مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۱/ شماره ٤/سال ۱۳۸۹/ص ٥٦-۳۵

توسعهٔ مدل بهسازی شبکه‌های آبیاری با رویکرد دینامیک سیستم‌ها

مهسا واعظ تهرانی، محمد جواد منعم*، علی باقری**

* نگارنده مسئول، نشانی: تهران، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، ص. پ. ۴۸۳۸-۱۴۱۵۵، تلفن: ۴۴۱۹۴۹۱۱(۰۲۱)، پیام‌نگار: monem_mj@modares.ac.ir

** به ترتیب دانشجوی دکتری؛ دانشیار؛ و استادیار گروه مهندسی سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۱۰

چکیده

قدمت اغلب شبکه‌های آبیاری دنیا ضرورت توجه به بهسازی آنها را ایجاب می‌کند. ارزیابی سیستم‌های متداول آبیاری نشان می‌دهد که مطلوبیت اغلب آنها به علت نقص در طراحی و اجرا، نگهداری نشدن، تعمیرات نامناسب، و فقدان مدیریت شایسته پایین‌تر از حد انتظار است. پیچیدگی مسئلهٔ بهسازی شبکه‌های آبیاری نیازمند تصمیم‌گیری‌های همه‌جانبه و آینده‌نگر است. یکی از ابزارهای مدیریتی برای این منظور علم دینامیک سیستم‌ها *(System Dynamics)* است. به کمک این علم پیامدهای تصمیم‌گیری‌ها آشکار و یادگیری رفتار سیستم‌ها در شرایط فعلی و آینده تسریع و تسهیل می‌شود. هدف از این پژوهش، ارائه روشی نو و مؤثر با توسعه مدلی برای بهسازی شبکه‌های آبیاری با رویکرد دینامیک سیستم‌هاست. شناخت بهتر شبکه‌های آبیاری و آزمایش سیاست‌های بهره‌برداری مورد نظر تحت سناریوهای متفاوت و تعیین سیاست مناسب در تأمین نیازهای اساسی شبکه‌ها از مهمترین اهداف ساخت مدل است. در این مدل، شرایط مختلف برای بهسازی شبکه‌ها با افزایش کفایت، راندمان، عدالت و پایداری، که می‌تواند منجر به افزایش تأمین آب و سطح زیرکشت شود مورد آزمون قرار می‌گیرد. با استفاده از رویکرد سیستمی در بهسازی شبکه‌ها می‌توان با توجه به تأثیرات دراز مدت آنها در آینده سیاست‌های مناسب را اتخاذ کرد. برای نشان دادن کارایی مدل تهیه شده، شبکهٔ آبیاری قزوین به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد و با استفاده از رویکرد دینامیک سیستم‌ها تأثیر بهبود راندمان شبکه در اثر بهسازی در سه گزینه مختلف شامل ثابت نگه داشتن سطح زیرکشت، کاهش برداشت از آب زیرزمینی، و سرمایه‌گذاری در جهت اجرای طرح‌های بهسازی بر مطلوبیت سیستم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که هر سه گزینه موجب بهبود مطلوبیت سیستم می‌شوند اما این بهبود در گزینهٔ ثابت نگه داشتن سطح زیر کشت از همه بیشتر است.

واژه‌های کلیدی

اصلاحات فیزیکی و مدیریتی، بهسازی شبکه‌های آبیاری، رویکرد دینامیک سیستم‌ها، شبیه‌سازی، شبکه آبیاری قزوین

مقدمه

بر اساس معیارهای جهانی، یکی از شاخص‌های توسعهٔ کشاورزی ساخت، نوسازی، و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی است (Anon, 1998a). سال‌ها از ساخت اولین شبکه‌های آبیاری در جهان می‌گذرد و بسیاری از آنها به دلایل گوناگون آسیب دیده‌اند و عملکردشان پایین است. ارزیابی سیستم‌های متداول آبیاری نشان می‌دهد که مطلوب بودن اغلب آنها به دلائلی چند از جمله نقص در طراحی و اجرا، نگهداری و تعمیر نامناسب، و فقدان مدیریت شایسته پایین‌تر از حد انتظار است (Monem *et al*., 2000). شبکه‌های آبیاری به منظور ایجاد شرایط مناسب برای بهره‌برداری مؤثر از منابع آب و افزایش راندمان آبیاری احداث می‌شوند اما به دلیل بهره‌برداری و نگهداری نامناسب، کارایی لازم را ندارند به طوری که متوسط بازده کل آبیاری در کشور فقط در حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد است (Siahi, 2007).

برخی از دلایل ضعف عملکرد شبکه‌ها مشکلات فنی و سازه‌ای، مسائل زیست محیطی، اجتماعی، مدیریت بهره‌برداری و نگهداری، و استفادهٔ نابهینه از منابع آب است. مجموعهٔ این عوامل باعث کاهش راندمان آبیاری، فرسوده شدن زودهنگام تاسیسات آبی و آبیاری، و کم شدن عمر مفید آنها در اثر سوء مدیریت می‌شود. از آنجا که فرصت‌ها و منابع مالی برای ایجاد شبکه‌های جدید محدود است، بهترین راه حل مشکلات را سرمایه‌گذاری برای نوسازی و بهسازی شبکه‌ها پیشنهاد کرده‌اند (Kavekar & Parvaresh Rizi, 2008). قسمت عمده‌ای از ۲۵۰ میلیون هکتار اراضی تحت آبیاری در سطح جهان دارای مطلوبیت کم تا متوسط است و بنابراین نیاز مبرمی جهت بهسازی موارد زیر احساس می‌شود: مدیریت منابع آب، ارتقای کشاورزی آبی، و بهبود مدیریت زیرساخت‌ها (Renault *et al.*, 2007). مدیریت شبکه‌های آبیاری نیازمند شناخت نحوهٔ تاثیرپذیری آنها از عوامل مختلف است؛ ناآگاهی از این موضوع به عواقبی ناخواسته خواهد انجامید. بهسازی شبکه‌های آبیاری اغلب اشتباه درک و انحصاراً با تکنولوژی‌های جدید و اتوماسیون پرهزینه مرتبط شده است. در حالی که مدیریت آبیاری مدرن مربوط است به پاسخ‌گویی به نیازهای مصرف‌کنندگان کنونی بر اساس بهترین شیوهٔ استفاده از منابع و تکنولوژی‌های در دسترس و همچنین پیش‌بینی صحیح برنامهٔ مصارف آتی (Anon, 2002). بنابراین در شبکه‌های آبیاری، مطلوبیت باید پویا و به صورت حالتی از تغییرات پی در پی در عوامل مؤثر بر آن تعریف شود. در ارزیابی مطلوبیت نسبت به عوامل مختلف، علاوه بر تعیین مولفه‌های تاثیرگذار بر مطلوبیت، لازم است به مکانیزم‌های تغییر این مولفه‌ها در طول زمان و همچنین اندرکنش آنها با همدیگر نیز توجه شود.

مهمترین معیارهای ارزیابی روش تحویل آب را می‌توان کفایت، راندمان، عدالت، و پایداری در تحویل آب هم در نظر گرفت (Mohseni Movahed & Monem, 2002). در تحقیق حاضر، عوامل ذکر شده به همراه انعطاف‌پذیری جهت بررسی مطلوبیت مد نظر قرار گرفته است. با در نظر گرفتن تأثیر این پنج عامل بر شبکه‌های آبیاری می‌توان مطلوبیت آنها را تعیین کرد. مدل سیستمیک بهسازی شبکه‌های آبیاری این امکان را فراهم می‌آورد تا بازخوردهای تغییرات در راندمان، کفایت، عدالت، پایداری، و انعطاف‌پذیری در تحویل آب به مصرف‌کنندگان روی تغییرات الگوی کشت و سطح زیرکشت بررسی شود.

مطالعه و احداث شبکهٔ آبیاری قزوین در قالب پروژهٔ توسعهٔ قزوین در سال ۱۳۴۶ آغاز شد و اکنون پس از گذشت حدود ۴۲ سال به دلایل مختلف در زمینه‌های متفاوت دچار ضعف عملکرد است. این ضعف عملکرد ضرورت بررسی بهسازی شبکه را ایجاب می‌کند. در مطالعات گذشته، به رغم توجه به عوامل متنوع تأثیرگذار بر عملکرد شبکه، به مکانیزم شکل‌گیری رفتار سیستم متاثر از عوامل مختلف کمتر پرداخته شده است. به طور نمونه می‌توان به کاهش راندمان آبیاری در شبکه از میزان حدود ۵۰ به ۳۵ درصد طی مدت ۱۵ سال اشاره کرد. که ارتقای آن مستلزم توجه به تعامل مجموعه عوامل تأثیرگذار، الگوهای حاکم بر پدیده، و تغییرات در رفتارها طی زمان است. در مجموع، به کارگیری رویکرد دینامیک سیستم‌ها در نوسازی شبکه می‌تواند جامع‌نگری لازم و درازمدت را در اثربخشی اقدامات بهسازی فراهم کند.

در این تحقیق، مدل دینامیک سیستم‌ها برای بهسازی شبکه‌ها توسعه یافته و به عنوان مطالعه موردی برای بهسازی شبکه آبیاری قزوین به کار گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

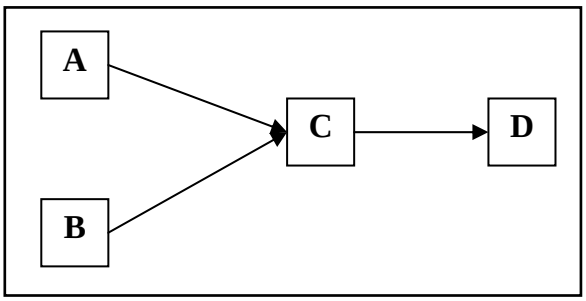
رویکرد دینامیک سیستم‌ها[1]

رویکرد دینامیک سیستم‌ها جنبه‌ای از تفکر سیستمی در مدیریت و برنامه‌ریزی سیستم‌هاست که به درک چگونگی ایجاد پویایی کمک خواهد کرد و بعد از حصول این درک، یافتن سیاست‌هایی را برای بهبود عملکرد سیستم آسانتر می‌کند (Vlachos *et al*., 2007).

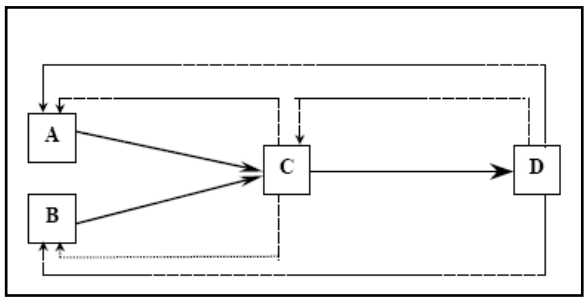
تفکر سیستمی در مقابل تفکر خطی به کار برده می‌شود. در تفکر خطی، فرض می‌شود اتفاقات و مکانیزم‌های به وجود آورندهٔ آنها در سیستم در طی زمان ثابت عمل می‌کنند. مدلی که این تفکر از آن پیروی می‌کند و اصطلاحاً مدل باز نامیده می‌شود در شکل ۱ نشان داده شده است (Hjörth & Bagheri, 2006).

در مدل‌های باز هیچگونه بازخوردی از خروجی به ورودی در نظر گرفته نمی‌شود. اما رویکرد دینامیک سیستم‌ها بر پایه تئوری فرایندهای بازخوردی استوار است که سیستم‌ها را به صورت بسته در نظر می‌گیرد. در این مدل که در شکل ۲ به نمایش در آمده است، بازخورد خروجی سیستم روی ورودی‌ها و سایر عناصر سیستم نیز در نظر گرفته می‌شود (Bagheri, 2006).

متدولوژی دینامیک سیستم‌ها یک روش مدل‌سازی و شبیه‌سازی است که مخصوصاً برای حل مشکلات مدیریتی طولانی‌مدت، مزمن، و پویا طراحی می‌شود. این روش بر درک چگونگی اندرکنش فرایندهای فیزیکی، جریان اطلاعات و سیاست‌های مدیریتی تمرکز می‌کند که این عوامل به چه نحو پویایی متغیرهای مورد نظر را ایجاد می‌کنند. مجموعهٔ روابط بازخوردی میان این ترکیبات بیان‌کننده ساختار سیستم است (Vlachos *et al*., 2007). مهمترین اصل رویکرد دینامیک سیستم‌ها این است که ساختار سیستم در طول زمان الگوهای رفتار آنها را ایجاد می‌کند و این موضوع در تحلیل رفتار سیستم مورد نظر اهمیت ویژه‌ای دارد (Vlachos *et al*., 2007).



شکل ۱- مدل باز در تفکر خطی (Hjörth & Bagheri, 2006)



شکل ۲- مدل بسته در تفکر سیستمی (Hjörth & Bagheri, 2006)

مراحل مختلف مدل‌سازی با رویکرد دینامیک سیستم‌ها به صورت زیر است (Stave, 2002):

- تعریف مسئله و توسعهٔ مدل مفهومی آن،
- تعیین مرز سیستم،
- تبیین فرضیه‌های دینامیکی،
- توسعه مدل شبیه‌سازی،
- صحت‌سنجی مدل،
- اجرای مدل و آزمون گزینه‌ها

رویکرد بهسازی در شبکه‌های آبیاری

چشم انداز تاریخی مسایل شبکه‌های آبیاری نشان می‌دهد که به طور کلی پس از تجربیات فراوان، توجه

1- The System Dynamics Approach

توامان به شرایط فیزیکی و مدیریتی شبکه‌های آبیاری برای توسعهٔ آنها باید مد نظر قرار گیرد. بهسازی شبکه‌های آبیاری فرایند توسعهٔ بهره‌وری منابع مورد استفاده با ارتقای سخت‌افزار و نرم‌افزار و بهبود خدمات تحویل آب به مصرف‌کنندگان است (Anon, 2002). اصول طراحی مدرن که در بهسازی شبکه‌ها باید مورد توجه قرار گیرد شامل موارد زیر می شود: ۱- تأمین مطمئن و به موقع آب مورد نیاز در کلیهٔ سطوح شبکه، ۲- طراحی فنی و هیدرولیکی صحیح سیستم برای تأمین اهداف فوق همراه با برنامهٔ عملیاتی بهره‌برداری، ۳- حضور نظام‌مند مصرف‌کنندگان در کلیهٔ سطوح تصمیم‌گیری و عملیاتی، ۴- بهره‌گیری مناسب از فناوری‌های جدید و خودکارسازی سامانه‌های آبیاری، ۵- تأمین انعطاف‌پذیری با برنامه‌ریزی تحویل و توزیع مناسب آب برای مصرف (Vaez Tehrani & Monem, 2008). اولین گام در بهسازی، شناخت عمیق عملکرد حال حاضر سیستم‌هاست. هدف از این شناخت، مشخص کردن اقدامات اصلاحی فیزیکی و مدیریتی لازم برای بهبود عملکرد سیستم است. این شناخت باید بتواند بهترین شیوه‌ها را برای حل مسئله تعیین کند (Anon, 2002).

در بهسازی شبکه‌های آبیاری عوامل اصلی تعیین مطلوبیت شبکه عبارت‌اند از: راندمان و کفایت آب در شبکه، عدالت، پایداری، و انعطاف‌پذیری در تحویل آب به مصرف‌کنندگان که به اختصار تشریح می‌شوند:

راندمان: یکی از عوامل مؤثر در بهسازی شبکه‌های آبیاری، راندمان است که خود تابع عوامل متعددی است. راندمان در شبکه‌های آبیاری به صورت حجم آب مصرفی گیاه نسبت به حجم آب تحویلی به سیستم انتقال تعریف می‌شود. اولین عامل تأثیرگذار بر راندمان، تلفات فیزیکی شبکه و عامل دوم تلفات ناشی از بهره‌برداری و مدیریت است.

کفایت آب: عامل دیگر مطلوبیت شبکه، کفایت آب (کافی بودن آب موردنیاز در شبکه) است که با بهره‌برداری مناسب از منابع آب در دسترس افزایش و کمبود آب کاهش می‌یابد.

عدالت در تحویل آب: عدالت در تحویل آب منعکس‌کنندهٔ یکنواختی مکانی توزیع آب است. بهبود عدالت و مدیریت توزیع آب در شبکه، رضایت کشاورز را به همراه خواهد داشت. با به کار گرفتن اپراتورهای با تجربه و آگاه به وضعیت شبکه، کنترل خودکار سازه‌های تنظیم و تحویل و نیز تنظیم مناسب سطح آب، عدالت در تحویل آب افزایش خواهد یافت.

پایداری در تحویل آب: پایداری در تحویل آب عامل یگری است که بر عملکرد شبکه‌های آبیاری تأثیر می‌گذارد و در واقع به معنی یکنواختی در تحویل آب نسبت به زمان است. بنابراین، عوامل بهبود راندمان، کفایت، و عدالت می‌تواند پایداری در تحویل آب را نیز افزایش دهد.

انعطاف‌پذیری در تحویل آب: عامل دیگری که مورد بررسی قرار می‌گیرد انعطاف‌پذیری است یعنی اینکه آب، متناسب با ثابت یا متغیر بودن عوامل آن (زمان، فرکانس، و دبی) و بر اساس فرد تصمیم گیرنده (مدیر شبکه یا زارع) تحویل می‌شوند. گزینهٔ مطلوب این است که عوامل تحویل آب متغیر باشند و بر حسب تقاضای زارع تعیین شوند. با انتخاب روش‌های مناسب توزیع و تحویل آب، به کارگیری سازه‌های مناسب و مدرن، اتوماسیون، و سیستم موثر ثبت، ذخیره، و فرآوری اطلاعات می‌توان انعطاف‌پذیری در شبکه را افزایش داد.

معرفی شبکهٔ آبیاری قزوین

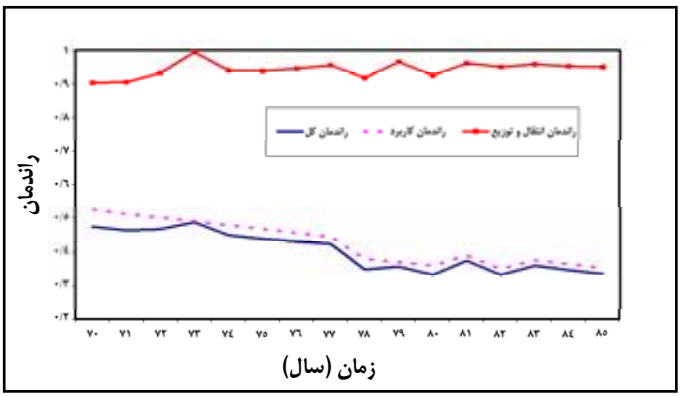
شبکه آبیاری قزوین با هدف انتقال آب از سد انحرافی زیاران به دشت قزوین احداث شد. این سد حدود ۵۸۰۰۰ هکتار از اراضی دشت قزوین خاک‌های درجه ۱ و ۲ را تحت پوشش قرار می‌دهد. در شبکهٔ آبیاری قزوین توزیع آب تابع حقابه‌ها یا وسعت اراضی روستاها نیست زیرا آب منطقه اختصاصاً برای توسعهٔ کشاورزی در نظر گرفته شده و توزیع آب پاسخگوی نیاز محصولات کشاورزی متناسب

با وسعت کشت پیش‌بینی شده آنهاست و بر همین اساس تحویل می‌شود.

عوامل پایین بودن راندمان انتقال و توزیع آب در شبکه آبیاری و زهکشی قزوین و دلایل عمده تلفات آب در کانال‌ها عبارت‌اند از: درزهای طولی در دیوارهٔ جانبی و عرض کانال، تخریب پوشش، رشد علف‌های هرز در شکاف‌ها، رسوبات جمع شده در کانال، و فقدان مدیریت صحیح بهره‌برداری در بعضی نقاط این شبکه (Sohrabi *et al.*, 2008).

شرایط حاکم بر بهره‌برداری از شبکهٔ آبیاری قزوین در وضعیت موجود شامل این موارد است (Siahi, 2007): ۱- محدودیت در تأمین آب کشاورزی دشت قزوین از طریق آب انتقالی از رودخانه طالقان که به لحاظ استفاده از جریان بهنگام از ابتدای بهره‌برداری تاکنون به طور متوسط سالانه ۱۹۰ میلیون متر مکعب است در حالی که در طرح توسعه، ۳۲۰ میلیون متر مکعب منظور شده بود؛ ۲- افت سطح آب زیرزمینی در محدودهٔ شبکهٔ آبیاری به خصوص در ناحیهٔ غربی دشت به لحاظ محدودیت منابع آب سطحی انتقالی؛ ۳- تعویق اجرای برنامه تغذیهٔ مصنوعی سفره آب زیرزمینی؛ ۴- راندمان پایین مصرف آب در مزرعه، تغییر در الگوی کشت و افزایش نیاز آبیاری کشت‌های جدید؛ ۵- فرسوده شدن پوشش بتنی کانال‌ها و دست نیافتنی به کارایی مورد نظر و کاهش راندمان انتقال و توزیع؛ ۶- ناهماهنگی در تلفیق بهره‌برداری از آب زیرزمینی و آب سطحی انتقالی از رودخانهٔ طالقان؛ ۷- بروز ناهماهنگی‌ها و نبود برنامه‌ریزی مناسب برای بهره‌برداری سازگار با منطقه از منابع آب در دسترس؛ ۸- بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در یک منطقه و پایین رفتن آن در مناطق دیگر به دلیل ناهماهنگی در استفاده از آب انتقالی از رودخانه طالقان؛ و ۹- استفاده نکردن بهینه از منابع آب در دسترس به دلیل پایین بودن راندمان آبیاری.

در شکل ۳ تغییرات راندمان کاربرد و راندمان انتقال و توزیع و سرانجام راندمان کل شبکهٔ قزوین از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۸۵ نشان داده شده است. در این شکل راندمان، یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر مطلوبیت شبکه به طور کلی در حال کاهش است و بررسی آن در بهسازی شبکه‌های آبیاری با رویکرد دینامیک سیستم‌ها ضروری به نظر می‌رسد.



شکل ۳- تغییرات راندمان کاربرد، انتقال، توزیع و راندمان کل در شبکهٔ قزوین (Siahi, 2007)

نتایج و بحث

مدل بهسازی شبکه‌های آبیاری با رویکرد دینامیک سیستم‌ها

با توجه به اهمیت آگاهی از عملکرد شبکه‌های آبیاری برای مدل‌سازی با رویکرد دینامیک بهسازی شبکه‌ها، لازم است عوامل مؤثر بر مطلوبیت این سیستم‌ها شناسایی شود.

توسعهٔ مدل مفهومی بهسازی شبکه‌های آبیاری

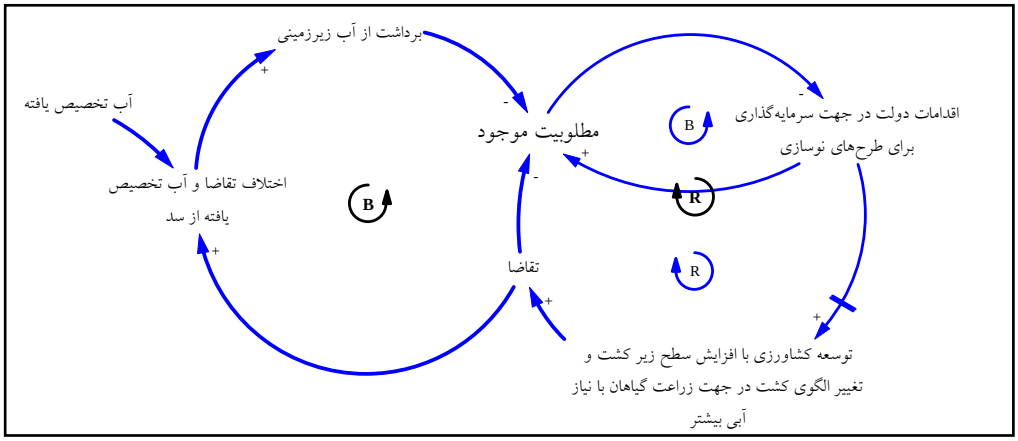
تعریف مسئله: تعریف مسئله عبارت است از بیان دغدغه‌ای که از بررسی روند تغییرات متغیر مرجع (متغیری که در سیستم، رفتاری نامطلوب از آن مشاهده می‌شود) نتیجه می‌شود. در مسئلهٔ بهسازی شبکه‌ها، دغدغهٔ مورد نظر عبارت است از: ضعف عملکرد و کاهش سطح مطلوبیت. در اغلب شبکه‌های آبیاری، بررسی‌ها نشان می‌دهند که عملکرد نسبت به میزان پیش‌بینی شده دچار ضعف عمومی است.

تعیین مرز سیستم: این مرحله شامل معرفی متغیرهای تأثیرگذار بر سیستم مورد مطالعه و تأثیرپذیر از این سیستم است که متغیرهای درونزا[1] نامیده می‌شوند. این امر به معنی تعیین مرزی از سیستم است که در مدل‌سازی باید در نظر گرفته شود. متغیرهای موثر بر رفتار متغیر مرجع را متغیرهای فرعی می‌نامند؛ این متغیرها عبارت‌اند از: ۱- تقاضای آب؛ ۲- اجرای طرح‌های بهسازی؛ و ۳- محدودیت منابع آب. در مقابل، متغیرهای برونزا[2] متغیرهایی هستند که فقط روی سیستم تاثیر می‌گذارند اما از آن تأثیر نمی‌پذیرند.

تبیین فرضیه‌های دینامیکی: در این مرحله از مدل‌سازی، نحوهٔ تأثیر عوامل متعدد در سیستم بر متغیرهای فرعی به صورت نمودارهای علت و معلولی به گونه‌ای بیان می‌شوند که بتوانند در مورد شکل‌گیری رفتار متغیرهای مرجع توضیح مناسبی ارائه دهند. نمودار علت و معلولی مسئله شامل الگوهای رفتاری و دینامیک‌های حاکم بر اجزای سیستم است. ابتدا الگوهای رفتاری و پس از آن دینامیک‌های حاکم بر اجزای سیستم معرفی می‌شوند و سپس نمودار علت و معلولی حاکم بر بهسازی شبکه‌ها تشریح می‌شود.

مدل مفهومی حاکم بر بهسازی شبکه‌های آبیاری به صورتی در نظر گرفته شده است که در شکل ۴ مشاهده می‌شود و بر این اساس قسمت‌های مختلف آن توضیح داده می‌شود.

بر اساس شکل ۴، الگوهای اصلی حاکم بر مسئلهٔ شبکه‌های آبیاری الگوی محدودیت‌های رشد[3] و الگوی راه‌حل‌هایی که شکست می‌خورند[4] تشخیص داده شد و با توجه به این دو الگو نمودارهای علت و معلولی رسم می‌شوند.



شکل ٤- مدل مفهومی حاکم بر بهسازی شبکه‌های آبیاری

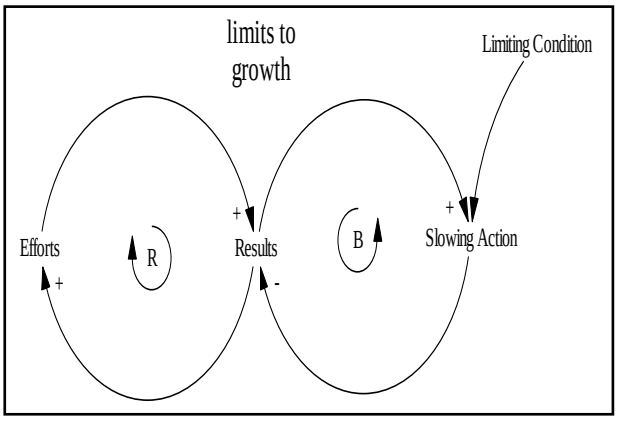
1- Endogenous 2- Exogenous 3- Limits to Growth 4- Fixes that Fail

در الگوی محدودیت‌های رشد، به طور معمول ابتدا یک فرایند رشد شکل می‌گیرد. این فرایند در نتیجهٔ تلاش (Efforts) و نتیجه‌ای (Results) است که به دنبال آن حاصل می‌شود. پس از این دوره، آهنگ رشد در اثر شرایط محدودکننده (Limiting Condition) کند می‌شود و به سمت یک تعادل دینامیک در سیستم حرکت می‌کند (شکل ۵). در صورت تخریب یا اتمام منابع مورد استفاده در فرایند رشد، این ساختار ممکن است حتی به توقف کامل سیستم نیز منجر شود. شکل ۷، نمودار رفتار این الگو را نشان می‌دهد.

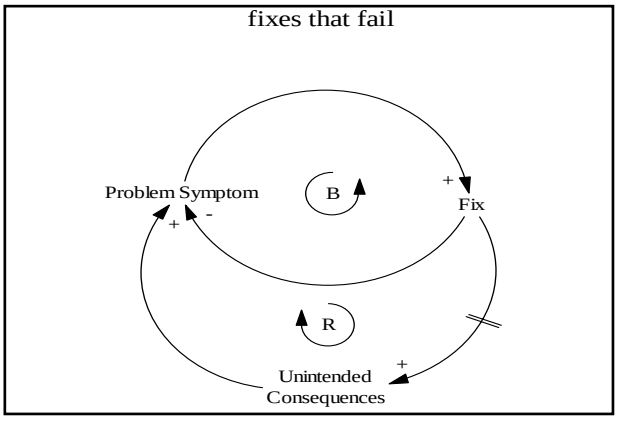
در این الگو در شبکه‌های آبیاری، در حلقه (R)، (Reinforcing)، اقدامات دولت در جهت سرمایه‌گذاری برای طرح‌های بهسازی با افزایش سطح زیرکشت و تغییر الگوی کشت در جهت کشت گیاهان با نیاز آبی بیشتر سبب افزایش توسعه کشاورزی می‌شود و در حلقه (B)، (Balancing)، این توسعه با افزایش تقاضا، برداشت از آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد که از میزان مطلوبیت سیستم می‌کاهد. این الگو در شکل ۹ و نمودار رفتاری آن در شبکه آبیاری قزوین برای متغیر تقاضای آب در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

الگوی راه‌حل‌هایی که شکست می‌خورند به این صورت است که در برخورد با علامت مسئلهٔ اصلی (Problem Symptom)، از یک راه‌حل مسکن (Fix) استفاده می‌شود و به نظر می‌رسد که نتایج مثبت و مطلوبی به دست دهد. اما پس از گذشت مدت زمانی، این راه‌حل به پیامدهایی ناخواسته منجر می‌شود که مد نظر نیست و پس از یک تأخیر زمانی مشکل را تشدید می‌کند (شکل ۶). اثر بخشی راه‌حل ارائه شده به تدریج طی زمان کاهش می‌یابد، به ویژه ممکن است کلاً از بین برود. شکل ۸ نمودار رفتار این الگو را نشان می‌دهد.

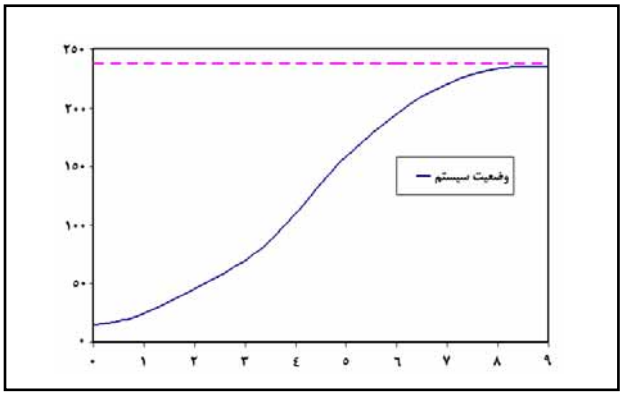
در شبکه‌های آبیاری بر اساس الگوی راه‌حل‌هایی که شکست می‌خورند، که در واقع حلقهٔ (R)، (Reinforcing)، الگوی محدودیت رشد را تشکیل می‌دهد، مطلوبیت در حلقهٔ (B)، (Balancing)، اقدامات دولت در جهت سرمایه‌گذاری برای طرح‌های بهسازی افزایش می‌دهد و البته این اقدامات با یک تاخیر زمانی در حلقهٔ (R)، (Reinforcing)، توسعهٔ کشاورزی با افزایش سطح زیرکشت، تغییر الگوی کشت در جهت کشت گیاهان با نیاز آبی بیشتر، افزایش تقاضا، و کاهش مطلوبیت را در پی خواهد داشت. این الگو در شکل ۱۰ و نمودار رفتار این الگو در شبکه آبیاری قزوین برای متغیر راندمان در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



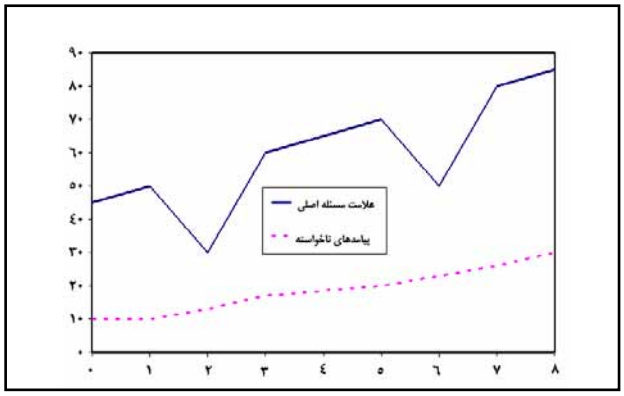
شکل ۵- الگوی محدودیت‌های رشد



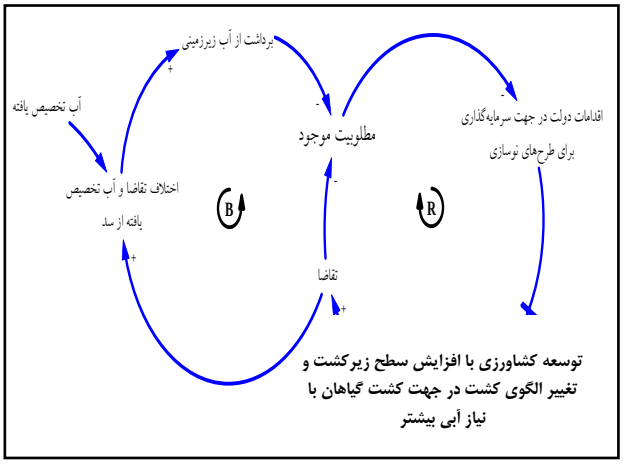
شکل ٦- الگوی راه‌حل‌های منجر به شکست



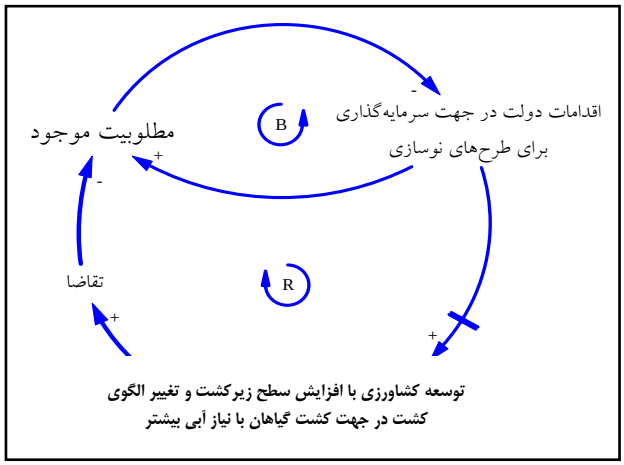
شکل ۷- نمودار رفتاری الگوی محدودیت‌های رشد



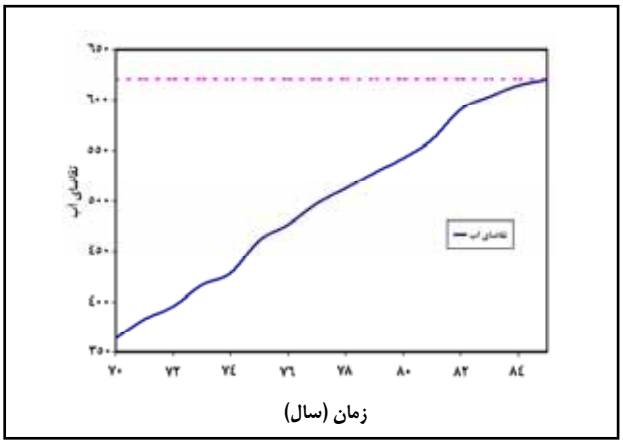
شکل ۸- نمودار رفتاری الگوی راه‌حل‌های منجر به شکست



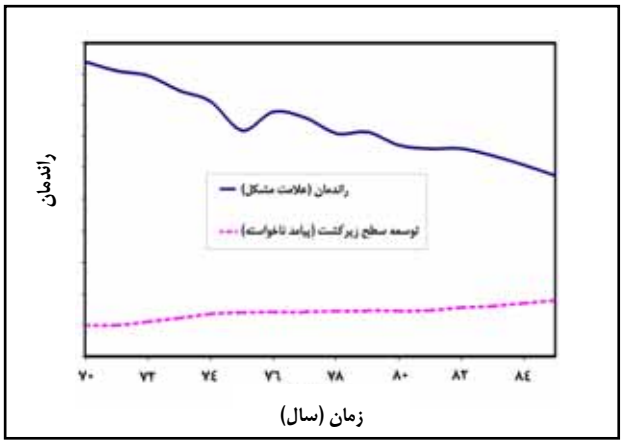
شکل ۹- الگوی محدودیت‌های رشد در شبکه‌های آبیاری



شکل ۱۰- الگوی راه‌حل‌های منجر به شکست در شبکه‌های آبیاری

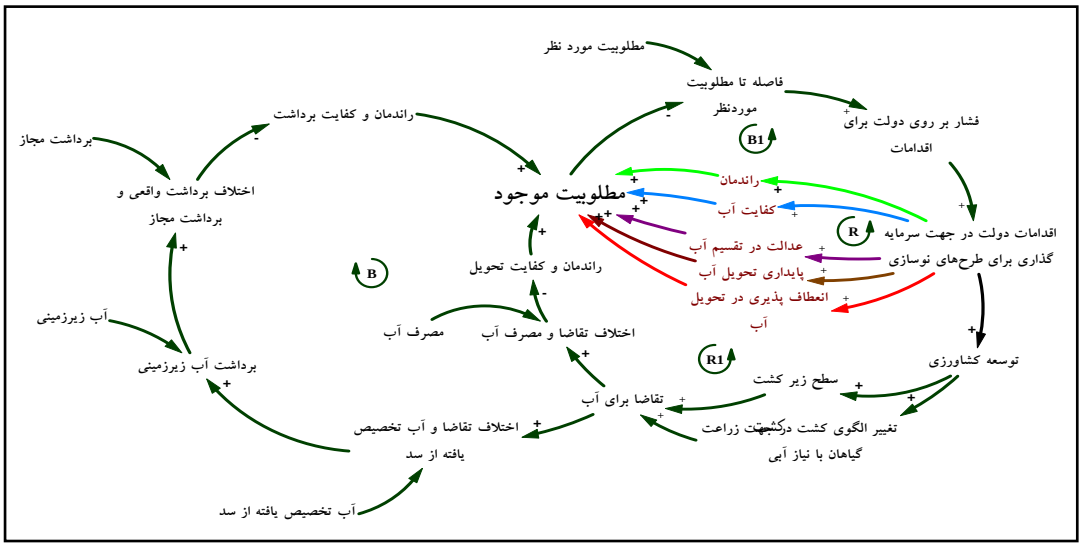


شکل ۱۱- نمودار رفتاری الگوی محدودیت‌های رشد
در شبکه آبیاری دشت قزوین



شکل ۱۲- نمودار رفتاری الگوی راه‌حل‌های منجر به شکست
در شبکه آبیاری دشت قزوین

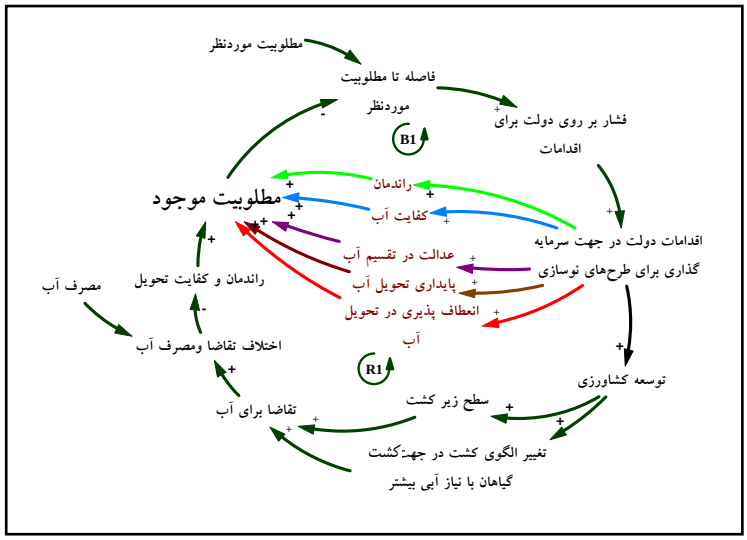
نمودار علت و معلولی کلی حاکم بر بهسازی شبکه‌های آبیاری با توجه به مدل مفهومی شکل ۴، در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در حلقهٔ علیتی بهسازی شبکه هدف اصلی افزایش مطلوبیت سیستم است. حلقهٔ علیتی را می‌توان این گونه بیان کرد: کاهش سطح مطلوبیت باعث فشار بر دولت برای روی آوردن به بهسازی و در نتیجه سرمایه‌گذاری (برای اجرای طرح‌های بهسازی) خواهد شد. اقدامات دولت از یک سو با کاهش تلفات فیزیکی و مدیریتی آب، سبب افزایش راندمان، کفایت، عدالت، انعطاف‌پذیری، و پایداری در تحویل آب می‌شود که نتیجهٔ آن افزایش سطح مطلوبیت و عملکرد است و از سوی دیگر باعث مطلوبیت باعث افزایش سطح زیرکشت و تغییر الگوی کشت در جهت کشت گیاهان با نیاز آبی بیشتر خواهد شد. این امر به نوبهٔ خود از یک سو، تقاضا و اختلاف تقاضا و مصرف آب را افزایش می‌دهد و با کاهش راندمان و کفایت تحویل آب، سطح مطلوبیت و عملکرد نیز کاهش می‌یابد و از سوی دیگر با برداشت آب زیرزمینی، بیش از حدمجاز، به کاهش راندمان و کفایت برداشت و در نتیجه کاهش مطلوبیت سیستم می‌انجامد.



شکل ۱۳- نمودار علت و معلولی کلی حاکم بر بهسازی شبکه‌های آبیاری

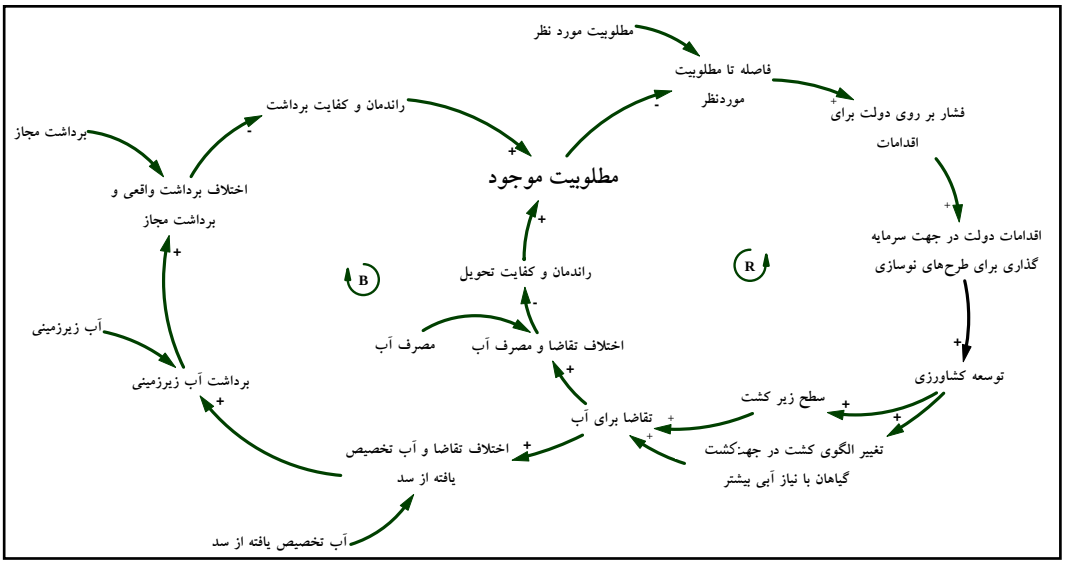
بر اساس نمودارهای علت و معلولی فوق و الگوهای حاکم بر شبکه‌های آبیاری، دو دینامیک مختلف شناسایی شد:

دینامیک اجرای طرح‌های بهسازی: در پی ضعف عملکرد سیستم، فعالیت‌های بهسازی شامل استفاده از سازه‌های مدرن، اتوماسیون شبکه، بهبود مدیریت اطلاعات و فعالیت‌های بهره‌برداری و نگهداری آغاز می‌شود تا سطح مطلوبیت افزایش یابد و متعاقب آن، شاخص‌های عملکرد مانند راندمان، کفایت، عدالت، پایداری و انعطاف‌پذیری بهبود می‌یابد. متناظر با الگوی راه‌حل‌هایی شکست خورد (شکل ۱۰)، این دینامیک به دست می‌آید که در شکل ۱۴ دیده می‌شود.



شکل ١٤- نمودار علت و معلولی اجرای طرح‌های بهسازی

دینامیک افزایش تقاضا برای آب و محدودیت منابع آب: افزایش تقاضا تابع دو عامل است، یکی سطح زیرکشت و دیگری نیاز آبی واحد سطح بر حسب الگوی‌کشت. با افزایش تقاضا و اختلاف بین تقاضا و مصرف آب، مطلوبیت کاهش می‌یابد. همچنین، محدودیتی که در میزان برداشت از آب زیرزمینی وجود دارد بر سطح مطلوبیت سیستم تاثیر می‌گذارد و آن را کاهش آن می‌دهد. متناظر با الگوی محدودیت‌های رشد (شکل ۹)، این دینامیک به دست می‌آید که در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



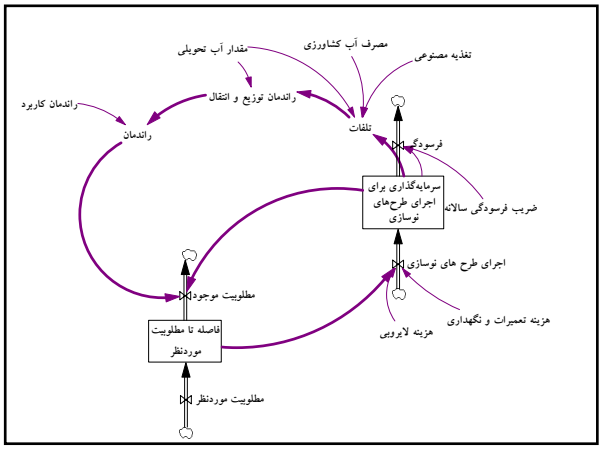
شکل ١٥- نمودار علت و معلولی افزایش تقاضا برای آب و محدودیت منابع آب

توسعه و کاربرد مدل در شبکه آبیاری قزوین

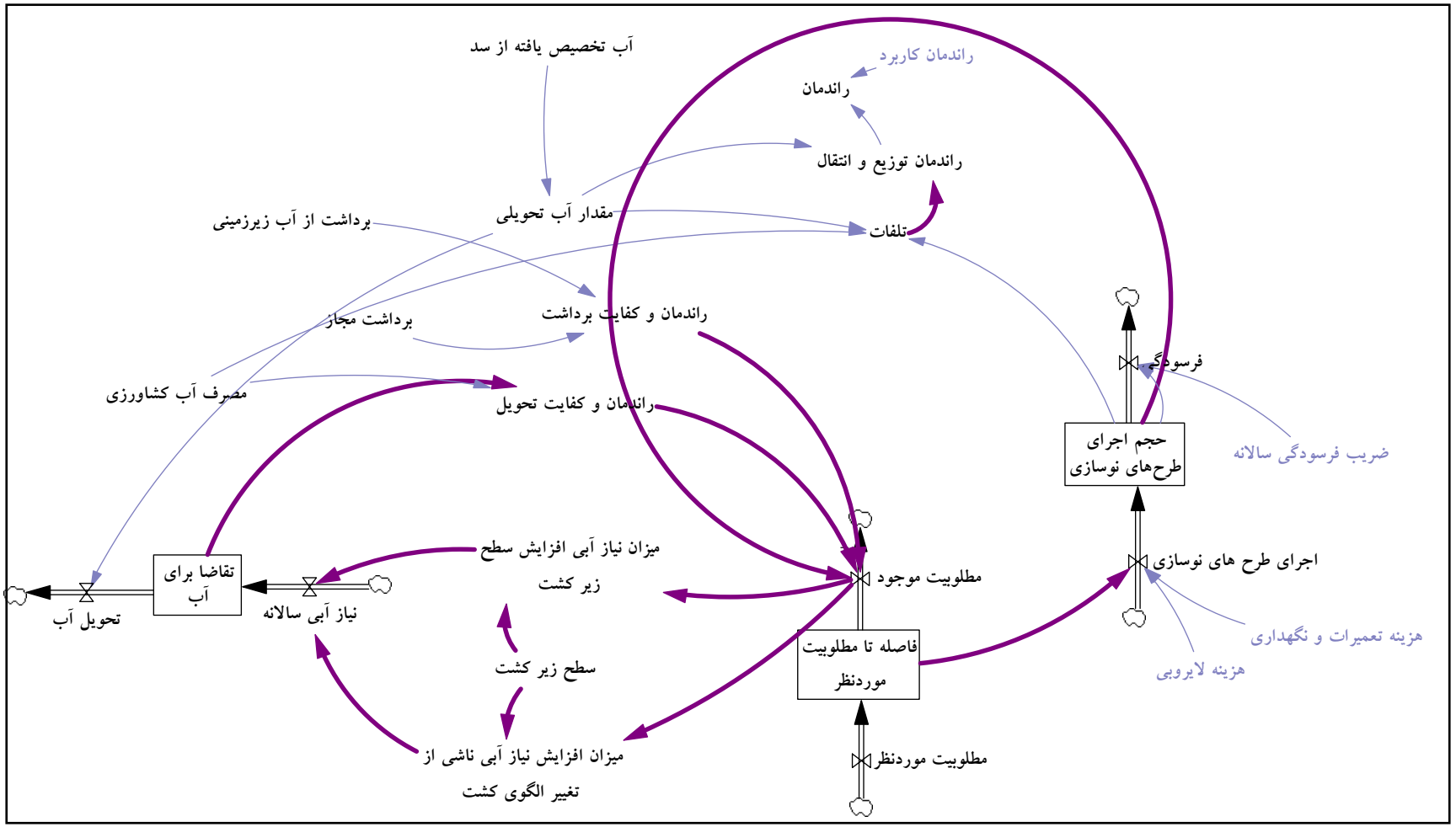
در تحقیق حاضر پس از تهیه مدل مفهومی بهسازی شبکه‌های آبیاری، با توجه به بررسی‌های انجام شده، یک قسمت از مدل برای شبکه آبیاری قزوین اجرا و تأثیرات تغییر سیاست‌های موجود در آن نشان داده شده است. برای این منظور، شکل‌گیری مکانیزم‌های تأثیرگذار در شبکهٔ قزوین و نوع رفتار شبکه شبیه‌سازی شده است. از نتایج این شبیه‌سازی می‌توان در اتخاذ سیاست‌های بهسازی در جهت پایداری شبکه بهره‌برداری کرد. در این خصوص عواملی که در مدل بهسازی شبکهٔ آبیاری قزوین مبنای سیاستگذاری قرار گرفته‌اند به شرح ذیل تقسیم‌بندی شده‌اند: الف) افزایش نیاز آبیاری به علت پایین آمدن راندمان از ۵۰ تا ۵۵ درصد پیش بینی شده در طرح اولیه به ۳۵ درصد کنونی (Siahi, 2007) که میزان نیاز آبی را از متوسط حدود ۷۰۰۰ متر مکعب به ۱۰۵۶۷ متر مکعب در هکتار افزایش داده است؛ ب) افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی به علت افزایش نیاز آبیاری ناشی از کاهش راندمان و تحقق نیافتن تأمین آب سطحی از سد مخزنی در شرایط ساخت کامل شبکه و در نتیجه تداوم روند پایین رفتن سطح آبخوان در وضعیت فعلی به دلیل برداشت بیش از آبدهی مطمئن سفرهٔ آب زیرزمینی؛ ج) افزایش سطح تحت پوشش شبکه از ۵۲۰۰۰ هکتار در طرح اولیه به حدود ۵۹۰۰۰ هکتار در شرایط فعلی به لحاظ آب‌بری اراضی حاشیهٔ پایین‌دست شبکه؛ د) افزایش فرسودگی پوشش کانال‌ها و ناکارایی و مدیریت نادرست بهره‌برداری، تعمیرات، و نگهداری به موقع.

در اجرای مدل دینامیکی تأثیرات سه گزینهٔ مدیریتی شامل: ثابت نگه‌داشتن سطح زیر کشت، کاهش برداشت از آب زیرزمینی، و بهبود عملیات بهره‌برداری و نگهداری برای بهسازی شبکهٔ قزوین شبیه‌سازی و چگونگی تأثیر تغییرات راندمان بر مطلوبیت سیستم ارائه شده است.

بر اساس نمودارهای علت و معلولی معرفی شده می‌توان نمودارهای جریان را رسم کرد. در نمودارهای جریان، رابطهٔ ریاضی بین متغیرها در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی Vensim (Anon, 1998b) تعریف می‌شود. نرم‌افزارهایی مانند Vensim بر اساس دینامیک سیستم‌ها شبیه‌سازی می‌کنند، امکان آزمون گزینه‌های مختلف و از جمله گزینه‌های بهسازی شبکه را فراهم می‌آورند، و نتایج را به صورت نمودار برای پشتیبانی تصمیم‌گیری ارائه می‌دهند. در این مطالعه، قسمتی از نمودار علت و معلولی فوق، که شامل راندمان است، برای شبکهٔ آبیاری قزوین اجرا شده است. نمودار جریان حاکم بر بهسازی شبکهٔ آبیاری قزوین، صرفاً از دیدگاه تأثیر بهسازی بر راندمان‌های شبکه، به تفکیک هر یک از نمودارهای علت و معلولی فوق در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۶- نمودار جریان اجرای طرح‌های بهسازی از دیدگاه راندمان



شکل ۱۷- نمودار جریان افزایش تقاضا برای آب و محدودیت منابع آب از دیدگاه راندمان

در این مدل پس از آنکه داده‌های ورودی نرمالیزه شد، روابط بین متغیرها در نمودار جریان در شبکهٔ قزوین توسعه یافت و مدل بر اساس روابط توسعه یافته اجرا شد. در این بخش روابط توسعه یافته تشریح می‌شوند.

مجموع آب تحویلی به شبکه (V_c) مطابق رابطهٔ ۱ شامل آب سطحی (از سد زیاران و طالقان) (V_{Surf})، آب زیرزمینی (V_{Draw}) و آب چاه‌های تلفیقی (V_{Well}) است. حجم تلفات آب (V_L) در شبکهٔ قزوین از رابطهٔ ۲ محاسبه می‌شود که در آن V_c مجموع آب تحویلی به شبکه، V_{Rech} تغذیهٔ مصنوعی، و V_f حجم آب ورودی به مزرعه است.

$$V_c = V_{Surf} + V_{Draw} + V_{Well} \qquad (۱)$$

$$V_L = V_c - V_{\mathrm{Re}ch} - V_f \qquad (۲)$$

متناسب با حجم اجرای طرح‌های بهسازی، تلفات آب می‌تواند کاهش یابد و حجم تلفات اصلاح شده (V_{Lc}) طبق رابطهٔ ۳ بیان می‌شود که در آن Op سرمایه‌گذاری برای اجرای طرح‌های بهسازی است.

$$V_{Lc} = \frac{V_L}{Op} \qquad (۳)$$

که در آن، Op= خود تابعی از میزان اجرای طرح‌های بهسازی (Mo) و ضریب فرسودگی سالانهٔ شبکه (C_{erod}) است که از رابطهٔ ۴ محاسبه می‌شود، ضریب فرسودگی سالانهٔ شبکه (C_{erod}) به میزان آسیب‌دیدگی تاسیسات در شبکه بستگی دارد که در شبکهٔ قزوین با توجه به عمر مفید آن (۵۰ سال)، دو درصد در نظر گرفته شده است. در این روابط، هزینه‌ها به صورت درصدی از درآمد سالانه بیان شده است.

$$Op = (1 - C_{erod}) \times Mo \qquad (۴)$$

$$Mo = \frac{(P_{main} + P_{dredg})}{Utility} \qquad (۵)$$

اجرای طرح‌های بهسازی تابعی از هزینه‌های تعمیرات و نگهداری کانال‌ها و چاه‌ها (P_{main}) و هزینه لایروبی (P_{dredg}) در نظر گرفته شده است و با میزان مطلوبیت نسبت عکس دارد و به صورت رابطهٔ ۵ بیان می‌شود.

راندمان‌های معمول شبکه‌های آبیاری، راندمان انتقال، توزیع و کاربرد هستند.

راندمان انتقال (e_c) از رابطهٔ ۶ به دست می‌آید که در آن V_d حجم آب خروجی از سیستم انتقال و V_c حجم آب تحویلی به آن است.

$$e_c = \frac{V_d}{V_c} \qquad (۶)$$

راندمان توزیع (e_d) طبق رابطهٔ ۷ محاسبه می‌شود که در آن V_f= حجم آب خروجی از شبکهٔ توزیع؛ و V_d= حجم آب تحویلی به آن است؛ در رابطهٔ ۸، راندمان انتقال و توزیع ($e_{c\text{-}d}$) از حاصل‌ضرب دو راندمان انتقال و توزیع به دست می‌آید.

$$e_d = \frac{V_f}{V_d} \qquad (۷)$$

$$e_{c-d} = e_c \times e_d = \frac{V_f}{V_c} \qquad (۸)$$

راندمان کاربرد (e_a) از رابطهٔ ۹ محاسبه می‌شود که در آن، V_a= حجم آب مصرفی گیاه؛ و V_f= حجم آب ورودی به مزرعه است و راندمان کل (e_p) در رابطهٔ ۱۰، از حاصل‌ضرب راندمان انتقال و توزیع در راندمان کاربرد به دست می‌آید.

$$e_a = \frac{V_a}{V_f} \qquad (۹)$$

$$e_p = e_{c-d} \times e_f \qquad (۱۰)$$

مطلوبیت سیستم از دیدگاه مدیر شبکه و با در نظرگرفتن عامل راندمان، تابعی است از راندمان‌های سیستم و کفایت بهره‌برداری که شامل کفایت تحویل و برداشت آب زیرزمینی نیز هست. علاوه بر راندمان‌های معمول، راندمان بهره‌برداری به دست آمده از حاصلضرب راندمان‌های تحویل و برداشت، به شرح زیر تعریف می‌شود:

راندمان برداشت از آب زیرزمینی (e_{dr})، منعکس‌کنندهٔ میزان مازاد برداشت از منابع آب زیرزمینی نسبت به میزان برداشت مجاز است که به صورت رابطهٔ ۱۱ تعریف می‌شود.

$$e_{dr} = \begin{cases} \frac{V_{Allow}}{V_{Draw}} & V_{Allow} < V_{Draw} \\ 1 & V_{Allow} \geq V_{Draw} \end{cases} \qquad (۱۱)$$

که در آن، V_{Allow}= حجم برداشت مجاز از آبخوان؛ و V_{Draw}= حجم برداشت واقعی از آب زیرزمینی است.

راندمان تحویل (e_{de})، نشان‌دهنده مازاد آب تحویلی نسبت به آب مورد نیاز در مزرعه است و طبق رابطهٔ ۱۲ تعریف می‌شود.

$$e_{de} = \begin{cases} \frac{V_{Req}}{V_f} & V_{Req} < V_f \\ 1 & V_{Req} \geq V_f \end{cases} \qquad (۱۲)$$

که در آن، V_{Req}= حجم آب مورد نیاز؛ و V_f= حجم آب مصرفی کشاورزی است.

راندمان بهره‌برداری به صورت رابطهٔ ۱۳ تعریف می‌شود:

$$e_{op} = e_{dr} \times e_{de} \qquad (۱۳)$$

کفایت برداشت از آب زیرزمینی (A_{dr})، نسبت برداشت واقعی به برداشت مجاز را بیان می‌کند و به صورت رابطهٔ ۱۴ تعریف می‌شود.

$$A_{dr} = \begin{cases} \frac{V_{Draw}}{V_{Allow}} & V_{Draw} < V_{Allow} \\ 1 & V_{Draw} \geq V_{Allow} \end{cases} \qquad (۱۴)$$

کفایت تحویل (A_{de})، نسبت میزان آب تحویلی به میزان آب مورد نیاز در مزرعه را بیان می‌کند و طبق رابطهٔ ۱۵ تعریف می‌شود.

$$A_{de} = \begin{cases} \frac{V_f}{V_{Req}} & V_f < V_{Req} \\ 1 & V_f \geq V_{Req} \end{cases} \qquad (۱۵)$$

کفایت بهره‌برداری به صورت رابطهٔ ۱۶ تعریف می‌شود.

$$A_{op} = A_{dr} \times A_{de} \qquad (۱۶)$$

مطلوبیت سیستم در دو حالت تشریح می‌شود. اول، چنانچه سیستم دچار کمبود آب از نظر کفایت بهره‌برداری باشد، مطلوبیت به صورت حاصلضرب شاخص‌های کفایت بهره‌برداری و راندمان کلی سیستم، به صورت رابطهٔ ۱۷، ارائه می‌گردد.

$$Utility = e_p \times A_{op} \qquad (۱۷)$$

دوم، چنانچه سیستم از نظر راندمان بهره‌برداری دچار مازاد آب باشد، مطلوبیت به صورت حاصلضرب راندمان‌های بهره برداری و کلی سیستم، به صورت رابطهٔ ۱۸ ارائه می‌شود.

$$Utility = e_p \times e_{op} \qquad (۱۸)$$

حجم افزایش آب مورد نیاز در شبکه (V_{Req}) تابعی است از مطلوبیت سیستم و از جمع حجم افزایش آب مورد نیاز ناشی از افزایش سطح زیرکشت (V_{Req1}) و حجم افزایش آب مورد نیاز ناشی از تغییر الگوی کشت (V_{Req2})، از رابطهٔ ۱۹ به دست می‌آید.

$$V_{\mathrm{Re}q} = V_{\mathrm{Re}q1} + V_{\mathrm{Re}q2} \qquad (۱۹)$$

حجم افزایش آب مورد نیاز ناشی از افزایش سطح زیر کشت (V_{Req1}) از رابطهٔ ۲۰ محاسبه می‌شود که در آن، A= سطح زیرکشت؛ و h_{Req}= عمق آب مورد نیاز گیاه است که در شبکه آبیاری قزوین در عمل ۰/۴۲ میلی‌متر به دست آمده است.

$$V_{\mathrm{Re}q1} = A \times h_{\mathrm{Re}q} \times Utility \qquad (۲۰)$$

اضافه حجم آب مورد نیاز ناشی از تغییر الگوی کشت (V_{Req2}) از رابطهٔ ۲۱ محاسبه می‌شود که در آن، A= سطح زیرکشت؛ و h_{Inc}= عمق آب مورد نیاز گیاه در اثر تغییر الگوی کشت تعریف شده است. حداکثر افزایش عمق آب مورد نیاز گیاه در هر هکتار (h_{Inc}) در شبکه آبیاری قزوین بر اساس الگوهای کشت مختلف ۰/۰۶۳۷ میلی‌متر به دست آمده است.

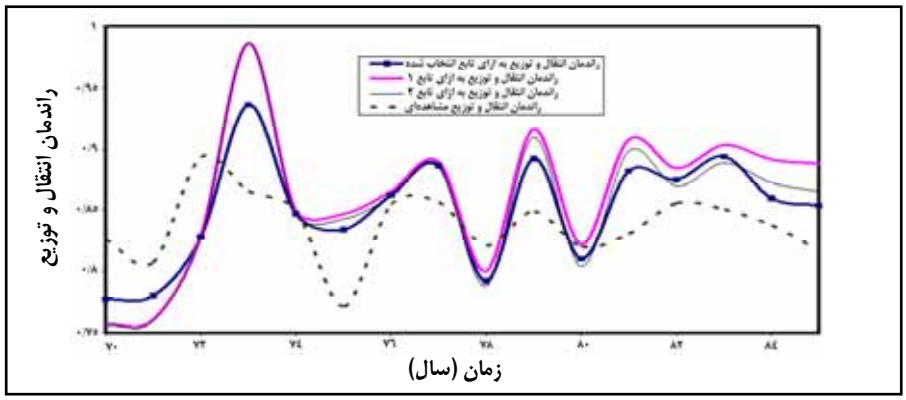
$$V_{\mathrm{Re}q2} = A \times h_{Inc} \times Utility \qquad (۲۱)$$

حجم آب تحویلی به شبکهٔ آبیاری قزوین (V_c)، حجم تغذیهٔ مصنوعی (V_{Rech})، حجم آب مصرفی کشاورزی (V_f)، حجم برداشت از آب زیرزمینی (V_{Draw})، راندمان کاربرد (e_a)، سطح زیر کشت (A)، هزینه تعمیرات و نگهداری چاه‌ها و کانال‌ها (P_{main})، و هزینهٔ لایروبی (P_{dredg}) پانزده (۱۵) ساله بین ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۵ در دسترس هست و از آنها در اجرای مدل استفاده شد (Siahi, 2007; Hashemi, 2008). سایر عوامل نیز با استفاده از داده‌های موجود محاسبه شد.

صحت‌سنجی مدل: با توجه به خصوصیت ویژهٔ دینامیک سیستم‌ها مبنی بر آموزش در حین مدل‌سازی، با حصول تجربه از روند آن با داده‌های واقعی به مرور می‌توان رفتار سیستم را آزمود که به هنگام مدلسازی و قبل از صحت‌سنجی نهایی آن به تدقیق مدل می‌انجامد.

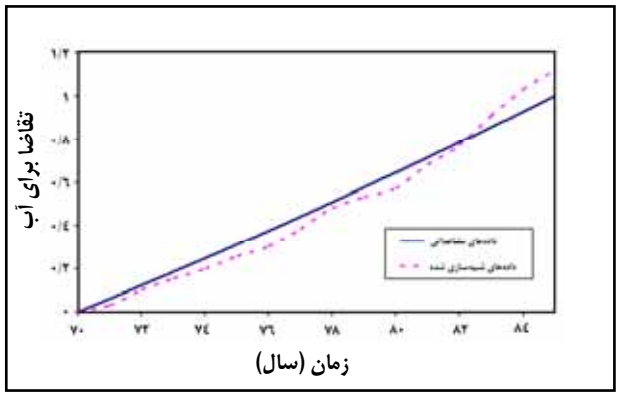
آزمون مدل تحت شرایط حدی: یکی از کارهای اجرا شده در این زمینه، آزمون مدل تحت شرایط حدی است. با لحاظ کردن مقادیر خیلی کوچک (صفر) و خیلی بزرگ برای متغیرهای حالت یا جریان، روند تغییر رفتار مدل با روند معمول و مورد انتظار مقایسه شده است. مثلاً با در نظر گرفتن سطح زیرکشت صفر میزان تقاضای آب صفر به دست آمد و با در نظر گرفتن عملیات بهره‌برداری و نگهداری بینهایت، تلفات ناشی از انتقال و توزیع صفر خواهد شد.

آزمون تحلیل حساسیت: از دیگر کارهای اجرا شده در خصوص صحت‌سنجی مدل، تحلیل حساسیت نسبت به توابع انتخابی است. در این زمینه، تغییر رفتار متغیر مرجع (راندمان انتقال و توزیع) به ازای تغییر در تابع اجرای طرح‌های بهسازی ارزیابی شد تا تابع مناسب انتخاب شود. برای نمونه، تابع اجرای طرح‌های بهسازی علاوه بر رابطهٔ ۵ در دو حالت دیگر به صورت تابع ۱ و ۲ به ترتیب با ضریب ۲ و ۰/۵ در نظر گرفته شد و اثر آنها روی راندمان انتقال و توزیع در شکل ۱۸ نشان داده شده است. بر اساس این آزمون، نتایج به مقدار توابع حساسیت زیادی نشان نمی‌دهد.

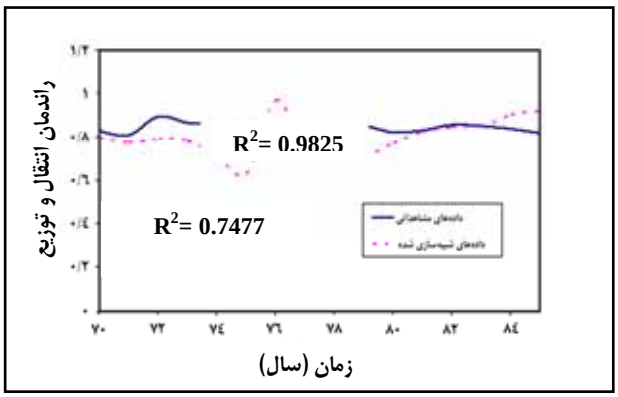


شکل ۱۸- راندمان انتقال و توزیع به ازای حالت‌های مختلف تابع اجرای طرح‌های بهسازی (رابطهٔ ٤)

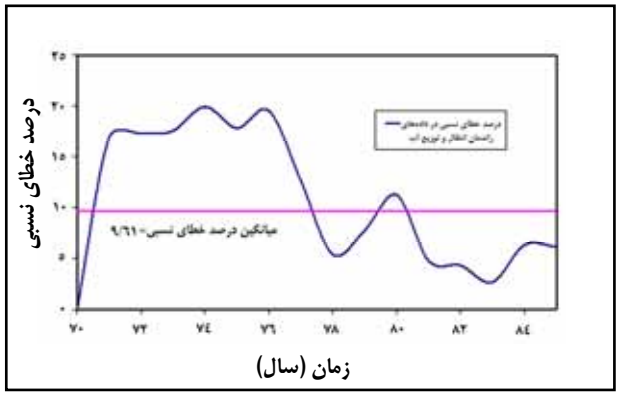
آزمون مقایسهٔ نتایج مدل با رفتار مسئلهٔ مشاهده شده: با توجه به مراحل مختلف صحت‌سنجی و اینکه برای متغیر مرجع اصلی دادهٔ واقعی وجود نداشت، نتایج نهایی آن برای متغیر تقاضای آب و راندمان انتقال و توزیع با آنچه مشاهده شد، مقایسه شده است. تغییرات تقاضای آب و راندمان انتقال و توزیع در شکل ۱۹ و ۲۰ دیده می‌شود. نمودار درصد خطای نسبی دو متغیر مذکور نیز در شکل‌های ۲۱ و ۲۲ نشان داده شده است.



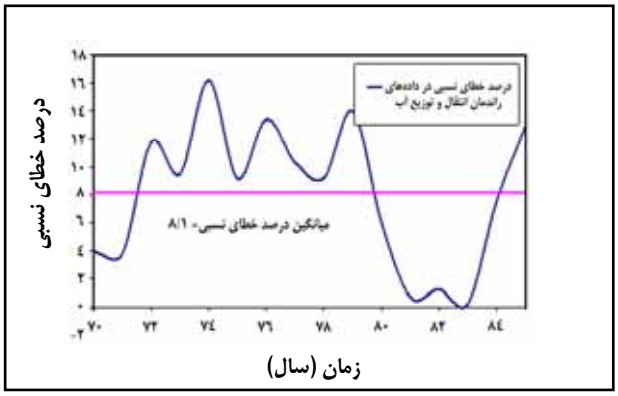
شکل ۱۹- داده‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی تقاضا برای آب



شکل ۲۰- داده‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی راندمان انتقال‌توزیع



شکل ۲۱- نمودار درصد خطای نسبی در داده‌های تقاضای آب

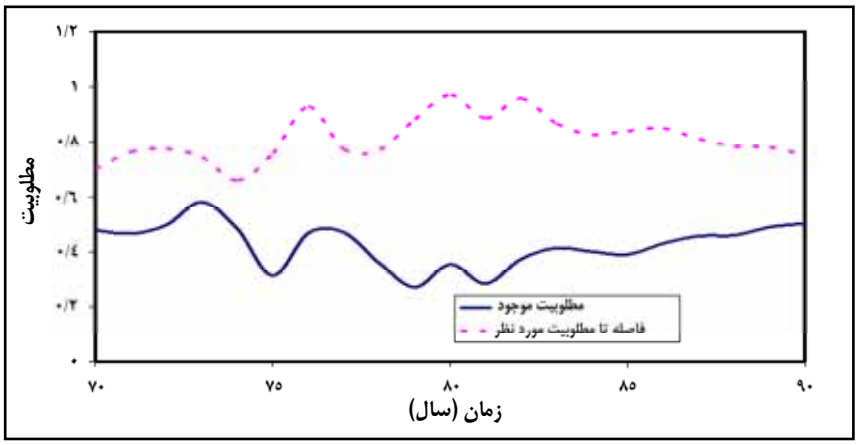


شکل ۲۲- نمودار درصد خطای نسبی در داده‌های راندمان انتقال‌توزیع

نمودارها نشان می‌دهند که رفتار نتایج حاصل از مدل با تابع انتخاب شده با دقت ۹۰ درصد به رفتار مشاهده‌ای نزدیکتر است. لذا می‌توان گفت مدل توسعه یافته، با رفتار مسئلهٔ مشاهده شده انطباق مناسبی دارد.

اجرای مدل و آزمون گزینه‌ها: با توجه به نتایج صحت‌سنجی مدل، می‌توان از آن برای بررسی رفتار سایر خصوصیات سیستم و طراحی سیاست‌های بهسازی استفاده کرد. در این مدل، با توجه به حلقه‌های علت معلولی سه گزینه در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از: ۱- ثابت نگه داشتن سطح زیر کشت، این گزینه از روند افزایش پیامدهای ناخواسته در توسعهٔ کشاورزی و فعال شدن حلقهٔ ®، (Reinforcing)، در الگوی راه‌حل‌های شکست خورده در شکل ۱۰ که باعث افزایش بی‌رویه مصرف آب می‌شود، جلوگیری کند. ۲- برداشت از آب زیرزمینی کمتر از میزان مجاز در حلقهٔ ®، (Balancing)، در الگوی محدودیت‌های رشد در شکل ۹ که نتیجه آن کنترل تقاضا و جلوگیری از برداشت بیش از آبدهی مطمئن سفره آب زیرزمینی است. ۳- سرمایه‌گذاری در جهت اجرای طرح‌های بهسازی، با فعال کردن حلقهٔ ®، (Balancing)، در الگوی راه‌حل‌های شکست خورده با کاهش تلفات فیزیکی و مدیریتی آب راندمان و سایر پارامترهای تأثیرگذار بر شبکه‌های آبیاری را افزایش می‌دهد و بدین ترتیب سطح مطلوبیت و عملکرد بالا می‌رود.

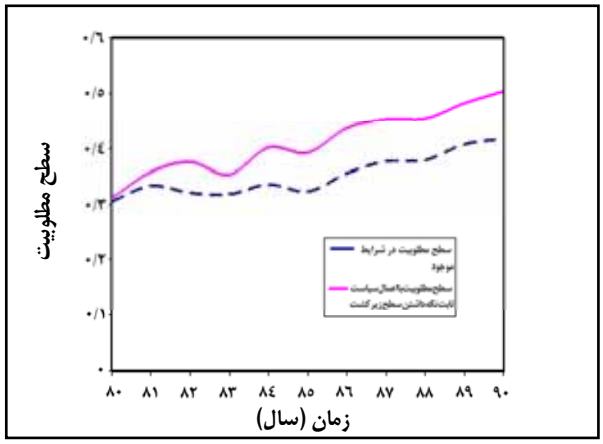
در شکل ۲۳، مطلوبیت موجود در زمان با توجه به تغییرات عوامل مؤثر بر آن و فاصلهٔ مطلوبیت موجود تا مطلوبیت مورد نظر نشان داده شده است. در این شکل می‌بینیم که مطلوبیت موجود تا سال ۱۳۹۰ شبیه‌سازی شده است و از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰ روند کاهشی آن مشهود است. از سال ۸۰ تا ۸۵ که فعالیت‌های بهسازی افزایش یافته این روند کاهشی شیب کمتری پیدا دارد و بعد از آن تا سال ۱۳۹۰ روند افزایشی خواهد داشت. البته انتظار می‌رفت که با فعالیت بیشتر دینامیک اجرای طرح‌های بهسازی سطح مطلوبیت روند افزایشی بیابد اما دینامیک افزایش تقاضا برای آب در اثر افزایش سطح زیر کشت و عامل محدودکننده منابع آب زیرزمینی این مکانیزم را کنترل کرده و تنها از شیب روند کاهشی سطح مطلوبیت کاسته است. بدین ترتیب، مشخص می‌شود که اقدامات بهسازی موجب شده است که سطح مطلوبیت از سال ۱۳۸۰ به بعد ثابت بماند و در بعضی مواقع افزایش یابد.



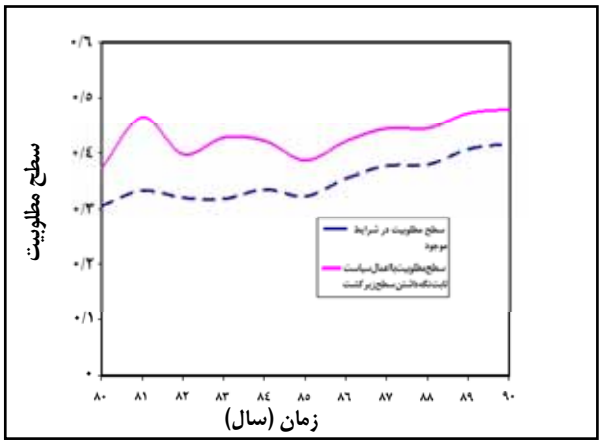
شکل ۲۳- مطلوبیت موجود و فاصلهٔ آن تا مطلوبیت موردنظر در شبکهٔ آبیاری قزوین

چنانچه بتوان با اعمال سیاست‌هایی، دینامیک‌های موثر بر مطلوبیت را کنترل کرد، می‌توان سطح مطلوبیت را ارتقا بخشید. یکی از سیاست‌های مؤثر بر مطلوبیت، که نسبتاً قابل کنترل است و به نظر می‌رسد توجه به آن در شرایط فعلی به لحاظ آب‌بری زیاد اراضی حاشیهٔ پایین‌دست شبکه لازم باشد، کنترل سطح زیر کشت است. در گزینه کنترلی روی این عامل، افزایش سطح زیرکشت محدود می‌شود. در این حالت اگر به بررسی سطح مطلوبیت بپردازیم شکل ۲۴ حاصل خواهد شد. با کنترل سطح زیرکشت، یا در واقع کنترل میزان تقاضای آب، سطح مطلوبیت افزایش می‌یابد و در سال ۱۳۹۰ حداکثر به میزان ۱۰ درصد بهبود خواهد یافت. بدین ترتیب با کنترل دینامیک افزایش تقاضا، سطح مطلوبیت ارتقا می‌یابد.

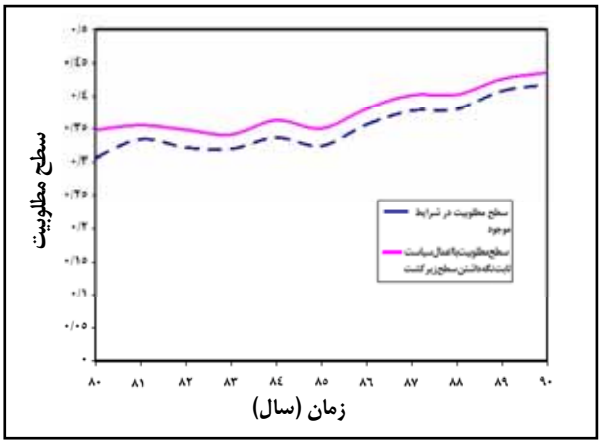
از گزینه‌های دیگر قابل کنترل مؤثر بر مطلوبیت، کنترل برداشت از آب زیرزمینی است که در حال حاضر به دلیل برداشت بیش از آبدهی مطمئن از سفره آب زیرزمینی، سبب تداوم در روند رو به پایین سطح آبخوان شده است. در صورت اعمال سیاست‌های کنترل حجم برداشت از آب زیرزمینی به میزان کمتر از حجم برداشت مجاز، سطح مطلوبیت به صورت شکل ۲۵ حاصل خواهد شد. بدین ترتیب با کنترل برداشت از آب زیرزمینی و در واقع کنترل میزان مصرف آب کشاورزی، سطح مطلوبیت کلاً ارتقا می‌یابد و در سال ۱۳۹۰ به میزان ۸ درصد افزایش خواهد یافت. این امر نشان می‌دهد که با کنترل دینامیک منابع موجود برای عرضه نیز امکان افزایش سطح مطلوبیت وجود دارد. اما گزینهٔ اصلی مد نظر، سرمایه‌گذاری در جهت بهسازی شبکه‌های آبیاری، بهبود عملیات بهره‌برداری، و نگهداری است و دلیل این انتخاب، افزایش فرسودگی پوشش کانال‌ها، مدیریت نادرست بهره‌برداری، و ناکافی بودن تعمیرات و نگهداری به موقع است. تغییرات ناشی از افزایش سرمایه‌گذاری در بهسازی شبکه در شکل ۲۶ نشان داده شده است. در واقع با کنترل و بهبود دینامیک اجرای طرح‌های بهسازی، سطح مطلوبیت کلاً بالا می‌رود و در سال ۱۳۹۰ به میزان ۳ درصد بهبود خواهد یافت. این موارد نشان می‌دهند که با کنترل دینامیک‌های تشدیدکننده تغییرات، امکان کنترل بهتر سطح مطلوبیت وجود دارد.



شکل ۲۴- اعمال سیاست در مدل با سطح زیرکشت ثابت

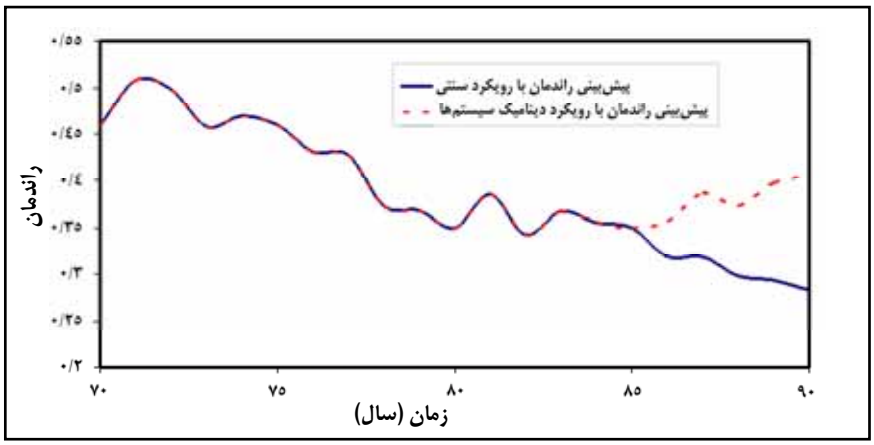


شکل ۲۵- اعمال سیاست در مدل با کاهش برداشت از آب زیرزمینی



شکل ۲۶- اعمال سیاست در مدل با سرمایه‌گذاری در جهت اجرای طرح‌های بهسازی

شکل ۲۷، پیش‌بینی راندمان کل را تا سال ۱۳۹۰ در دو حالت نشان می‌دهد یکی وقتی که رویکردهای سنتی (رویکرد حال حاضر شبکه‌های آبیاری) ادامه داشته باشد و دیگری وقتی که گزینه‌های فوق عملیاتی شود. با توجه به آنچه گفته شد می‌توان پیش‌بینی کرد که در صورت عملی نشدن گزینه‌های فوق، پایداری سیستم و در نتیجه سوددهی آن در درازمدت به مخاطره خواهد افتاد در حالی با اجرا شدن گزینه‌های پیشنهادی می‌توان سال‌ها بی آنکه در عملکردها کاهشی پیدا شود از سیستم بهره‌برداری کرد.



شکل ۲۷- پیش‌بینی راندمان با ادامهٔ رویکرد سنتی در مقایسه با عملی‌شدن رویکردهای پیشنهادی

نتیجه‌گیری

نتایج کلی تحقیق را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

ارتقای مطلوبیت یا بهبود عملکرد هدف اصلی بهسازی شبکه‌های آبیاری مورد نظر است که با توجه به تعدد عوامل مؤثر بر آن و پیچیدگی روابط آنها مستلزم بررسی همه جانبه و سیستمیک است.

رویکرد دینامیک سیستم‌ها به شناخت بهتر مکانیزم‌های تأثیرگذار بر بهسازی شبکه‌های آبیاری کمک

مـی‌کنـد. بـا اسـتفاده از ایـن رویکـرد در مطالعـهٔ سـطح مطلوبیت، می‌توان از رفتار واقعی سیستم و پـیش‌بینـی آن در طول زمان درک واقع بینانه‌تری بـه دسـت آورد کـه در نتیجه تصمیم‌گیـری بـر اسـاس آن اصـولی‌تـر و مـدیریت سیستم مؤثرتر خواهد شد.

با توسعهٔ مدل سیستمیک بهسازی شبکه‌های آبیـاری، این امکان فراهم می‌شود تا بازخوردهای تغییر عوامل مـؤثر شبکه‌هـا از جملـه رانـدمان، کفایـت، عـدالت، پایـداری، و انعطاف‌پذیری در تحویل آب بـر تغییـرات الگـوی کـشت و سطح زیرکشت و در نتیجه بر مطلوبیـت و عملکـرد شـبکه مطالعه و جایگاه و تأثیر هر یک از این عوامـل در بهـسازی شبکه‌های آبیاری مشخص شود.

مدل بهسازی شبکه‌های آبیاری بـا رویکـرد دینامیـک سیستم‌ها بر اساس تغییرات راندمان بـرای شـبکه آبیـاری قزوین اجرا و سطح مطلوبیت به صورت کمی بررسی شـده است. این تحقیق با توجه به دینامیک افزایش تقاضا بـرای آب و محدودیت منابع آب و دینامیـک اجـرای طـرح‌هـای بهسازی انجام شده است.

بـا کنتـرل هـر یـک از دینامیـک‌هـای تـشدیدکننده (دینامیک افزایش تقاضا و محـدودیت منـابع آب و اجـرای طرح‌هـای بهـسازی) حـاکم بـر مـدل دینامیـک بهـسازی شـبکه‌هـای آبیـاری، تغییـرات زیـادی در رفتـار سیـستم مشاهده می‌شود که به افزایش سطح مطلوبیت می‌انجامـد. هر یـک از ایـن گزینـه‌هـای کنترلـی ماننـد گزینـهٔ ثابـت نگه‌داشتن سطح زیرکـشت بـا ۱۰ درصـد، گزینـه کنتـرل برداشـت از آب زیرزمینـی بـا ۸ درصـد، و گزینـهٔ بهبـود سرمایه‌گذاری برای اجرای طرح‌های بهسازی بـا ۳ درصـد، تأثیرات متفاوتی بر ارتقـای مطلوبیـت دارد. نتـایج نـشان می‌دهد که در صـورت اجرایـی نـشدن گزینـه‌هـای فـوق، پایداری سیستم و در نتیجه سوددهی آن در درازمـدت بـه مخاطره خواهد افتاد در حالی که اگر گزینه‌های پیشنهادی اجرایی شوند سیستم قادر خواهد بـود سـال‌هـای متـوالی بدون کاهش در عملکرد مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

ایـن مطالعـه نـشان مـی‌دهـد کـه فقـط بـا افـزایش سرمایه‌گذاری در جهت اجرای طرح‌های بهسازی، عملکـرد شبکهٔ آبیاری قـزوین و مطلوبیـت آن، بـرخلاف بـاور حـال حاضر، افزایش نخواهد یافت بلکه باید عوامل دیگری چـون برداشت از آب زیرزمینی و افزایش بی‌رویه سطح زیرکـشت نیز همزمان بررسی و کنترل قرار شوند تا نتیجهٔ مطلوب در سطح شبکه حاصل شود. این مسئله قابـل توجـه اسـت و می‌تواند در بقیهٔ شبکه‌ها نیز مد نظر باشد.

رویکرد دینامیک سیستم‌هـا در بهـسازی شـبکه‌هـای آبیاری علاوه بر نگرش جـامع بـه شـبکه‌هـا، مـی‌توانـد در شـناخت مـشکلات و مـسایل حـال حاضـر آنهـا و ارائـهٔ راه‌حل‌های مؤثر در جهت افزایش بهره‌وری شبکه‌ها کمـک کند.

پیشنهاد می‌شود در مطالعـات بعـدی معیـار عملکـرد مطلوب هم از دیـدگاه مـدیر شـبکه و هـم از دیـدگاه زارع مورد توجه قرار گیرد و بهبود تأمین آب وقتی عملی شـود که در دراز مـدت سـایر عوامـل مطلوبیـت دچـار خـسارت نشوند.

مراجع

Anon. 1998a. World Experiences of Irrigation Management Transfer. Iranian National Committee of Irrigation and Drainage. No 20. (in Farsi)

Anon. 1998b. Vensim PLE software version 3.0. Ventana Systems, Inc., 60 Jacob Gates Road, Harvard, Massachusetts.

Anon. 2002. How Design, Management and Policy Affect the Performance of Irrigation Projects.

Bagheri, A. 2006. Sustainable Development: Implementation in Urban Water Systems. PhD Thesis. Water Resources Engineering Department. Lund University. Sweden.

Hashemi, M. 2008. Performance Analysis of Irrigation Networks using Fuzzy and Logic Clustering (Case Study: Gazvin Irrigation Networks). M.Sc. Thesis. Department of Civil Engineering. Faculty of Engineering. Tarbiat Modares University. (in Farsi)

Hjörth, P. and Bagheri, A. 2006. Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach. Futures 38(1): 74–92.

Kavekar, N. and Parvaresh Rizi, A. 2008. Study categorization on rehabilitation and modernization of irrigation networks. Proceedings of the 2nd Conference, Management of Irrigation and Drainage Networks, Shahid Chamran University. Ahvaz. (in Farsi)

Mohseni Movahed, A. and Monem, M. J. 2002. Developing model of performance assessment and optimal operation of irrigation networks. Proceedings of the 11th Congress. Iranian National Committee of Irrigation and Drainage. Tehran. Iran. (in Farsi)

Monem, M. J., Gaheri, A., Badzahr, A., Garavi, H., Borhan, N., Zolfagari, A., Sabeti, E. and Ehsani, M. 2000. Performance assessment of Qazvin irrigation networks using PSIAC Model. Proceedings of the 10th Congress. Iranian National Committee of Irrigation and Drainage. Tehran. Iran. (in Farsi)

Renault D., Facon, T. and Wahaj, R. 2007. Mapping system and services for canal operation techniques: The MASSCOTE Approach. 2007. USCID 4th International Conference on Irrigation and Drainage.

Siahi, M. K. 2007. Rehabilitation of Qazvin irrigation network. Technical Workshop on Rehabilitation, Modernization and Performance Improvement of Irrigation Networks. Faculty of Science. Tarbiat Modares University. (in Farsi)

Sohrabi, T., Ojaglo, H., Mosavi Yasori, E. and Verdinezhad, V. 2008. Investigation of conveyance and distribution efficiency in Qazvin irrigation network. Proceedings of the 2th Conference, Management of Irrigation and Drainage Networks. Shahid Chamran University. Ahvaz. (in Farsi)

Stave, K. 2002. A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada. J. Environ. Manag. 67, 303-313.

Vaez Tehrani, M. and Monem, M. J. 2008. Modernization in irrigation networks. Proceedings of the 2th Conference, Management of Irrigation and Drainage Networks. Shahid Chamran University. Ahvaz. (in Farsi)

Vlachos, D., Georgiadis, P. and Iakovou, E. 2007. A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains. Computers & Operations Research. 34(2): 367-394.

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.11/No.4/2011/P: 35-56

Systems Dynamics Model to Assess Irrigation Networks

M. Vaez Tehrani, M. J. Monem* and A. Bagheri

* Corresponding Author: Associate Professor, Tarbiat Modares University, P. O. Box: 14155-3838. Tehran, Iran. E-mail: javadmonem@gmail.com

An assessment of irrigation networks shows that their utility is less than expected because of poor design and operation, lack of sufficient maintenance and poor management. Poor performance of irrigation networks is partly because of old components that require rehabilitation. Rehabilitation of irrigation systems are done case-by-case, which lacks integration and a systemic approach and has not led to appreciable improvement. The involvement of so many components in irrigation rehabilitation and their complex interactive relation on system performance requires a system dynamics approach. Simulation techniques must be explored that represent complex dynamic systems in a realistic way. System dynamics, a feedback-based object-oriented simulation approach, was used to model the rehabilitation of irrigation networks. The ease of model modification in response to changes in the system and the ability to perform sensitivity analysis make this approach attractive for modeling the rehabilitation. In this paper, the proposed approach was applied to rehabilitate irrigation networks where the main elements affecting the network utility were efficiency, adequacy, equity, flexibility and stability in water delivery. Several rehabilitation scenarios were considered and their effects on the performance element (efficiency) were investigated. The long-term impact of the system utility was determined using system dynamics modeling and the appropriate policies were selected. The Qazvin Irrigation Network was selected as a case study. The three scenarios for network rehabilitation were fixing the area under cultivation, decreasing drawdown of groundwater and increasing investment in rehabilitation projects. The effect of the scenarios on the efficiency of the system was calculated and the final impact on the system utility was determined. The results showed that all three scenarios improved system utility, however, fixing the area under cultivation showed the best improvement.

Key Words: Irrigation Networks Rehabilitation, System Dynamics, Simulation, Technical and Management Reform, Qazvin Irrigation Network