مرتبط با آن یعنی کفایت شبکه و بهره‌وری آب، میزان آموزش به عنوان یکی از متغیرهای مؤثر در میزان رعایت الگوی کشت و الگوی مصرف آب، در سه گزینه ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد افزایش مورد آزمون و بررسی قرار گرفت. نتایج مربوط برای شاخص‌های تشکیل‌دهنده شاخص نکسوس محاسبه گردید که مطابق شکل‌های ۱۶ تا ۱۸ ارائه شده است.



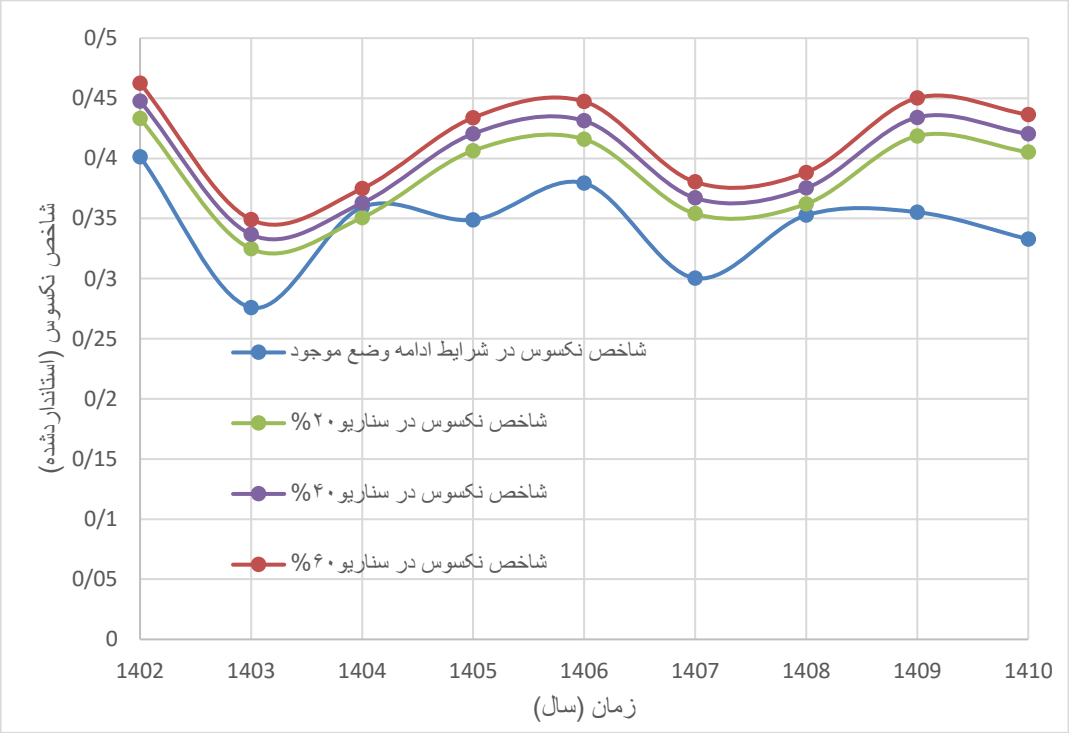
شکل ۱۶- مقایسهٔ تغییرات شاخص کفایت شبکه برای سه گزینه نسبت به ادامهٔ شرایط موجود تا سال ۱۴۱۰

Figure 16- Comparison of changes in network adequacy index for three scenarios compared to the continuation of existing conditions by 2031



شکل ۱۷- مقایسهٔ تغییرات شاخص بهره‌وری آب شبکه برای سه گزینه نسبت به ادامهٔ شرایط موجود تا سال ۱۴۱۰

Figure 17- Comparison of changes in network water productivity index for three scenarios compared to the continuation of existing conditions by 2031



شکل ۱۸- مقایسهٔ تغییرات شاخص نکسوس برای سه گزینه نسبت به ادامهٔ شرایط موجود تا سال ۱۴۱۰

Figure 18- Comparison of changes in NEXUS index for three scenarios compared to the continuation of existing conditions by 2031

با توجه به اینکه در مدل جریان – حالت توسعه‌یافته برای توسعهٔ معادلات حاکم از معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره بهره گرفته شده است؛ ضرایب متغیر آموزش-های ترویجی در میزان تأثیر این عامل در شاخص‌های دیگر تعیین‌کننده است. از این رو با توجه به افزایش ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد در سیاست افزایش آموزش‌ها، انتظار می‌رود شاخص‌هایی که مستقیماً متأثر از تغییرات آموزش‌های ترویجی بوده‌اند تغییر کنند و در شاخص اصلی نکسوس تأثیر بگذارند.

مشاهده می شود که اگرچه در اثر دیگر مکانیزم‌های فعال روند شاخص کفایت در گزینه‌های مختلف افزایش آموزش همچنان نزولی است، اما افزایش میزان آموزش‌های ترویجی مانع کاهش بیش از اندازهٔ کفایت نسبت به ادامهٔ وضع موجود شده است. بر این اساس، در شاخص کفایت شبکه میزان تأثیر ۶۰ درصد افزایش در ساعت آموزش می-تواند بهترین تأثیر را در تغییرات شاخص بگذارد.

مشاهده می شود که افزایش آموزش‌های ترویجی در سال‌های اجرای مدل موجب افزایش بهره‌وری آب شده است، و میزان افزایش بهره‌وری متناسب با افزایش آموزش‌ها بوده است. بیشترین افزایش بهره‌وری برای گزینهٔ ۶۰ درصد افزایش آموزش اتفاق افتاده است. اما طی زمان میزان تاثیر افزایش آموزش‌ها بر افزایش بهره‌وری آب کاهش یافته‌است به‌طوری که در سال ۱۴۱۰نزدیک به مقدار آن برای شرایط ادامه وضع موجود رسیده است. این امر معلول تاثیر مکانیزم‌های دیگر است که موجب سیر نزولی بهره‌وری آب شده‌اند. علاوه بر آن، این رفتار ممکن است ناشی از متوازن-نبودن تأثیرگذاری آموزش‌ها در بخش کشاورزی و آب باشد.

به‌رغم تغییرات متفاوت شاخص‌های جزیی، شاخص نکسوس برای کلیهٔ گزینه‌های افزایش آموزش، افزایش داشته است. میزان افزایش شاخص نکسوس متناسب با افزایش آموزش است و برای گزینهٔ ۶۰ درصد بیشترین مقدار را دارد. با توجه به اندرکنش زیرسیستم‌ها می‌توان اثر تغییرات افزایشی در یک متغیر را بر روند تغییرات شاخص نکسوس مشاهده کرد. دیده می شود که اثر گزینه‌های افزایش آموزش در حدی نبوده‌است که روند تغییرات شاخص نکسوس را تغییر دهد، بلکه روند تغییر شاخص نکسوس برای گزینه‌های مختلف با ادامه وضع موجود مشابه است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۱۶ تا ۱۸ می‌توان به اهمیت تأثیر پارامترهای آموزش در کنار دیگر پارامترهای فنی و همچنین فقدان آموزش‌های لازم (و حتی فقدان کلاسه شدن آموزش‌های ارائه شده) در سازمان‌های کشاورزی اشاره کرد. همان‌طور که از آمارهای اداره کشاورزی قزوین و آب منطقه‌ای قزوین برمی‌آید، آموزش‌ها تأثیر چندانی در روند تغییر الگوی کشت حقیقی نسبت به الگوی کشت مصوب نداشته اند. با توجه به تمایل به دسترسی به منافع مبتنی بر روش‌ها و استدلال‌های شخصی و فقدان کلاس‌های توجیهی چه در امر نیاز به احیای منابع زیرزمینی و چه در امر توجیه استلزامات قانونی، میزان استخراج‌های غیر مجاز همچنان صعودی است که این موضوع مؤید کاهش منابع آبی در دسترس کشاورزان است. این موضوع اهمیت تعامل بین سازمان کشاورزی، آب منطقه‌ای و شرکت بهره‌بردار را با کشاورزان تبیین می‌کند. با نگاهی به میزان برنامه‌های آموزشی ارائه شده در سایت اداره کشاورزی، به‌رغم افزایش کمّی در میزان این خدمات، به کارگیری و اهمیت آن در نزد کشاورزان و کارشناسان امر به نظر مهم نیست. با محاسبه سرعت و میزان اثربخشی، نتایج زیر قابل ذکر است:

سرعت اثربخشی در سه گزینهٔ اجرا شده ۲۰ ، ۴۰ و ۶۰ درصد به ترتیب برابر با ۰/۰۰۳۵، ۰/۰۰۳۴ و ۰/۰۰۳۲ بوده است و میزان اثربخشی برای سه گزینه به ترتیب ۰/۰۷۲، ۰/۰۸۷ و ۰/۱۰۴ بوده است. این بدان معناست که افزایش

میزان آموزش‌ها حتی به کمترین مقدار می‌تواند تاثیر شایانی در بهبود عملکرد شبکه از نظر بهبود مصرف آب و رعایت الگوی کشت در راستای مدیریت تقاضای آب داشته باشد. با این حال با عنایت به میزان اثربخشی گزینه‌ها می‌توان گفت که با افزایش بیشینه آموزش می‌توان انتظار تغییرات مؤثرتر را در زمینه‌های گفته شده داشت. به این ترتیب با توجه به عامل میزان اثربخشی، یعنی حداکثر تفاوت در بهبود شاخص نکسوس که در گزینهٔ ۶۰ درصد اتفاق افتاده است، می‌توان گفت که یکی از عوامل بسیار مهم در خدمات کشاورزی چه در راستای بهبود الگوی کشت و چه در راستای بهبود الگوی مصرف آب، آموزش‌های ترویجی است.

مراجع

AJOQP, 2019, Statistics of crop services. Qazvin: Agriculture-Jahad Organization of Qazvin Province (AJOQP). *Available at http://qazvin-ajo.ir*. (In Persian).

Alimardani, A. Keshavarz, M. Karami, R., 2020, Assessing the Priority and Effectiveness of Strategies to Water Productivity Promotion and Comprehensive Development of Agricultural Sector in Development Programs: A Case Study of Qazvin Province of Iran, *Agricultural Economic and Development*. 28(112), 59-91. (In Persian).

Aslani, M., Monem, M. J. and Bagheri, A., 2023, Development Conceptual Model of Water Food Energy Nexus for Water Management in Irrigation Networks in Iran Watersheds Using System Dynamic Approach, Watershed Management Research Papers, No. 28, Vol. 14, PP. 14-36. (In Persian)

Bach, H., 2012, Transboundary River basin management: Addressing water, energy and food security. Mekong river commission, Vientiane, Lao PDR.

Bakker, K., 2012, Water Security: *Research Challenges and Opportunities. Science*. 337 (6097): 914-915.

Boelense, D., Greek, E., and Ladisa, G., 2008, *Water resources in the arid realm*. London &New York: Rutledge, pp. 32-35.

FAO, 2014, "Walking the Nexus talk: Assessing the water, energy food Nexus ", July 2014.

Farahza, M.N., and Nazari, B., 2020, Identifying and analyzing the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of the water efficiency system in the plains of Qazvin province using SWOT model. *Paper Presented at the Second National Conference on Natural Resource Management with a Focus on Water, Flood, and Environment*. Gonbad Kavous.

Fyles, H. and Madramootoo, C. H. 2016. *Water Management Emerging Technologies for Promoting Food Security*. http://dx. doi. org/10. 1016/B978-1-78242-335-5. 00006-8.

Gudarzi, S. Shabanali Femi, H., Moahhed Mohammadi, H. and Jalalzadeh, M., 2011, Investigating personal and professional factors affecting the perception of farmers in Karaj city towards the problems of agricultural water management. *Agricultural Economics and Development*. 23(2). (In Persian).

Habibi Kandban, A. and Kihani, M., Parvaresh Rizi, A. and Sheikh Hosseini, M., 2017, The use of external indicators in the rapid evaluation process in Qazvin irrigation network. *Iran Water and Soil Research (Agricultural Sciences of Iran)*. 48(3), 491-502. (In Persian).

Hamidi, K. and Yaqoubi, J., 2018, Obstacles to the development of urban agriculture from the viewpoint of extension experts of the Agricultural Jihad Organization of Zanjan province. *Agricultural Extension and Education Research*. 11(3), 59-68. (In Persian).

Haro, D., Solera, A., Paredes-Arquiola, J., and Andreu, A., 2014, Methodology for drought Risk assessment in with-year regulated reservoir systems. Application to the Orbigo River System (Spain). *Water Resource. Manage*. 28: 3801–3814. http:// dx. doi. org/10.1007/s11269-014-0710-3.

Hanlon, P., Madel, R., Olson-Sawyer, K., Rabin, K., Rose, J., and Demaline, K., 2013, Food, water and energy. http://www.gracelinks.org/media/pdf/nexus_final_final.pdf.

Hatam, A. Monem, M. J., and Bagheri, A., 2011, Development of the dynamic model of the irrigation network rehabilitation system with regard to the participation of farmers and the improvement of network management. Journal of Agricultural Engineering Research. 13(4), 1-24. (In Persian).

Jamshidi, A., 2022, Analysis of Relationships between Factors Affecting the Components of Rural Entrepreneurship Development Using Canonical Correlation Analysis (Case Study: Rural settlements west of Lake Urmia). Quarterly scientific journal of regional planning, doi: 10.30495/jzpm.2022.31132.4169 (In Persian).

Kashani, S., Hosseini, S., Mirdamadi, S. and Abad, M., 2014, Recognizing strategies in Canola sustainable production in the Qazvin province. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. 4(3): 446-453.

Kavehkar, N. and Parvaresh Rizi, A., 2009, Classification of Renovation and Improvement studies of Irrigation Networks, 2nd National Gathering of Irrigation Networks Management, Ahvaz (In Persian).

Keshavarz ba Haqiqat, R., Hosseini, S.M., Farajolah Hosseini, S. J. and Lashgarara, F., 2022, Factors affecting the sustainability of private extension activities from the point of view of the experts of agricultural Jihad service centers in Qazvin and Zanjan provinces. Agricultural Extension and Education Research, 14(4), 16-33 (In Persian).

Mango, N., Makate, C., Tamene, L., Mponela, P. & Ndengu, G., 2017, Awareness and adoption of land, soil and water conservation practices in the Chinyanja Triangle, Southern Africa. International Soil and Water Conservation Research. 5 (2): 122-129.

Monem, M. J., Ghaheri, A., Badzahr, A. A., Naghavi, H., Borhan, N., Zolfaghari, A., Sabeti, E., and Ehsani, M., 2001, Performance Evaluation of Ghazvin Irrigation Network Using PAIS Model, proceeding of the 10th National Gathering of Iranian National Committee of Irrigation and Drainage, Tehran, pp. 1013-1021 (In Persian).

Muslimi, A., 2006, Sustainable rural development with emphasis on human and environment system. *Jihad Magazine*. No. 270. pp. 126-149. (In Persian).

Nowrozi, A., Mahdavi, D., Tavakoli, Kh., 2018, Investigation and analysis of the role of agricultural promotion and education in sustainable rural development (case study: rural areas of Chaharmahal and Bakhtiari province), *Development Strategy Journal*. 14(2), 134. (In Persian).

Oakley, P.; Garforth, Ch., 1988, Guide to extension training, *Ministry of Agriculture*. (Translated by Emadi, M.H.), Tehran. Iran. (In Persian).

Rahimian, M., 2016, Factors affecting the sustainable management of water resources among irrigated wheat farmers in Kohdasht city. *Agricultural Extension and Education Sciences of Iran*. 12(2), 233-247. (In Persian).

Ramezani Qawamabadi, M. H. 1388, Participation and role of women in international environmental law. Women's social-psychological studies (women's studies). 7(3 (21 series)), 53-70. (In Persian).

Sha'abani, H., Tayyeb, A., Hadinejad, M., 2022, The role of extension and education in the sustainable development of agriculture, the eighth scientific research conference on the development and extension of agricultural sciences and natural resources of Iran. (In Persian).

Shirkavand, A., Rasouli, M. and Ahmadi, S., 2022, The role of agricultural promotion and education in creating food security. The third conference on the position of strategic products in food security and sustainable agriculture. Tehran. Iran (In Persian).

Shirvani, N. M., 2022, Rural entrepreneurship and the role of agricultural promotion in its development. The 6th International Congress of Agricultural Development, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran, Tehran. Iran (In Persian).

Siyahi, M. K., 2007, Rehabilitation of Qazvin plain irrigation network, technical workshop for renovation, rehabilitation, and improvement of irrigation network performance. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (In Persian)

Taheri, Z., Abbasi, E., Bijani, M., and Ghasemi, J., 2023, Strategies for improving the knowledge management process in the modern agricultural extension system (case study: Zanjan province). Agricultural extension and education sciences of Iran, 18 (special issue), 61-71 (In Persian).

Vaez Tehrani, M. Bagheri, A., Monem, M. J., and Khan, S., 2012, Analyzing Structural and Non-Structural Options to Improve Utility of Irrigation Areas Using a System Dynamics Approach *Journal of Irrigation and Drainage*, Vol. 61, No. 4, PP. 604-621.

WEF (World Economic Forum), 2014, The Water-Energy Nexus: Strategic considerations for energy policymakers.

Zulikhaei Siyar, L., Naderi Mehdi, K. and Mohadi, R., 2018, The model of educational and promotional factors effective on sustainable agricultural water management from the perspective of water experts in Hamadan province. *Agricultural Education Management Research*. 10(46), 16-32. (In Persian).

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.24/No.92/Autumn 2024/P: 23-46

Original Research

Investigating the Effect of Changes in Agricultural Training and Extension Parameters on the Subsystems of the Chain of Water, Food, and Energy Resources in the Irrigation Networks Management

(Case study: Qazvin Irrigation Network)

Mostafa Aslani, Javad Monem*, Ali Bagheri

*** Corresponding Author**: Professor, Tarbiat Modares University, Faculty of Agriculture, Department of Water Engineering and Management.
Received:18 September 2023, **Accepted:** 30 March 2024
Email: Monem_mj@modares.ac.ir
https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.363549.1559

Introduction

Education and Extension factors, both in improving the productivity of water resources and in observing the approved cultivation pattern by farmers, are among the factors that affect many performance indicators of irrigation networks. The effect of this training should be systematically investigated in the chain of water, food, and energy Nexus in irrigation networks.

Methodology

The trainings were analyzed in the developed Nexus conceptual model in the borders of the Qazvin irrigation network using a system dynamic approach. The presented quantitative model in this section includes eight subsystems, two of which are directly affected by training factors. The two considered subsystems are "Agricultural Development Limitation" and "Solutions for Solving Unsatisfied Water Needs". The Nexus index was defined as a linear combination of some indices including water efficiency, energy efficiency, Production Utility, and water delivery adequacy.

Results and Discussion

In this research, taking into account the incremental changes in the number of hours of extension training, in three options of 20, 40, and 60%, the number of changes in the indicators of network adequacy and agricultural water productivity, and finally the nexus index was investigated.

The rate of effectiveness improvement in the three options of 20, 40, and 60% was 0.35, 0.34, and 0.32 percent respectively, and the amount of effectiveness improvement for the three options was 0.072, 0.087, and 0.104 respectively. This means that increasing the amount of training, even to the smallest amount, can have a great effect on improving the performance of the network in terms of improving water consumption and observing the cultivation pattern in line with water demand management. Considering the effectiveness of the options, it can be claimed that with the maximum increase in education, we can expect more effective changes in the above-mentioned fields.

Conclusions

It can be claimed that one of the most important factors under agricultural services, whether to observe the cultivation pattern or to improve water consumption, is extension training. According to the results, it can point out the importance of the effect of training parameters along with other technical parameters on the performance of irrigation networks and the security of water food, and energy resources in the Nexus chain.

Keywords: Agricultural education and extension, Irrigation networks management, Nexus approach, Quantitative model, Subsystem systemic archetypes.