نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۳، مهر - آبان ۱۳۹۸، ص. ۱۰۰۹-۹۹۸

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 13, Oct.-Nov. 2019, p. 998-1009

بررسی اثر مدیریت تقاضای آبیاری بر تعادل منابع آب و رفاه اقتصادی کشاورزان (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور)

محمود صبوحی صابونی[1*]، امیرجلالی موحد[2]، سمیه شیرزادی لسکوکلایه[3]، مهدی ضرغامی[4] و فرشید فلفلانی[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۱۸

چکیده

تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت و بهره‌برداری غیر بهینه از منابع آب، لزوم توجه به حفاظت و پایداری این نهاده ضروری در تولید محصولات کشاورزی را دوچندان می‌نماید. لذا، بهره‌گیری از مدیریت تقاضای آب، به عنوان راهکاری جهت استفاده اصولی‌تر از منابع آب می‌تواند کارگشا باشد. در مطالعه حاضر، جهت بررسی سیاست مدیریت تقاضا بر تعادل منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز نیشابور، از الگوی اقتصادی و روش پویایی سیستم (SD) استفاده شد. سیاست‌های مورد بررسی شامل کاهش آب تخصیصی به بخش کشاورزی و افزایش راندمان آبیاری می‌باشند. بر اساس نتایج سیاست کاهش سهم آب آبیاری اثر مثبتی بر سطح آب زیرزمینی دارد بدون اینکه تأثیر زیادی بر کاهش میزان کشت محصولات زراعی و درنتیجه آن کاهش سود زراعی کشاورزان منطقه داشته باشد. همچنین، افزایش راندمان آبیاری نسبت به سیاست کاهش آب تخصیصی کشاورزی، وضعیت بهتری در سطح آب زیرزمینی و میزان سود محصولات زراعی کشاورزان نشان داد. به طوری که حداکثر میزان تغییر در سود ناخالص کشاورزی منطقه ۱۰درصد کاهش و حداقل بهبود در تراز آب زیرزمینی حوضه ۰/۴۷ متر تعیین شد. جهت بررسی وضعیت آینده منابع آب حوضه آبریز نیشابور، سیاست کاهش سهم آب در شبیه‌سازی منابع آب زیرزمینی حوضه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تا ۲۰ درصد کاهش آب کشاورزی، وضعیت سطح آب زیرزمینی تا سال ۱۴۰۰، حدود ۴/۷ متر بالاتر خواهد آمد و به تعادل نزدیک‌تر خواهد شد. تجزیه و تحلیل نتایج بیان‌کننده این مطلب می‌باشد که اجرای سیاست افزایش راندمان آبیاری به همراه کاهش سهم آب کشاورزی تأثیر مناسب‌تری بر تعادل حوضه خواهد داشت.

واژه های کلیدی: رفاه اقتصادی، پویایی سیستم، حوضه آبریز نیشابور، مدیریت تقاضای آبیاری

مقدمه

راندمان مصرف آب در ایران پایین و بین ۳۰ تا ۴۰ درصد تخمین زده می‌شود و میزان مصرف آب برای آبیاری محصولات مهم کشاورزی نیز در مقایسه با مصرف متوسط جهانی بسیار بالا است (مطالعات برنامه آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۹۴). افت سطح آب زیرزمینی و بحرانی شدن وضعیت آب برای حداقل ۱۲۰ دشت کشور، از بزرگ‌ترین مشکلات بخش کشاورزی ایران می‌باشد. در حال حاضر منابع آب زیرزمینی در تعداد زیادی از دشت‌های ایران و استان خراسان رضوی دارای کسری مخزن می‌باشند (فرج زاده و همکاران، ۱۳۸۴). مطالعه وضعیت منابع آبی استان خراسان نشان داد که خشکسالی تنها دلیل اصلی افت سطح آب‌های زیرمینی و بحرانی شدن اکثر دشت‌های ایران نیست. بلکه اضافه برداشت‌های غیرضروری سبب به وجود آمدن چنین مسئله‌ای شده است تا جائیکه در سال‌های با بارندگی مناسب نیز کاهش سطح آب زیرزمینی برای این مناطق رخ داده است (ولایتی، ۱۳۸۵). حوضه آبریز نیشابور نیز یکی از حوضه‌هایی است که با مشکلات کمبود آب دست به گریبان است. این حوضه با وسعت ۹۳۵۰ کیلومتر مربع شامل دو محدوده مطالعاتی رخ و نیشابور است که تماماً در حوضه‌آبریز کویر مرکزی واقع شده و بعد از دشت مشهد مهم‌ترین دشت استان خراسان رضوی می‌باشد (مطالعات برنامه آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۹۴). در دشت نیشابور به دلیل ناچیز بودن جریان‌های آب سطحی، استحصال آب مورد نیاز عمدتا از طریق منابع آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود. بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی منجر به افت سطح سفره آب زیرزمینی و نهایتا بیلان منفی و ممنوع شدن برداشت از این منابع

۱- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
۳- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استاد دانشکده مهندسی عمران و عضو هیئت علمی پژوهشکده محیط زیست دانشگاه تبریز
۵- دانشجوی دکتری گروه عمران و محیط زیست دانشگاه ایالتی میشیگان، ایست لنسینگ، آمریکا
(*- نویسنده مسئول: Email: sabouhi@um.ac.ir)

شده است. در این منطقه، مسئله بحران آب در نتیجه به‌هم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و افزایش تقاضای منابع آب از سال ۱۳۶۵ به بعد نمود پیدا کرد. با این حال، طبق گزارش آمایش استان خراسان رضوی در بازه زمانی سال‌های ۷۵ تا ۸۷ سطح آبخوان حدود ۱۰/۱۴ متر افت پیدا کرده است (مطالعات برنامه آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۹۴).

در مطالعه حاضر جهت جلوگیری از ادامه روند فعلی در افت سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه و بهبود سطح آن، به ارزیابی استراتژی‌های مدیریت تقاضا با هدف نزدیک شدن به تعادل حوضه آبریز نیشابور پرداخته شد. شبیه‌سازی حوضه با استفاده از روش پویایی سیستم[1] (SD) انجام گردید و با تلفیق آن با روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت[2](PMP) اثرات مختلف سیاستی (کاهش تخصیص آب کشاورزی و افزایش راندمان آبیاری) در حوضه آبریز نیشابور مورد بررسی قرار گرفت.

مطالعات فراوانی در راستای سیاست‌های مدیریت تقاضای آبیاری، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی و پویایی سیستم صورت گرفته‌اند. پایمزد و همکاران جهت تخمین سهم آب بخش کشاورزی در حوضه آبریز زاینده رود اصفهان، با لحاظ نمودن میزان آب قابل دسترس، از روش برنامه‌ریزی غیرخطی و سیستم‌های پویا استفاده کردند. نتایج تحقیق، قابلیت و توانمندی قابل قبول مدل را در بهینه‌سازی حوضه بیان نمود (Paymazd et al., 2010). صلوی تبار و همکاران (۱۳۹۰) برای شبیه‌سازی منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه هراز از روش پویایی سیستم استفاده کردند. نتایج مطالعه بیان‌کننده مناسب بودن روش پویایی سیستم در شبیه‌سازی و بررسی اثر سناریوهای مختلف مدیریتی آب در این حوضه بود. عبدولوندی و همکاران، در مطالعه‌ای اثرات احداث سد نمرود بر پایداری منابع آب زیرزمینی منطقه و رویکردهای مدیریتی آن را با استفاده از مدل پویایی سیستم مورد بررسی قرار دادند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با افزایش راندمان آبیاری و برنامه‌ریزی مناسب درکشت محصولات حتی با افزایش برداشت آب نیز می‌توان به پایداری منابع آب منطقه دست یافت (Abdolvandi et al., 2014). سلطانی و علیزاده (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای مدیریت جامع آب کشاورزی در مقیاس حوضه آبریز را با استفاده از روش پویایی سیستم مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه جهت بررسی اثرات متقابل اقتصادی- زیست محیطی طرح های توسعه منابع آب دو شاخص کلان هزینه‌های ملی و درآمد ملی توسعه داده شد. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که مدل قادر است متغیرهای کلیدی عملکرد نسبی محصولات زراعی، تراز آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی را با دقت مناسب شبیه‌سازی کند. ناصری و همکاران (۱۳۹۰) برای مدیریت بهره‌برداری آبخوان دشت تبریز از روش مدل‌سازی پویایی سیستم استفاده نمودند و اثر سناریوهای مدیریتی افزایش راندمان آبیاری و افزایش تخصیص آب از منابع آب سطحی را بر سطح آبخوان را بررسی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که با افزایش ۲۰٪ راندمان کشاورزی و افزایش ۲ مترمکعب بر ثانیه تخصیص از آب سطحی و تقویت ۸/۵ میلیون مترمکعب در سال از اجرای طرح تغذیه مصنوعی در شرایط فعلی آبخوان تقریبا مشکلی نخواهد داشت ولی در صورت وقوع خشکسالی و کاهش بارش، به میزان ۷/۰۱ میلیون مترمکعب در سال از ذخیره ثابت آبخوان کاسته می‌شود. پرهیزگاری و همکاران (۱۳۹۳) جهت شبیه‌سازی رفتار کشاورزان شهرستان زابل نسبت به سیاست‌های اقتصادی آبیاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری از روش برنامه‌ریزی مثبت ۳(PMP) استفاده کردند. نتایج نشان داد که اجرای سیاست‌های مورد بررسی مطالعه، به ترتیب منجر به کاهش سود ناخالص و مجموع سطح زیرکشت محصولات زراعی به میزان ۹/۵۴ و ۵/۱۴ درصد و کاهش میزان آب مصرفی به میزان ۶/۲۳ و ۷/۰۱ درصد می‌گردد. همچنین، سیاست سهمیه‌بندی آب آبیاری به عنوان مناسب‌ترین راهکار و استراتژی در دستیابی به پایداری منابع آب منطقه پیشنهاد شد. موسوی و قرقانی (۱۳۹۰) اجرای سیاست‌های آب کشاورزی از منابع آب زیرزمینی را با استفاده از مدل برنامه‌ریزی مثبت (PMP) در شهرستان اقلید فارس ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که با اعمال سیاست ۱۰ درصد کاهش موجودی آب و دو برابر نمودن قیمت آب، تغییر چندانی در الگوی کشت بهینه نسبت به وضعیت فعلی و سال پایه رخ نمی‌دهد. لذا، مدیریت بهینه تقاضای آب آبیاری می‌تواند روش مناسبی در جلوگیری از هدرفت بیشتر آب باشد. نیکبخت و نجیب (۱۳۹۴) در پژوهشی اثر افزایش راندمان آبیاری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت عجب شیر را با استفاده از نرم افزار MODFLOW بررسی نمودند. نتایج مطالعه نشان داد که با تغییر سیستم‌های آبیاری از سنتی به تحت فشار و افزایش راندمان آبیاری، بیلان آبخوان در پایان دوره پیش بینی به میزان ۳/۲۳ میلیون مترمکعب در سال افزایش یافت. همچنین سطح آب زیرزمینی دشت عجب شیر، به طور متوسط ۴/۶۳ متر افزایش داشت. آهارا و همکاران، در پژوهشی برای مدل‌سازی بهبود تخریب زیستگاه‌های ماهی در رودخانه سین فرانسه از مدل‌سازی اقتصادی-اکولوژیکی و تلفیق دو روش پویایی سیستم و مدل نهاده- ستاده استفاده نمودند. در مطالعه ایشان اثرات سناریوهای بازسازی و بهبود کیفیت آب مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج بیان کننده قابلیت بالای مدل تلفیقی در دستیابی به ویژگی‌های مورد نظر مطالعه بود(Uehara et al., 2018). محمدرضاپور و همکاران، در پژوهشی جهت مدیریت آب آبیاری و

1- System Dynamics(SD)

2- Positive Mathematical programming(PMP)

3- Positive Mathematical Programming(PMP)

بهینه‌سازی درآمد کشاورزان دشت قزوین از روش الگوریتم بهینه-سازی۱ در شرایط آب و هوایی مختلف استفاده نمودند. نتایج مطالعه ایشان در ارائه الگوی بهینه کشت نشان داد که به دلیل بالا بدن نیاز آبی محصول چغندر، بایستی تجدیدنظری در به حداقل رساندن سطح زیرکشت این محصل در شرایط آب و هوایی مختلف در منطقه مورد مطالعه صورت گیرد. همچنین با اعمال این روش بهینه‌سازی تحت شرایط آب و هوایی مرطوب، نرمال، خشک و گرم-خشک، میزان آب ذخیره شده سد به ترتیب درحدود ۲۶۴۷۴۵، ۲۸۶۵۳۸۷، ۲۷۵۷۸۹ و ۶۵۵۹۱۸ مترمکعب افزایش می‌یابد(Mohammad rezapour et al., 2017).

از دیگر مطالعات که با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی به بررسی سیاست‌های مدیریت تقاضای آب و واکنش کشاورزان در مصرف آب آبیاری، تغییرات رفاهی آن‌ها و حفاظت آبخوان پرداختند می‌توان به گراولین (Graveline., 2016)، یان (Yan., 2015)، آیدام (Aidam., 2015)، ایجازقریشی و همکاران (Ejaz Qureshi et al., 2013)، فینگر (Finger., 2012)، گالئو آیلا (Gallego-Ayala., 2012)، هویت و همکاران (Howitt et al., 2012)، مشتاق و مقدسی (Mushtaq and moghaddasi., 2011)، بلالی و همکاران (Balali et al., 2011)، کورتیگنانی و سروینی (Cortignani and Severini., 2009) و پرهیزگاری و همکاران (۱۳۹۵) اشاره نمود که در مطالعاتشان سیاست‌های قیمتی و مقداری آب و افزایش راندمان آبیاری به عنوان استراتژی‌هایی مؤثر بر مدیریت تقاضای آب و پایداری منابع آبی معرفی شدند. همچنین، در اکثر مطالعات بررسی شده صرفاً با استفاده از مدل‌های مجزای اقتصادی یا هیدرولوژی به بررسی بهبود تراز آب زیرزمینی و وضعیت رفاهی کشاورزان توجه شده است و اثر کاهش مقدار آب قابل دسترس کشاورزی بر وضعیت تراز آب زیرزمینی مورد بررسی قرار نگرفت.

در مطالعه حاضر با شبیه‌سازی کل حوضه آبریز نیشابور توسط روش پویایی سیستم و تلفیق آن با روش برنامه‌ریزی ریاضی به تحلیل اثر سیاست‌های آبیاری(کاهش سهم آب و افزایش راندمان آبیاری) با لحاظ نمودن حفظ پایداری کشاورزی، سود مناسب کشاورزان منطقه و حد مجاز برداشت کشاورزی از منابع آب زیرزمینی پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

برای بررسی دقیق‌تر میزان تغییرات سود کشاورزان و تغییرات تراز آب زیرزمینی از ترکیب دو روش برنامه‌ریزی مثبت[۲] و روش پویایی سیستم استفاده شد.

1- Cuckoo Optimization Algorithm
2- Positive Mathematical Programming

با شبیه‌سازی کل حوضه آبریز نیشابور با استفاده از روش پویایی سیستم، مقادیر عرضه هیدرولوژیکی آب کشاورزی بدست آمد و در محدودیت‌های مربوط به آب در بخش نهایی مدل اقتصادی مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت با اجرای کامل مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت و تجزیه و تحلیل سناریوی سیاستی، نتایج حاصل از واکنش کشاورزان در مقادیر مصرف آب آبیاری، میزان تغییرات تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز نیشابور با استفاده از روش پویایی سیستم تعیین گردید.

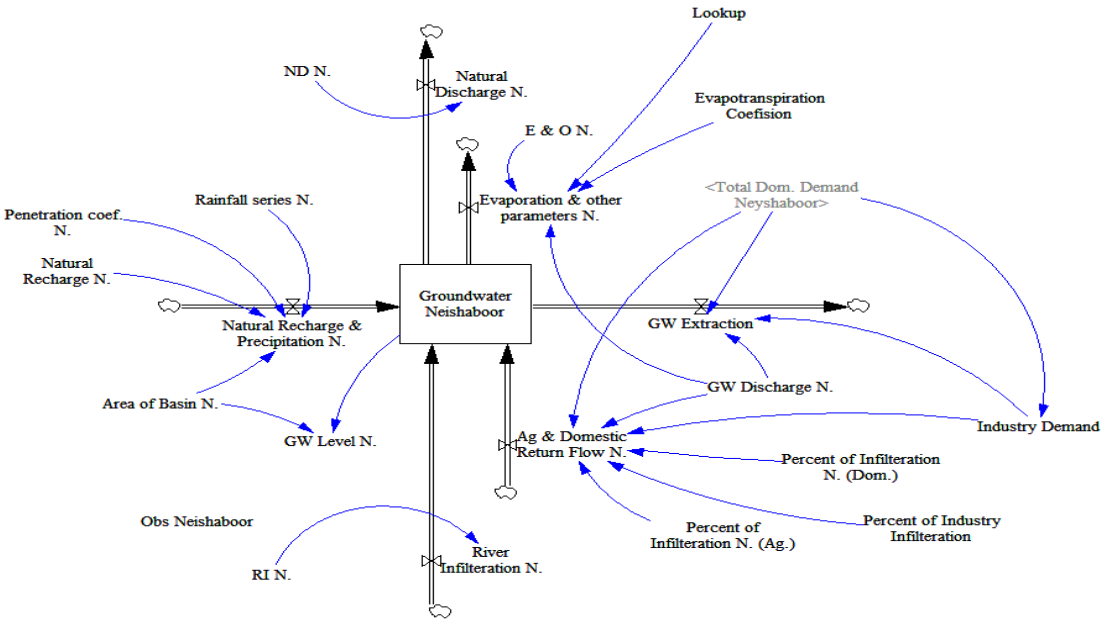
قانون پیوستگی در روش پویایی سیستم، از مفاهیم اساسی و مهم روندیابی مخازن می‌باشد. این روش مدل‌سازی از چهار ابزار ذخیره[۳]، جریان[۴]، رابط‌ها[۵] و تبدیل‌کننده‌ها[۶] استفاده می‌کند و به وسیله آن‌ها ذهنیت مدل‌ساز را به روابط علت و معلول و در نهایت به شکل ذخیره و جریان تبدیل می‌نماید. مدل‌سازی به روش پویایی سیستم فرآیند بازخورد را ارائه و نمایش می‌دهد که توسط ساختار ذخیره و جریان، تاخیر زمانی[۷] و توابع غیرخطی[۸] مدل پویایی سیستم را معرفی می‌کند(Sterman., 2000).

تمامی روش‌های پویایی سیستم از دو نوع حلقه بازخوردی مثبت (خود تقویت‌کننده) و منفی (خود اصلاح‌کننده) به وجود می‌آید. حلقه منفی به جستجوی هدف می‌باشد و با ساختار جستجوگر خود پایداری سیستم را ایجاد می‌نماید (Sterman., 2000 و صادقی و همکاران، ۱۳۸۳). به طور کلی متغیرهای نرخ معرفی شده به مدل شامل: بارش، نفوذ زیر سطحی، تبخیر و تعرق، برداشت از چاه‌ها و نفوذ از آب‌های سطحی هستند. همچنین، سری زمانی بارش، نیاز آب شرب، کشاورزی و صنعت، ورود یا خروج آب زیر سطحی و میزان آب برگشتی در هر منطقه، از جمله متغیرهای کمکی وارد شده به مدل می‌باشند. برای برآورد جمعیت در دوره‌های مختلف نیز، متغیر جمعیت به صورت یک متغیر حالت۹، زادوولد، مرگ‌ومیر و مهاجرت به عنوان متغیرهای نرخ و عوامل موثر بر تغییر نرخ‌های جمعیتی به عنوان متغیرهای کمکی به مدل معرفی شدند. در این مطالعه پارامترهای برون‌زای درنظرگرفته شده شامل میزان آب بهره‌برداری شده (سطحی و زیرزمینی)، تغییرات قیمت و مصارف آب کشاورزی با رویکرد نیل به توسعه پایدار منابع آب، اثرات خود را بر مدل وارد می‌نمایند. مهم‌ترین پارامتر در این مدل، مخزن آب زیرزمینی است که به عنوان یک متغیر حالت تعریف شده است. این متغیر نیاز به یک مقدار اولیه دارد که با توجه به نداشتن حجم مخزن واقعی نمی‌توان مقدار دقیقی برای آن در

3- Stock
4- Flow
5- Connecters
6- Converters
7- Delay Time
8- Nonlinear Function
9- Stock Variable

نظر گرفت. اما با توجه به هدف مطالعه حاضر، که تغییرات حجم مخزن مهم می‌باشد، می‌توان حاصل‌ضرب سطح حوضه در ارتفاع سطح آب از دریاهای آزاد در اولین دوره شبیه‌سازی را برابر با حجم مخزن دانست. هچنین، سطح آب زیرزمینی، برابر با حاصل تقسیم حجم مخزن بر سطح حوضه در محدوده مطالعاتی برآورد می‌گردد (Bagheri et al., 2015).

براساس داده‌های موجود در منطقه، بازه زمانی ۱۲ سال در نظر گرفته شد و مدل برای سال‌های ۱۳۷۸ الی ۱۳۹۰ (دوره ۱۲ ساله) اجرا شد.



شکل۱- مدل‌سازی آب زیرزمینی در حوضه آبریز نیشابور

شکل ۱ چگونگی مدل‌سازی این متغیرها در نرم افزار ونسیم[1] را نمایش می‌دهد. همچنین، برای ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی از معیار آماری ضریب تعیین[2](R2) استفاده شد. R2 معیاری بدون بعد و حداکثر میزان آن یک می‌باشد. رابطه ۱ نحوه محاسبه آن را نمایش می‌دهد (شفیعی جود، ۱۳۹۲).

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^{n} X_k Y_k}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n} X_k^2 \sum_{k=1}^{n} Y_k^2}} \qquad (۱)$$

دررابطه فوق XK مقادیر مشاهداتی، YK مقادیر برآورد شده وn تعداد داده‌ها می‌باشد.

به کمک این شاخص، رفتار مدل را می‌توان در شبیه‌سازی داده‌های مربوط به متغیرهای کلیدی بررسی کرد، تا در صورت قابل قبول بودن نتایج، صحت مدل‌سازی تأیید شود (شفیعی جود، ۱۳۹۲).

برای تعیین تغییرات تراز و کاهش سطح آب زیرزمینی در نتیجه برداشت بیش از حد آب برای مصارف کشاورزی از رابطه ۲ استفاده شد (Bagheri et al., 2015).

$$H = {}^{S}/_{(A * SC)} \qquad (۲)$$

که در آن H: سطح کاهش یافته آب زیرزمینی، S عرضه آب، A: سطح آبخیز و SC: ضریب ذخیره‌سازی می‌باشد.

روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) یک روش تجزیه و تحلیلی می‌باشدکه با استفاده از داده‌های کمیاب برای تحلیل‌های سیاستی به کار می‌رود و اهمیت فراوانی دارد. شبیه‌سازی رفتار کشاورزان با اعمال سناریوها و سیاست‌های مختلف می‌تواند در تصمیم‌گیرهای مناسب‌تر برنامه‌ریزان نقش مؤثری داشته باشد (Arfini et al., 2003). روش PMP مستلزم تغییر تابع هدف با استفاده از مقادیر دوگان محدودیت‌های واسنجی می‌باشد، به طوری که نتایج اولیه، داده‌های سال پایه را به دست دهد (Howitt et al., 2012). مراحل اجرای روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) به صورت زیر می‌باشد:

مرحله اول: تدوین الگوی برنامه‌ریزی خطی واسنجی شده.

$$MAX: \left[\sum_{i=1}^{5}\left(P_i Y_i - \sum_{j=1,\neq water}^{2} C_{ij} a_{ij}\right) X_i - \left(\sum_{w=1}^{2}(W_{gw} CW_{gw})\right)\right] \qquad (۳)$$

$$a_{ij} = \frac{\tilde{m}_{ij}}{\tilde{x}_i} \quad \forall i = 1 \ldots 5 \text{ و} \qquad (۴)$$

1- Vensim
2- Coefficientof Determination

$$\sum_{i=1}^{5} x_i \le X \quad (۵)$$

$$\sum_{i=1}^{5} aw_i\, x_i \le \sum_{w=1}^{2} W_w \quad (۶)$$

$$\sum_{w=1}^{2} W_w \le \sum_{w=1}^{2} WS_w \quad (۷)$$

$$x_i \le \tilde{x}_i + \in \quad (۸)$$

رابطه ۳ تابع هدف اولیه برای برنامه‌ریزی خطی را نشان می‌دهد که بیانگر حداکثرسازی سود حاصل از کشاورزی با استفاده از بهینه-سازی استفاده از نهاده‌های زمین و آب می‌باشد. روابط ۵، ۶، ۷ و ۸ محدودیت‌های مدل می‌باشند که به ترتیب مربوط به محدودیت سطح زیرکشت مناطق کشاورزی حوضه آبریز نیشابور، محدودیت آب مورد استفاده و آب قابل دسترس و محدودیت واسنجی می‌باشد. در روابط بالا، i: محصولات کشاورزی، j: نهاده‌های کشاورزی، P_i: قیمت هر محصول، Y_i: عملکرد هر محصول، C_{ij}: قیمت هر نهاده در تولید محصولات، a_{ij}: (ضرایب لئونتیف) نسبت استفاده از نهاده‌ها برای تولید هر محصول به سطح زیرکشت همان محصول در منطقه، X_i: سطح زیرکشت هر محصول، W_w : مقدار برداشت از منابع آب، CW_w: قیمت آب، X: کل سطح زیرکشت، aw_i: نیاز آبی هر محصول با راندمان آبیاری ۴۰ درصد، WS_w مقدار آب عرضه شده، $\tilde{x}_i$: مقدار مشاهده شده فعالیت مورد استفاده در سال پایه و $\in$ مقدار مثبت بسیارکوچکی را نشان می‌دهد.

مرحله دوم: تخمین تابع تولید CES و تابع هزینه غیرخطی

در این مرحله از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، مقادیر دوگان به دست آمده از مرحله اول برای واسنجی تابع هزینه نمایی به کار برده می‌شود. تابع هزینه نمایی در مقایسه با توابع هزینه خطی و درجه دو برای ایجاد تناسب بین کشش‌های جانشینی دارای قابلیت بیش‌تری است و بدون افزایش هزینه نهایی تولید هر واحد از محصول این کار انجام می‌شود (Howitt et al., 2012).

تابع تولید CES این امکان را ایجاد می‌کند که یک نرخ جانشینی ثابت بین نهاده‌های تولید و ضرائب لئونتیف (با نسبتی ثابت) و ضرایب تابع کاب داگلاس (با جانشینی واحد) به وجود آید. همچنین براساس مطالعات هویت و همکاران (Howitt et al., 2009 and 2012) و پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۳) که از تابع تولید CES استفاده نمودند، این نوع تابع در مطالعه حاضر به کار گرفته شد.

پس از برآورد ضرایب تابع هزینه، تابع تولید منطقه‌ای با توجه به ثابت بودن کشش جانشینی بین نهاده‌ها تخمین زده شد.

$$y_i = \tau_i\left[\beta_{i1}x_{i1}^{pi} + \beta_{i2}x_{i2}^{pi} + \cdots \ldots \ldots + \beta_{ij}x_{ij}^{pi}\right]^{v/\rho i} \quad (۹)$$

در هر محصول در هر منطقه، β_j سهم استفاده از نهاده‌ها در تولید هر محصول در هر منطقه، x_j مقدار استفاده از نهاده‌ها در تولید هر محصول در هر منطقه به غیر از نهاده آب آبیاری، v ضریب بازده ثابت نسبت به مقیاس در تابع تولید CES و p متغیری است که براساس کشش جانشینی محصول a تعریف می‌شود که به صورت $p = \frac{a-1}{a}$ مورد محاسبه قرار گرفت (Howitt et al., 2012).

مرحله سوم: واسنجی برنامه نهایی بهینه‌سازی غیرخطی

در این مرحله با استفاده از تابع هزینه غیرخطی واسنجی شده، تابع تولید تخمین زده شد و محدودیت‌های منابع (آب، زمین و نیروی کار) و مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت زیر ساخته شد.

$$Max_{x_{j,wat_g}} PS + CS = \sum_i(\xi\alpha_i^1(y_i) + \frac{1}{2}\alpha_i^2(y_i)^2) + \sum_i\left(rm_i\left(\sum_j y_i\right)\right) - \sum_i \delta_i exp(\gamma_i x_{i,land}) - \sum_i(w_{i,labor}x_{i,labor}) - \bar{\dot{w}}wat \quad (۱۰)$$

محدودیت‌های مدل نیز به صورت روابط زیر درنظرگرفته شد.

$$\sum_{i=1}^{5} a_{ji}x_i \le b_j \;\; for\; j \ne water \quad (۱۱)$$

$$wat \le watcons \quad (۱۲)$$

$$\sum_{i=1}^{5} x_{,i}water_i \le wat \quad (۱۳)$$

اولین عبارت در تابع هدف رابطه ۱۰، مجموع درآمد ناخالص به اضافه مازاد مصرف‌کننده برای محصولات می‌باشد که براساس قیمت‌های سال پایه محصولات اندازه‌گیری شد. دومین عبارت درآمد ناخالص هر منطقه را از طریق انحرافات در قیمت‌های محصولات از قیمت‌های سال پایه (که به هزینه‌های بازاریابی اشاره دارد) بیان می‌کند. سومین عبارت هزینه مربوط به زمین زراعی است. هزینه‌های زمین بر اساس داده‌های سال پایه (سال۱۳۹۲ به دلیل کامل‌تر بودن و در دسترس بودن داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز به عنوان سال پایه انتخاب گردید) و هزینه‌های نهایی بدست آمده از ارزش‌های سایه‌ای نهاده و محدودیت‌های واسنجی شده بدست می‌آید. چهارمین عبارت هزینه‌های نیروی‌کار را محاسبه می‌کند و نهایتا پنجمین عبارت از تابع هدف، کل هزینه‌های آب آبیاری می‌باشد. محدودیت‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب محدودیت کل آب استفاده شده و کل استفاده از نهاده آب و b_j کل نهاده های در دسترس در دشت نیشابور می‌باشند.

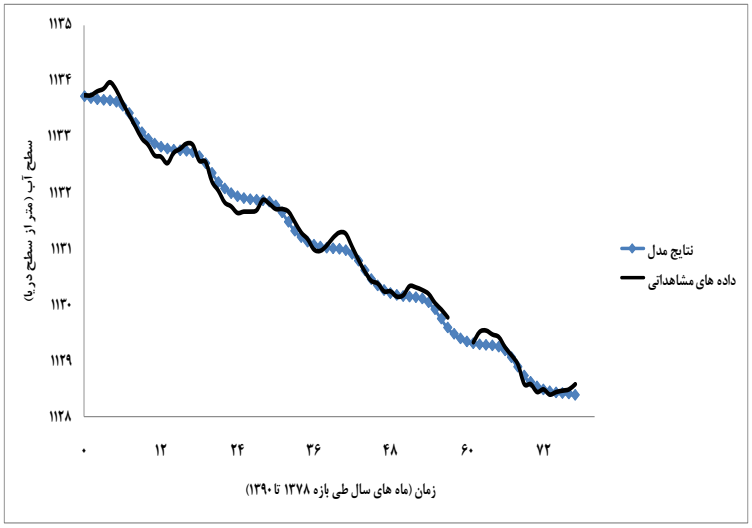
داده‌های مورد نیاز از سازمان جهادکشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی جمع‌آوری گردید. برای حل مدل برنامه‌ریزی (بخش اقتصادی مدل) از نرم افزار GAMS.27.3 و برای تجزیه و تحلیل عرضه هیدولوژیکی آب و تغییرات تراز آب زیرزمینی از نرم افزار WinSIM Pro.1.0 استفاده شد.

نتایج و بحث

در ابتدا، نتایج اولیه صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی ساخته شده توسط روش پویایی سیستم و سپس نتایج حاصل از اجرای سیاست‌های آبیاری بر سود ناخالص کشاورزان و تغییرات تراز آب

زیرزمینی بیان می‌گردد. در شکل ۲ نتیجه آزمون بررسی رفتار مدل برای تراز آب زیرزمینی نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، نتایج مدل به خوبی بر داده‌های مشاهداتی برازش شدند. با استفاده از معیار آماری ضریب تعیین (R2) رفتار مدل در شبیه‌سازی داده‌های مربوط به آب‌زیرزمینی حوضه آبریز نیشابور و متغیر جمعیت بررسی شد. نتایج مربوط به اندازه‌گیری معیار ضریب تعیین برای پارامترهای جمعیت و آب زیرزمینی در جدول ۱ ارائه شده است.

پس از مدل‌سازی توسط نرم افزار ونسیم و صحت‌سنجی مدل، سیاست کاهش ۱۰ و ۲۰ درصدی مقدار آب تخصیصی به بخش کشاورزی در نرم افزار ونسیم اجرا شد و اثر آن بر سطح آب زیرزمینی، الگوی کشت و سود منطقه مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۲- مقایسه داده‌های تاریخی و نتایج مدل برای تابع سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز نیشابور

جدول۱- مقادیر ضریب تعیین برای متغیرهای آب زیرزمینی و جمعیت

شاخص	آب زیرزمینی نیشابور	جمعیت
R2	۰/۸۷۸	۰/۹۹۸

همان‌طوری که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با اعمال سناریوی کاهش سهم آب زیرزمینی تخصیصی به بخش کشاورزی سطح آب زیرزمینی در بدترین حالت ۱۱۲۴/۲ متر از سطح دریا ارتفاع دارد که با ۱۰٪ کاهش سهم بخش کشاورزی از آب زیرزمینی این مقدار ۰/۲۲ متر بهبود خواهد داشت و در صورت ۲۰٪ کاهش سهم بخش کشاورزی از آب زیرزمینی ۰/۴۴ متر تراز آب زیرزمینی در دشت بالاتر خواهد آمد. نتایج الگوی برنامه‌ریزی مثبت مربوط به تغییرات سطح زیرکشت محصولات زراعی دشت نیشابور در سیاست‌های کاهش آب تخصیصی حوضه آبریز به بخش کشاورزی در جدول ۲ نشان داده شده است.

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، با کاهش آب تخصیصی به بخش کشاورزی، سطح زیرکشت تمامی محصولات کاهش یافت. به عنوان نمونه سطح زیرکشت گندم با ۱۰ درصد کاهش سهم آب کشاورزی مقدار ۳۷۶۵۲ هکتار و با ۲۰ درصد کاهش، مقدار ۳۶۳۹۰ هکتار را نشان داد. کاهش سطح زیرکشت برای محصول چغندرقند در مقایسه با سایر محصولات مشهودتر بود. دلیل این امر بالا بودن نیاز آبی این محصول می‌باشدکه سطح زیرکشت پایین‌تری را در منطقه به عنوان سطح زیرکشت بهینه نتیجه داده‌است. همچنین، درصد کاهش سطح زیرکشت با کاهش بیش‌تر در مقدار سهم آب کشاورزی، افزایش نشان داد.

کم‌ترین کاهش سطح زیرکشت در شرایط ۱۰ درصد سیاست کاهش سهم آب کشاورزی، مربوط به محصول ذرت علوفه‌ای با کاهشی برابر ۱۰ درصد در سطح ۳۷۱۰هکتار می‌باشد. بیش‌ترین کاهش سطح زیرکشت مربوط به محصول چغندرقند با کاهشی معادل۷۳ درصد در وضعیت ۲۰ درصد کاهش آب می‌باشد. همچنین با کاهش بیش‌تر در مقدار آب تخصیصی به بخش کشاورزی، میزان سود منطقه کاهش یافت. در سناریوهای سیاستی ۱۰ و ۲۰ درصد کاهش آب تخصیصی به کشاورزی، مقدار سود ناخالص به ترتیب به ۳۰۹۹ و ۳۰۱۱ میلیارد ریال کاهش یافته است. بیش‌ترین درصد تغییرات سود ناخالص، مربوط به سیاست کاهش ۲۰ درصدی آب تخصیصی به بخش کشاورزی با مقدار ۲۰ درصد کاهش با مقدار سود ناخالص در حدود ۳۰۱۱ میلیارد ریال بوده است. نتایج مطالعه منطبق

با مطالعه محمدرضاپور و همکاران (۲۰۱۸) در کاهش بیشتر سطح زیرکشت چغندرقند و مطالعه پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۳) و متناقض با مطالعه موسوی و قرقانی (۱۳۹۰) می‌باشد. علت متناقض بودن نتایج با مطالعه موسوی و قرقانی این است که آن‌ها اولا فقط سیاست ۱۰ درصدی کاهش آب آبیاری را مورد بررسی قرار دادند و همچنین اثر سیاست افزایش قیمت آب آبیاری را که حساسیت کشاورزان نسبت به این سیاست قیمتی نسبت به سیاست مقداری کم‌تر است (کشش پذیری پایین کشاورزن در مصرف آب نسبت به افزایش قیمت آب) را بررسی کردند.

شکل ۳- تأثیر کاهش سهم آب زیرزمینی تخصیصی به بخش کشاورزی بر سطح آب زیرزمینی

جدول۲- سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و درصد تغییرات آن نسبت به سال پایه در سیاست‌های کاهش آب تخصیصی به بخش کشاورزی

	سطح زیرکشت (هکتار)		درصد تغییرات نسبت به سال پایه		
محصول/ مقدار کاهش سهم	۱۰٪	۲۰٪	۱۰٪	۲۰٪	سال پایه
گندم	۳۷۶۵۲	۳۶۳۹۰	-۲۰	-۲۳	۴۷۲۹۰
جو	۲۷۴۲۵	۲۶۵۹۰	-۱۷	-۲۰	۳۳۲۷۰
ذرت علوفه ای	۳۷۱۰	۳۴۲۰	-۱۶	-۲۲	۴۴۲۰
هندوانه	۷۱۰۰	۶۸۳۷	-۲۴	-۲۶	۹۳۴۵
چغندرقند	۲۳۲۵	۲۰۰۰	-۶۸	-۷۳	۷۴۵۰
سود ناخالص (میلیون ریال)	۳۰۹۹۶۴۳	۳۰۱۱۰۰۸	-۱۷	-۲۰	۳۷۷۲۶۳۸

همچنین در همین راستا، اثر افزایش راندمان آبیاری منطقه بر سطح آب زیرزمینی ارزیابی شد که نتایج آن در ادامه بیان شده است. نتایج مربوط به افزایش راندمان آبیاری به ۵۰ و ۶۰ درصد، بر میزان و تغییرات سطح زیرکشت و سود ناخالص محصولات زراعی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی مثبت در جدول ۳ بیان شده است.

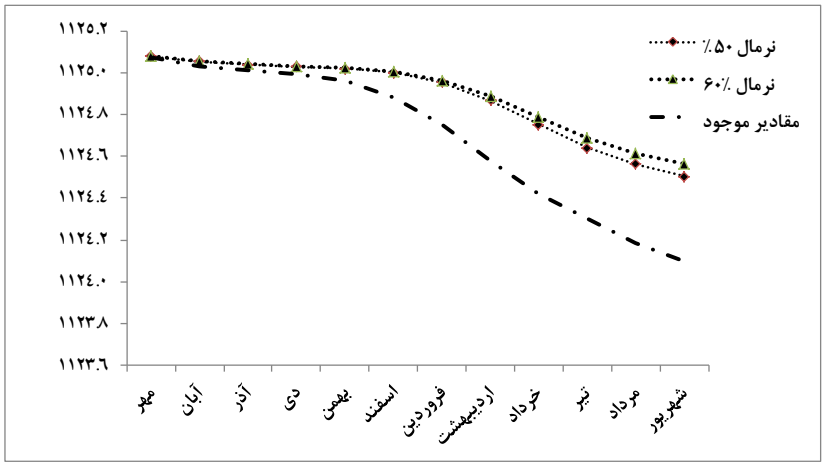
جدول۳ - سود ناخالص، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و درصد تغییرات آن در سیاست افزایش راندمان آبیاری

	سطح زیرکشت(هکتار)		درصد تغییرات سطح زیرکشت	
محصولات	راندمان ۵۰٪	راندمان ۶۰٪	راندمان ۵۰٪	راندمان ۶۰٪
گندم	۴۵۳۷۲	۴۵۴۱۰	-۴	-۳/۹
جو	۳۳۲۰۰	۳۳۴۸۶	-۰/۲	۰/۶
ذرت علوفه‌ای	۴۳۱۰	۴۳۷۵	-۲/۴	-۱
هندوانه	۸۵۳۶	۸۶۲۰	-۸	-۷/۷
چغندر	۴۲۶۷/۶	۴۹۸۴	-۴۲	-۳۳
سود ناخالص (میلیون ریال)	۳۳۸۴۷۲۷	۳۵۰۴۰۸۳/۸	-۱۰	-۷

همان‌گونه که در جدول ۳ ملاحظه شد، در این سیاست، با افزایش راندمان آبیاری، سطح زیرکشت اکثر محصولات به جز محصول جو در راندمان ۶۰ درصد، کاهش یافت. این سیاست نسبت به سیاست کاهش آب تخصیصی تغییرات کم‌تری در سطح زیرکشت محصولات در جهت کاهش نتیجه داده است. همچنین با افزایش راندمان آبیاری میزان سود ناخالص حاصل از کشت محصولات زراعی نسبت به سیاست کاهش سهم آب کشاورزی، افزایش نشان داد که این مقدار با اجرای سیاست راندمان ۶۰ درصد نسبت به سیاست راندمان ۵۰ درصد منجر به افزایش بیش‌تری در سود و درواقع کاهش کمتر سودیا رفاه اقتصادی کشاورزان شد. نتایج بدست آمده با مطالعه آق و همکاران (۱۳۹۴)، بلالی و همکاران (Balali et al., 2011) و عبدلوی و همکاران (Abdolvandi et al., 2014) مطابقت دارد که نتایج مطالعه آن‌ها به ترتیب بر تأثیر مثبت افزایش راندمان آبیاری بر کاهش کم‌تر سود کشاورزان و سطح زیرکشت محصولات کشاورزی و تأثیر مثبت افزایش راندمان در پایداری منابع آب تأکید داشتند.

با توجه به مقدار آب بدست آمده از حل مدل در سیاست افزایش راندمان آبیاری، تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزار ونسیم در مقایسه با داده‌های مشاهداتی در ۱۲ ماه آخر شبیه‌سازی در شکل۴ نشان داده شد.

همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، سطح آب زیرزمینی با اعمال راندمان ۵۰ درصد، ۰/۴۱ متر و با استفاده از راندمان ۶۰ درصد، ۰/۴۷ متر بهبود خواهد داشت. که نسبت به سیاست‌های کاهش مقداری آب آبیاری بر پایداری منابع آب حوضه موثرتر بود. نتایج بررسی افزایش راندمان آبیاری منطبق بر نتایج مطالعات عبدلوندی و همکاران (Abdolvandi et al., 2014) و نیکبخت و نجیب (۱۳۹۴) می‌باشد که افزایش سطح آب زیرزمینی را با افزایش راندمان آبیاری گزارش دادند.

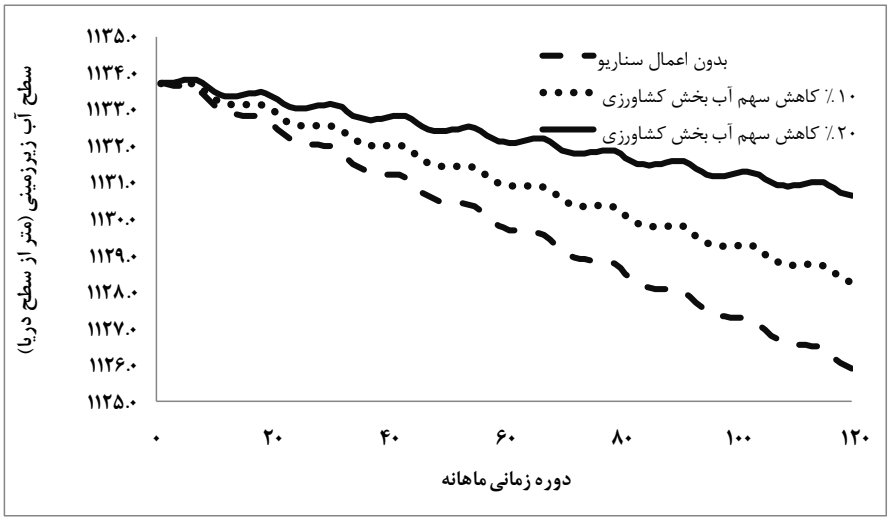


شکل٤- مقایسه سطح آب زیرزمینی در راندمان‌های مختلف با مقادیر موجود

منبع: یافته‌های تحقیق

بنابراین می‌توان گفت که با افزایش راندمان آبیاری، علاوه بر استفاده مفید و موثر از آب تخصیصی به کشاورزی، رفاه کشاورزان هر زیرحوضه با توجه به سود ناخالص به طور مناسب‌تری حفظ خواهد شد. نتایج با مطالعات ناصری و همکاران (۱۳۹۰) و نیکبخت و نجیب (۱۳۹۴) مطابقت دارد که به نتیجه مشابه تأثیر مثبت افزایش راندمان آبیاری بر بهبود سطح تراز آب زیرزمینی دست یافتند. برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز نیشابور در سال‌های آینده با توجه به بحران آبی موجود در منطقه، رفتار مدل ساخته شده برای حوضه آبریز نیشابور با اعمال یکی از سیاست‌ها شبیه‌سازی شد. در این راستا، اثر سیاست ۱۰ و ۲۰ درصد کاهش سهم بخش کشاورزی از آب زیرزمینی بر تغییرات تراز آب زیرزمینی حوضه در یک دوره ۱۰ ساله (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰) بررسی شد. در مدل‌سازی تا سال ۱۴۰۰ یعنی ۱۰ سال بعد از دوره شبیه‌سازی، مدل تحت سه سیاست بدون تغییر در میزان سهم آب کشاورزی، ۱۰ درصد کاهش سهم آب زیرزمینی تخصیصی به کشاورزی و ۲۰ درصد کاهش سهم آب زیرزمینی تخصیصی به بخش کشاورزی اجرا و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت.

همان‌گونه که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، با اعمال این سیاست سطح آب زیرزمینی در بدترین حالت ۱۱۲۵/۱۸ متر از سطح دریا ارتفاع دارد که با ۱۰ درصد کاهش سهم بخش کشاورزی از آب زیرزمینی این مقدار ۲/۴ متر بهبود خواهد داشت و در صورت ۲۰ درصد کاهش سهم بخش کشاورزی از آب زیرزمینی ۴/۷۸ متر تراز آب زیرزمینی در دشت بالاتر خواهد آمد.



شکل ۵- تأثیر کاهش در مقدار سهم بخش کشاورزی از آب زیرزمینی

نتیجه گیری

در مطالعه حاضر، از روش پویایی سیستم برای شبیه‌سازی حوضه و بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی و از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، برای مشاهده میزان اثرگذاری و بررسی سیاست‌های مربوط به کاهش سهم آب کشاورزی و افزایش راندمان آبیاری استفاده شد و واکنش کشاورزان نسبت به هر سیاست در اختصاص مقدار زمین زراعی خود به کشت محصولات با نیاز آبی کمتر به جای کشت محصولات با نیاز آبی بیشتر ، تغییر سود کشاورزان و مقدار مصرف بهینه آب آبیاری بررسی گردید. نتایج مطالعه نشان داد که سیاست کاهش سهم آب تخصیصی به بخش کشاورزی به عنوان یکی از سیاست‌های مدیریتی تقاضا که در زمان کوتاه (دوره کوتاه مدت) و بدون نیاز به اصلاح زیرساخت‌های اساسی منطقه می‌باشد تاثیرگذاری زیادی در بهبود تراز آب زیرزمینی حوضه نمی‌گذارد. به دلیل روند رو به کاهش آب زیرزمینی در حوضه آبریز نیشابور یکی دیگر از سیاست-های مدیریتی منابع آب که البته نیاز به اصلاح زیرساخت آبیاری در کشاورزی منطقه دارد و سیاستی بلندمدت ازنظر اجرای عملیاتی نمودن آن است، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحلیل سیاست‌ها نشان داد که افزایش راندمان آبیاری سیاست مناسبی در بهبود تراز آب زیرزمینی حوضه خواهد بود. همچنین نسبت به سیاست کاهش آب اختصاصی به بخش کشاورزی منجر به افت کمتر سطح منابع آب زیرزمینی حوضه، به حداقل رسیدن هدررفت آب کشاورزی و استفاده بهینه از آن و کاهش کمتر سود کشاورزان منطقه خواهد شد. لذا، جهت مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز نیشابور و به دنبال آن پایداری کشاورزی، برنامه مدیریتی مناسبی با بهبود زیرساخت‌های آبیاری در بخش کشاورزی منطقه بایستی تنظیم گردد. به طورکلی و براساس نتایج اعمال سناریوهای سیاستی مختلف بر تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز نیشابور، سیاست افزایش راندمان آبیاری می‌تواند در تعادل بخشی سطح آب حوضه، نتایج مناسب‌تری را منجر شود و نسبت به کاهش آب آبیاری، بهبود بیشتری در تراز آن زیرزمینی به وجود آورد. به‌کار گیری تلفیقی سیاست‌های کاهش آب اختصاصی به بخش کشاورزی و افزایش راندمان آبیاری جهت اثرگذاری بیشتر و بهتر در حفظ پایداری و تعادل آبخوان توصیه می-گردد.

سپاسگزاری

هزینه‌های اجرای این تحقیق توسط سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی تامین شده است. لذا، بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

آق،م.، جولایی،ر.، کرامت زاده،ع و شیرانی بیدآبادی،ف. ۱۳۹۴. تعیین الگوی کشت محصولات زراعی با تاکید بر سیاست کاهش مصرف کود و آب در استان مازندران (مطالعه موردی: شهرستان بهشهر). نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۵. ۳ :۲۴۷-۲۶۰.

پرهیزکاری،ا.، صبوحی،م.، احمدپور،م و بدیع برزین،ح. ۱۳۹۳. شبیه-سازی واکنش کشاورزان به سیاست‌های قیمت‌گذاری و سهمیه-بندی آب آبیاری (مطالعه موردی: شهرستان زابل). نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی. ۲۸. ۲: ۱۶۷-۱۷۶.

پرهیزکاری،ا.، صبوحی،م.، احمدپور،م و بدیع برزین،ح. ۱۳۹۵. ارزیابی

اثرات کم آبیاری و کاهش تخصیص آب بر تولید بخش کشاورزی استان قزوین. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰. ۲: ۱۷۳-۱۸۵.

سلطانی،م و علیزاده،ح.ع. ۱۳۹۶. مدیریت جامع آب کشاورزی در مقایسه حوضه آبریز (IWMsim) با رویکرد پویایی سیستم. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۷. ۲: ۶۹-۹۰.

شفیعی جود،م ،. ابریشم چی،ا. و صلوی تبار،ع.ب. ۱۳۹۲. ارزیابی طرح های توسعه منابع آب در سیستم چند مخزنه زیرحوضه دره رود با استفاده از شاخص های عملکردی. فصلنامه آب و فاضلاب. ۲۴. ۸۷: ۳۲-۲۲.

صادقی،ن،. ابریشم چی،ا و تجریشی،م. ۱۳۸۳. مدلسازی برداری از مخزن به منظور کنترل سیلاب با استفاده از روش تحلیل دینامیک سیستم." اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

صلوی تبار،ع. بندری،ر. حسنی،خ و احتیاط،م. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی منابع آب سطحی و زیرزمینی، مطالعه موردی: حوضه رودخانه هراز. دومین کنفرانس ملی ایران در زمینه تحقیقات کاربردی در زمینه منابع آب. ۲۵ و ۲۶ آبان زنجان. ۱-۹ .

فرج زاده،م،. ولایتی،س.و حسینی،آ. ۱۳۸۴. تحلیل بحران آب در دشت نیشابور با رویکرد برنامه ریزی محیطی. شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی.

مطالعات برنامه آمایش استان خراسان رضوی. ۱۳۹۴. وزارت نیرو.

موسوی،ن و قرقانی،ف. ۱۳۹۰. ارزیابی سیاست های آب کشاورزی از منابع آب زیرزمینی مدل برنامه ریزی مثبت (PMP) مطالعه موردی شهرستان اقلید. پژوهش های اقتصادی. ۱۱. ۴: ۶۵-۸۲.

ناصری،ح.ر. احمدی،س و صلوی تبار،ع،. ۱۳۸۹. بهره برداری از مدل های آبرسانی سد ساحلی ارومیه شهری با استفاده از نرم افزار VENSIM. اولین کنفرانس ملی تحقیقات کاربردی در منابع آب. ۲۵ و ۲۶ آبان کرمانشاه ۱-۱۰.

ناصری،ح.ر،. آدینه وند،ر و صلوی تبار،ع. ۱۳۹۰. مدل‌سازی پویایی سیستم در مدیریت بهره‌برداری آبخوان دشت تبریز. وزارت صنعت، معدن تجارت سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مجموعه مقالات سی امین گردهمایی علوم زمین، یکم تا سوم اسفند.

نیک‌بخت،ج،. نجیب،ز. ۱۳۹۴. اثر افزایش راندمان آبیاری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت عجب شیر- اذربایجان شرقی). مدیریت آب و آبیاری. ۵. ۱: ۱۱۵-۱۲۷.

وزارت جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی. ۱۳۹۲. واحد آمار و اطلاعات.

ولایتی،س.ع. ۱۳۸۵. بررسی وضعیت بحران آب استان خراسان. مدرس علوم انسانی، موضوع ویژه جغرافیا. ۱۰ . ۴۸: ۲۱۳-۲۳۴.

Abdolvandi,A.F., Parsamehr,A.. Babazadeh,H., Eslamian,S and Hosseinipour,Z. 2014. Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources Using System Dynamics Approach (Case Study: Namroud Dam). World Environmental and Water Resources Congress.333-323.

Aidam,P.W. 2015. The impact of water-pricing policy on the demand for water resources by farmers in Ghana. Agricultural Water Management. 158: 10-16.

Arfini,F., Donati,M. and Paris,Q. 2003. A national PMP model for policy evaluation in agriculture using micro data and administrative information, Paper Pressed at the International Confrance Agricultural Policies, pp: 17-35.

Bagheri,M.H., Mahmoudpour,T., Fathian,F., Bagheri,A. 2015. Groundwater level modeling using system dynamics approach to investigate the sinkhole events(case study: Abarkuh County Watershed, Iran). Hydrology Science and Technology. 5.6: 87106.

Balali,H., Khalilian,S., Viaggi,D., Bartolini,F and Ahmadian,M. 2011. Groundwater balance and conservation under different water pricing and agricultural policy scenario: A case study of the Hamadan-Bahar plain. Ecological Economics. 70: 863-872.

Cortignani,R and Severini,S. 2009. Modeling farm-level adoption deficit irrigation using positive mathematical software. 38: 244-258.

Ejaz Qureshi,M., Whitten,S.M., Mainuddin,M., Marvanek,S and Elmahdi,A. 2013. A biophysical and economic model of agriculture and water in the Murray-Darling Basin, Australia. Environmental Modelling and Software. 41: 98-106.

Finger,R. 2012. Modeling the sensitivity of agricultural water use to price variability and climate change- an application to Swiss maize production. Agricultural Water Management. 109: 135-143.

Gallego - Ayala, J. 2012. Selecting irrigation water pricing alternatives usaing a multi methodological approach. Mathematical and Computer modeling, 55.3: 861-883.

Graveline,N. 2016. Economic calibrated models for water allocation in agricultural production: A review. Enviromental Modelling and Software. 81: 12-25.

Howitt,R.E., Medellin-Azuara,J and MacEwan,D. 2009.

Australia College of Agriculture.14:1139-1150.

Paymazd,Sh., Morid,S and Moghadasi,M. 2010. Non-linear plan and dynamic systems in agricultural water allocation (case study: the river basin). Journal of Irrigation and Drainage. 1.1:44-52.

Sterman,J. D. 2000. Business Dynamics, McGraw-Hill, Boston.

Uehara., T., Cordier, M and Hamaide, B. 2018. Fully dynamic input- output/ system dynamics modeling for ecological-economic system analysis. Sustainability, 1765(10): 1-22.

Yan,T., Wang,J and Huang,J. 2015. Urbanization, agricultural water use, and regional and national crop production in china. Ecological Modeling, 7427:1-10.

Estimating the economic impacts of agricultural yield related changes for California. Final paper, A Paper From California Climate Change Center. 26:95-115.

Howitt,R.E., Medellin-Azura,J., MacEwan,D and Lund,J. 2012. Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. Environmental Modeling and Software. 38: 244-258.

Mohammadrezapour, O.,Yoosefdoost, I. and Ebrahimi, M. 2017. Cuckoo optimization algorithm in optimal water allocation and crop planning under various weather conditions (case study: Qazvin plain, Iran). Neural Comput & Applic, 3160:1-17.

Mushtaq,Sh And moghaddasi,M. 2011. Evaluating the potentials of deficit irrigation as an adaptive response to climate change and environmental demand. Environmental science and policy,

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 13, Oct.-Nov. 2019, p. 998-1009

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۳، مهر - آبان ۱۳۹۸، ص. ۱۰۰۹-۹۹۸

The Survey of Irrigation Demand Management on Water Resources Balance and Farmers Economic Welfare (case study: Neyshabour Basin)

M. Sabouhi Sabouni [1*], A. Jalali Movahed [2], S. Shirzadi Laskookalayeh[3], M. Zarghami [4], F. Felfelani[5]

Recived: Nov.09, 2018 Accepted: Dec.09, 2018

Abstract

Climate change, population growth and non-optimal utilization of water resources are doubling the need to pay attention to the conservation and sustainability of this essential input in agricultural production. Therefore, the use of water demand management can be used as a method for more principled use of water resources. In this study, the economic model and system dynamics method (SD) were used to study the demand management policy for the balance of groundwater resources in the Neyshabour basin area. The policies under consideration include allocating water to the agricultural sector and increasing irrigation efficiency. The results showed that the policy of reducing irrigation water's share has a positive effect on the groundwater level without having a significant effect on reducing crop cultivation and, consequently, reducing the agricultural productivity of farmers in the region. Also, increasing the irrigation efficiency in relation to the policy of reducing agricultural water allocation showed the better condition in groundwater level and the profitability of crop farmers. So that the maximum amount of change in agricultural gross profit of the region decreased by 10% and the minimum improvement in groundwater level of the basin was 47.0 meters. In order to investigate the future status of water resources in the Neyshabour basin was studied the policy of reducing water share in simulation of basin ground water resources. The results showed that up to 20 percent reduction in agricultural water, the groundwater level will rise by about 7.4 meters to 1403, and will be closer to balance. The analysis of the results suggests that implementation of the policy of increasing irrigation efficiency along with decreasing agricultural water's share will have a more effect on the balance of the basin.

Keywords: Economic welfare, System dynamic, Neyshabour basin, Irrigation demand management

1- Professor of Agricultural Economics Department, Ferdowsi University of Mashhad
2- Graduated of Water Engineering masters, Sharif University of Technology, Tehran
3- Assistant Professor of Agricultural Economics Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Professor of Civil Engineering Department and Faculty Member of the Environmental Research Institute of Tabriz University
5- Ph.D. Student of Department of Civil and Environrnental Engineering, Michigan State University, East Lnsing, USA
(*- Corresponding Author Email: sabouhi@um.ac.ir)