نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۲، آذر - دی ۱۳۹۷، ص. ۱۱۷۳-۱۱۶۴

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 12, Des.-Jan. 2018, p. 1164-1173

ارزیابی تأثیر سناریوهای الگوی کشت و توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار بر سطح آب زیرزمینی دشت مهران با استفاده از روش پویایی سیستم

عبدالرحیم هوشمند[1*]، حمزه علی علیزاده[2]، زهرا ایزدپناه[3] و ابراهیم درویشی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

دشت مهران در دهه‌های اخیر با افت سطح آب زیرزمینی همراه بوده است. هدف از این پژوهش بررسی سطح آب زیرزمینی دشت مهران با استفاده از روش پویایی سیستم تحت سناریوهای مختلف تغییر الگوی کشت و توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار است. پس از تدوین مدل مفهومی، فرضیه‌های دینامیکی تبیین و شبیه‌سازی انجام گردید. پس از صحت‌سنجی مدل، هدف تحقیق در قالب اعمال دوازده سناریو مرکب از سه سناریوی الگوی کشت و چهار سناریوی توسعه آبیاری تحت فشار در منطقه بررسی شد. نتایج نشان داد تغییر الگوی کشت تأثیر قابل‌توجهی در کاهش افت سطح آب زیرزمینی دشت داشته و از میان الگوهای کشت بررسی‌شده، جایگزینی کلزا بجای یونجه بهترین نتیجه را در پی دارد. هم‌چنین نتایج نشان داد توسعه آبیاری تحت فشار با شیوه بهره‌برداری و راندمان فعلی نه تنها باعث بهبود افت سطح آب زیرزمینی نمی‌گردد، که اثرات منفی کمی هم بر سطح آب زیرزمینی دشت دارد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تحت فشار، الگوی کشت، سطح آب زیرزمینی، شبیه‌سازی، مدل مفهومی

مقدمه

در دهه‌های اخیر، به دلیل تغییرات آب و هوا و کاهش بارندگی از یک طرف و برخی سیاست‌های ساختاری اشتباه هم‌چون برداشت شدید از آب‌های زیرزمینی، سطح آب‌های زیرزمینی در اکثر دشت‌های ایران کاهش یافته است (Balali and Viaggi., 2015). پیش‌بینی می‌شود تقاضای جهانی آب از نظر برداشت تا سال ۲۰۵۰، ۵۵ درصد افزایش یابد و به استثنای برخی مناطق جهان به طور فزآینده با کسری سراسری آب مواجه شود به طوری که تا ۲۰۵۰ بیش از ۴۰ درصد جمعیت جهان تحت تنش آبی شدید قرار خواهند گرفت (Connor, 2015). از این رو در چند دهه اخیر تلاش‌های فراوانی در زمینه افزایش راندمان آبیاری و به تبع آن افزایش کارایی مصرف آب صورت گرفته است. برخی برنامه‌ها برای حل مسئله مدیریت آب در واقع به دلیل عوارض جانبی پیش‌بینی نشده وضعیت آن را بدتر می‌کند (Giordano et al., 2012).

عوامل متعددی بر روی موفقیت برنامه‌های آب و آبیاری تأثیر دارند و هر تغییری در هر یک از این عوامل، خود به وجود آورنده بازخوردهای دیگری در سیستم می‌گردد. این مسئله موجب پیچیدگی هر چه بیش‌تر ابعاد فنی و اقتصادی در این حوزه می‌گردد. اما یکی از ابزارهای قوی مدیریتی، که در سال‌های اخیر از آن برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده منابع آب بسیار استفاده شده، روش پویایی سیستم است .در این روش به روابط دینامیکی بین خصوصیات کمی و کیفی آب و حتی مسایل اجتماع اقتصادی توجه می‌شود و سیستم موردنظر بدون نیاز به ریاضیات پیچیده به سهولت قابل شبیه‌سازی است (Salavitabar et al., 2006). روش پویایی سیستم‌ها اجازه می‌دهد که مولفه‌های مختلف سیستم به عنوان یک مجموعه از اهداف مجزا که اطلاعات، ساختار و عملکرد را با هم ترکیب می‌کند تا رفتار یک سیستم پیچیده را تولید و نشان دهد، سازمان‌دهی شود (Elmahdi et al., 2007).

در خصوص بهره‌گیری از روش پویایی سیستم در مدل‌سازی منابع آب زیرزمینی، سیستم منابع آب دشت مشهد با استفاده از روش پویایی سیستم مدل شد. طی فرآیند مدل‌سازی و با افزایش شناخت

۱- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- استادیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
۳- استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۴- دانشجوی دکتری مهندسی علوم آب، آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز
(* -نویسنده مسئول: Email: hooshmand_a@scu.ac.ir)

سیستم با استفاده از شاخص‌های تنش منبع، بهره‌وری اقتصادی منبع و متوسط نیاز آبی دشت، اقدام به تبیین استراتژی‌های دشت در راستای پایداری منطقه شد. سپس متناسب با راهبردهای سه‌گانه رشد اقتصادی با رویکرد محدودیت منابع آب، تخصیص منابع با رویکرد ارزش افزوده، تغییر الگوی کشت، بسته‌های سیاستی تدوین گردید (حسینی و باقری، ۱۳۹۱). در تحقیق دیگری از مفهوم پویایی سیستم‌ها برای تهیه «مدل بیلان پویای سیستم آب – خاک»[1] در شالیزارهای برنج استفاده گردید. مدل مذکور مولفه‌های مختلف بیلان آب نظیر تبخیر و تعرق واقعی، نفوذ عمقی، رواناب سطحی و صعود مویینه‌ای را در مقیاس روزانه شبیه‌سازی کرده است (Luo et al., 2009). هم‌چنین در مطالعه مدل‌سازی پویای بهره‌برداری از پساب با رویکرد کشاورزی پایدار، با استفاده از مدل‌سازی پویای سیستم‌ها، مدلی جامع برای بررسی اثرات بلندمدت استفاده از فاضلاب در مصارف کشاورزی دشت ورامین ارایه شد. نتایج نشان داد که مدل قادر است متغیرهای کلیدی عملکرد محصولات زراعی، تراز آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی را با دقت بسیار مناسب شبیه‌سازی نماید (علیزاده، ۱۳۹۳). از پویایی سیستم برای مدیریت پایدار منابع آب سنگاپور استفاده شد. تحقیق مذکور باهدف دست‌یابی سنگاپور به خودکفایی منابع آب با استفاده از پایدارترین روش به کمک پویایی سیستم انجام شد (Xi and Poh., 2013). در تحقیق دیگری نیز مدل شبیه‌سازی پویایی سیستم برای مدیریت منابع آب پایدار و توسعه کشاورزی در حوزه رودخانه ولتا در کشور غنا انجام شد. نتایج نشان داد که خروجی‌های شبیه‌سازی شده با واقعیت مشاهده شده سیستم هم‌خوانی دارد (Koti et al., 2016). هم‌چنین در مدل‌سازی به روش پویای سیستم جهت ارزیابی سناریوهایی جهت توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر منابع آب زیرزمینی، با لحاظ جنبه‌های اقتصادی و زیست محیطی، نتایج نشان داد، در صورت استفاده از منابع آب سطحی، توسعه سیستم‌های آبیاری بارانی، اگر با افزایش سطح کشت همراه نباشد، باعث افزایش درآمدهای ملی و کاهش افت آب‌های زیرزمینی خواهد شد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۳).

در مطالعه شبیه‌سازی توسعه سیستم‌های مدرن آبیاری بر تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی خراسان‌رضوی، نتایج نشان داد که تحت شرایط عدم تغییر کل سطح زیر کشت، میزان تأثیر سرمایه‌گذاری در تجهیزات انتقال آب تأثیر بسیار بیش‌تری بر کنترل کسری مخزن و کاهش مصرف انرژی دارد. از طرف دیگر، تنها با گسترش سیستم‌های نوین آبیاری در سطح مزارع و باغ‌ها، تعادل‌سازی در منابع آب زیرزمینی محقق نخواهد شد بلکه افزایش راندمان به‌کارگیری سیستم-ها از طریق بهبود مدیریت استفاده از آن‌ها و کنترل سطح زیرکشت نیز باید تحقق یابد. در این رابطه در برخی مناطق کاهش سطح زیرکشت اجتناب‌ناپذیر است (زارع و همکاران، ۱۳۹۶).

در خصوص تحقیقات انجام شده در تغییر الگوی کشت در جهت کاهش مصرف آب و بهبود آب زیرزمینی می‌توان مطالعه بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی دشت مشهد – چناران اشاره نمود که در آن با توجه به اولویت‌های ذهنی کشاورزان الگوی کشت بهینه در یک دوره برنامه‌ریزی ۱۰ ساله با تاکید بر عدم بیلان منفی ذخایر آب زیرزمینی در سال آخر دوره برنامه‌ریزی، مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد به‌کارگیری الگوی مشخص شده در دوره برنامه‌ریزی ده ساله علاوه بر دست‌یابی به اهداف چندگانه، سبب کاهش کسری ذخایر آب زیرزمینی منطقه از ۱۰۷× ۳۸ مترمکعب در سال مبدا به صفر در سال آخر دوره برنامه می‌گردد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱). در تحقیقی که در کاربرد روش پویایی سیستم در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی سمت راست آبشار اصفهان انجام گرفت، نتایج نشان داد سطح زیر کشت موجود از سطح زیر کشت مطلوب فاصله زیادی دارد و ترکیب محصولات عمده شبکه نامناسب است. (نوذری و محسنی، ۱۳۹۴)

در تعیین الگوی کشت بهینه برای جلوگیری از افت آب زیرزمینی در دشت نیشابور، نتایج مدل بر مبنای یک سال نرمال نشان داد که برای به حداقل رساندن افت سطح آب، در صورت وقوع بارش برابر میانگین بارش سالانه منطقه، کشاورزان فقط مجاز به برداشت ۳۵۹ میلیون مترمکعب از آبخوان دشت در طول سال هستند که با این حجم آب باید ۵۹۷۰۶ هکتار از اراضی دشت را فاریاب کرد که ۴۸۷۸۹ هکتار کم‌تر از وضع موجود است. به طوری‌که ۴۸۸۰۲ هکتار از ارضی تحت کشت محصولات را کاهش داد (خاشعی سیوکی و همکاران، ۱۳۹۳). هم‌چنین در بررسی کنترل سطح آب زیرزمینی به وسیله تغییر الگوی کشت در دشت بهار همدان مشخص شد برای ایجاد توسعه پایدار کشاورزی و جلوگیری از نابودی کشاورزی این منطقه تغییر الگوی کشت از محصولات با نیاز آبی بالا مانند سیب‌زمینی و یونجه به محصولات با نیاز آبی کم‌تر مانند کلزا که هم از لحاظ درآمدزایی مشابه محصولات قبلی بوده و هم میزان آب کم‌تری مصرف می‌کند ضروری است، به طوری‌که با کشت کلزا به جای سیب‌زمینی و یونجه در هر هکتار حدود ۳۷۶۵ مترمکعب در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود (بانژاد و سیفی، ۱۳۸۵).

در مطالعات مرور شده، تحقیقی که از روش پویایی سیستم جهت بررسی اثرات الگوی کشت و توسعه آبیاری تحت فشار بر سطح آب زیرزمینی استفاده شده باشد، مشاهده نشد. هدف از این تحقیق برنامه بهره‌برداری از آب زیرزمینی دشت مهران تحت تأثیر تغییر الگوی کشت و توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار به کمک روش پویایی سیستم می‌باشد. با توجه به این‌که مدل پیشنهادی در برگیرنده عوامل موثر بر پایداری اقتصادی و فنی خواهد بود، از آن می‌تواند در مطالعه

1 -Dynamic soil water balance model

و پیش‌بینی اثر راهکارهای فنی و مدیریتی مختلف در این زمینه بهره جست.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت مهران از دشت‌های مهم کشاورزی استان ایلام می‌باشد که در مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۰۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۰۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این دشت به وسعت ۲۸۰ کیلومترمربع و شیب کلی آن از شرق و شمال‌شرقی به سمت غرب و جنوب‌غرب است. بر اساس مطالعات هواشناسی، منطقه مورد مطالعه دارای زمستان‌های کوتاه معتدل و کمی مرطوب و تابستان‌های طولانی خشک و خیلی‌گرم می‌باشد. میزان تبخیر پتانسیل سالیانه این منطقه ۳۳۶۱/۴ میلی‌متر و میانگین بارندگی سالانه ۲۶۷/۰۳ میلی‌متر برآورد شده است. دشت مهران با دارا بودن تراز منفی آب زیرزمینی، از دشت‌های ممنوعه استان ایلام به حساب می‌آید. منابع اصلی تامین آب کشاورزی در دشت مهران منابع آب زیرزمینی و شبکه‌های آبیاری رودخانه‌های گاوی و کنجان‌چم می‌باشد، که به علت وجود خشک‌سالی‌های پی در پی منطقه در چند سال گذشته، استفاده از آب این رودخانه‌ها در امر کشاورزی به شدت کاهش یافته است.

تعریف مسئله و سناریوهای مختلف

نتایج بررسی هیدروگراف واحد دشت مهران طی سال‌های آبی ۱۳۷۵-۱۳۷۴ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۱ نشان می‌دهد که تراز آب زیرزمینی دشت مهران دارای متوسط افت سالانه حدود ۰/۸۳متر و متوسط سالانه کسری حجم مخزن دشت مهران حدود ۵/۸۱ میلیون‌مترمکعب می‌باشد (بی‌نام، ۱۳۹۲). بنابراین کنترل افت تراز سطح آب زیرزمینی مهم‌ترین مسئله جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت مهران بوده و در این خصوص بررسی سناریوهای مختلف الگوی کشت و توسعه سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار قابل تامل است. جهت بررسی این موضوع در این تحقیق سناریوهای شامل ترکیبی از تغییر الگوی و سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار تعریف شده‌اند.

سناریوهای تغییر الگوی کشت شامل: ادامه وضع موجود، الگوی کشت یک: تغییر سطح زیرکشت یونجه به ذرت و الگوی کشت دو: تغییر سطح زیرکشت یونجه به کلزا می‌باشد. لازم به ذکر است اراضی فعلی دشت مهران حدود ۸۸۰۰ هکتار می‌باشد که ۲۸۰۰ هکتار آن مربوط به شبکه آبیاری کنجان‌چم است که به دلیل زمان تخصیص آب به شبکه عملا امکان تغییر در الگوی کشت فراهم نیست و الگوی کشت فعلی آن نیز شامل گندم و کلزا می‌باشد. حدود ۶۰۰۰ هکتار از اراضی تحت پوشش چاه‌های کشاورزی منطقه بوده که درصد الگوی کشت آن شامل گندم ۵۰، کلزا ۴۰، ذرت ۵، یونجه ۳، باقلا ۱، گوجه، خیار و بامیه ۱ درصد است. سناریوی الگوی کشت در نظر گرفته شده بر اساس آمار نیاز خالص آب گیاهان در منطقه و شرایط اجتماعی و اقتصادی منطقه می‌باشد و این سناریوها مربوط به اراضی تحت پوشش چاه‌های کشاورزی می‌باشند. البته اراضی تحت پوشش شبکه به واسطه تأثیرگذاری بر آبخوان دشت در مدل‌سازی لحاظ شده است. ولی سناریوهای تحقیق در آن‌ها منظور نمی‌گردد.

سناریوهای توسعه سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار شامل چهار سناریو ادامه وضع موجود، و افزایش ۱۵۰۰ ، ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ هکتاری در سطح تحت پوشش آبیاری تحت فشار می‌باشد. در اراضی تحت پوشش چاه‌ها در حال حاضر حدود ۱۵۰۰ هکتار تحت پوشش آبیاری تحت فشار قرار دارند و ۴۵۰۰ هکتار باقی‌مانده در سه سناریو توسعه آبیاری تحت فشار تعریف شده‌اند. در مجموع سناریوهای ترکیبی تحقیق حاضر به شرح ذیل می‌باشند:

ادامه روند فعلی و عدم تغییر در الگوی کشت و سطح تحت پوشش آبیاری تحت فشار

افزایش ۱۵۰۰ هکتاری در سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار و عدم تغییر در الگوی کشت

افزایش ۳۰۰۰ هکتاری در سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار و عدم تغییر در الگوی کشت

افزایش ۴۵۰۰ هکتاری در سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار و عدم تغییر در الگوی کشت

عدم تغییر در سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار و تغییر الگوی کشت به الگوی کشت ۱

افزایش ۱۵۰۰ هکتاری در سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار و تغییر الگوی کشت به الگوی کشت ۱

افزایش ۳۰۰۰ هکتاری در سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار و تغییر الگوی کشت به الگوی کشت ۱

افزایش ۴۵۰۰ هکتاری در سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار و تغییر الگوی کشت به الگوی کشت ۱

عدم تغییر در سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار و تغییر الگوی کشت به الگوی کشت ۲

افزایش ۱۵۰۰ هکتاری در سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار و تغییر الگوی کشت به الگوی کشت ۲

افزایش ۳۰۰۰ هکتاری در سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار و تغییر الگوی کشت به الگوی کشت ۲

افزایش ۴۵۰۰ هکتاری در سطح تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار و تغییر الگوی کشت به الگوی کشت ۲

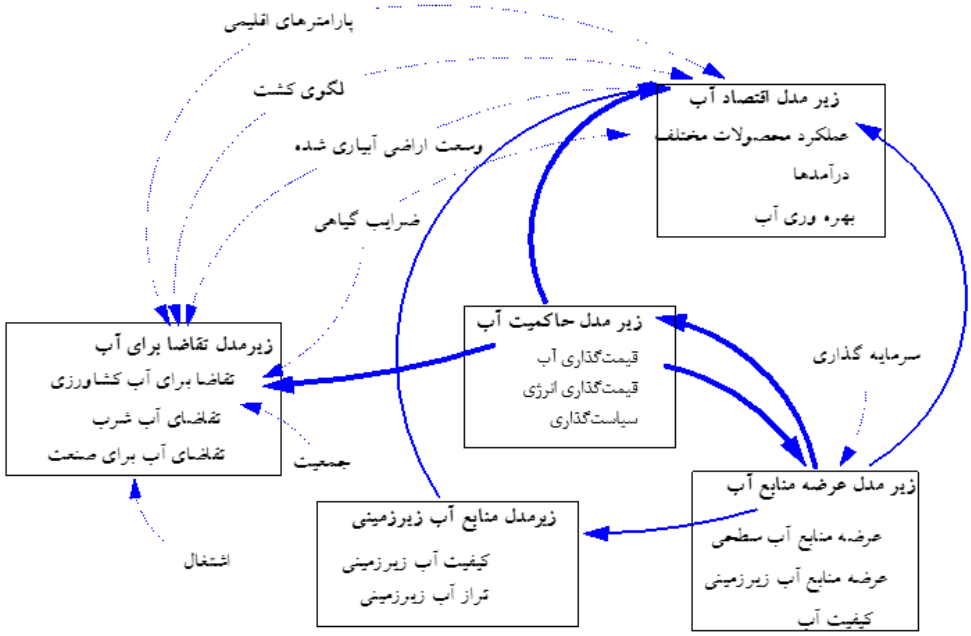
در این مطالعه از نرم‌افزار "ونسیم"[1] برای برنامه‌نویسی و تدوین

1- Vensim

مدل پویا استفاده شد. این نرم‌افزار دارای قابلیت شبیه‌سازی بصری اجزا بوده و روابط موجود را به همان ترتیبی که در واقعیت است دارا می‌باشد. این ابزار مدل‌سازی، امکان ایجاد مدل‌های پیچیده را با سهولت بیش‌تری نسبت به زبان‌های برنامه‌نویسی مرسوم به وجود می‌آورد.

تدوین مدل مفهومی

در این گام مدل مفهومی مدیریت یک‌پارچه منابع آب دشت مهران تدوین شد. چارچوب ابتدایی مدل مفهومی و برخی از متغیرهای کلیدی مدل در شکل ۱ ارایه شده است. زیرمدل‌های مدل شامل تقاضای آب، عرضه آب، آب زیرزمینی می‌باشد. لازم به ذکر است در مدل کلی انجام‌شده زیرمدل‌های حاکمیت آب و اقتصاد آب نیز تعریف شده‌اند ولی در بررسی این سناریوها مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.



شکل ۱- مدل مفهومی مدیریت منابع آب دشت مهران

تبیین فرضیه‌های دینامیکی (رفتار متغیرهای کلیدی) و شبیه‌سازی (فرموله کردن فرضیه‌های دینامیکی)

در این مرحله اثرات مثبت و منفی متغیرهای کلیدی در قالب تعیین روابط علی معلولی و بازخوردها تعیین شد و پس از آن روابط بین متغیرها (متغیرهای کلیدی و متغیرهای کمکی) و مقادیر متغیرها (متغیرهای ثابت) تعیین گردید. افق برنامه شبیه‌سازی ۳۸ ساله (۱۳۸۲ تا ۱۴۲۰) و واحد گام زمانی مورد استفاده در مدل ۱۰ روزه می‌باشد. تقاضای آب در بخش کشاورزی با توجه به نیاز آبی خالص الگوی کشت، سناریوهای الگوی کشت، ضرایب تنش آبی (Ks) و راندمان آبیاری محاسبه شد. برای تخمین عملکرد در سناریوهای مختلف از رابطه دورنباس و کسام (Doorenbos and Kassam, 1979) و معادلات بکار گرفته‌شده در مدل اکوا کراپ[1] ورژن ۴/۱ استفاده شد.

مدل قابلیت فراخوانی اطلاعات مربوط به اقلیم (شامل بارندگی، تبخیر و تعرق و دما)، عرضه آب (سدها، منابع آب زیرزمینی)، هیدرولوژی (خصوصیات فیزیوگرافی حوضه رودخانه، مسیل‌ها و سطح آب زیرزمینی)، خصوصیات خاک‌شناسی (بافت خاک)، ضرایب گیاهی الگوی کشت (Ky،Kc) و سطح زیرکشت در سناریوهای مختلف را دارد. برای شبیه‌سازی تغییرات سطح و حجم آبخوان از اصل بقا جرم مطابق رابطه ۱ استفاده شد:

$$Q_{in} + Q_P + Q_I + Q_{SW} + Q_R + Q_A - (Q_W + Q_{Eg} + Q_d + Q_{out}) = \Delta V \quad (۱)$$

در این رابطه، Qin: جریان زیرزمینی ورودی جانبی از سمت ارتفاعات و یا دشت بالادست، QP: تغذیه آبخوان از نفوذ بارش بر سطح دشت، QI: تغذیه آبخوان از آب‌های نفوذی کشاورزی، QSW: تغذیه از پساب آب مصرفی شرب و صنعت، QR: تغذیه از جریان‌های سطحی یا رودخانه‌ها، QA میزان تغذیه مصنوعی، QW: مصارف آب

1 - Aquacrop ver4.1

زیرزمینی، QEg: تبخیر از آب زیرزمینی، Qd، زهکشی از آبخوان، Qout، جریان زیرزمینی خروجی از آبخوان و ΔV: تغییر ذخیره ثابت آبخوان می‌باشد.

هم‌چنین جهت شبیه‌سازی ارتفاع دینامیک آبخوان از رابطه ۲ استفاده گردید.

$$H(t+dt) = H(t) + \frac{dV(dt)}{dV/dH} \quad (۲)$$

در این رابطه، $H(t+dt)$ سطح ایستابی ثانویه، $H(t)$ سطح ایستابی اولیه، $dV(dt)$ تغییر ذخیره آبخوان و dV/dH تغییر حجم آبخوان به علت افت یک متر سطح آب زیرزمینی است.

در تحقیق حاضر راندمان آبیاری روش‌های مختلف در منطقه تأثیر زیادی در نتایج دارد بنابراین مقادیر راندمان در سیستم‌های آبیاری سطحی در منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. در این ارزیابی برای هر یک از دو محصول عمده منطقه شامل کلزا و گندم، دو مزرعه و در مجموع چهار مزرعه در سه نوبت آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت و مقادیر راندمان و نفوذ عمقی برای منطقه بدست آمد. هم‌چنین در منظور نمودن مقدار دقیق راندمان سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار از مطالعات قبلی انجام شده در منطقه استفاده گردید.

نتایج و بحث

صحت‌سنجی مدل

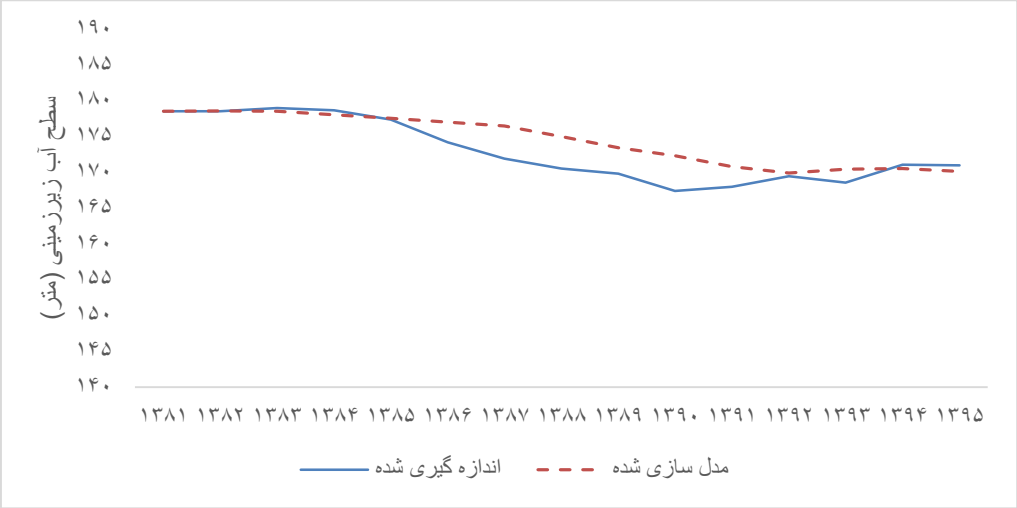
برای تدوین مدل ابتدا مدل از لحاظ ساختاری (ابعادی) و رفتاری آزمون شد، در نهایت مدل نهایی تدوین گردید. صحت‌سنجی مدل از دو طریق آزمون ساختار غیرمستقیم و صحت‌سنجی با اطلاعات مشاهده‌ای موجود انجام گرفت. آزمون‌های صحت‌سنجی ساختاری غیرمستقیم شامل اجرای تخصصی مدل بوده و می‌تواند عیب‌های مدل را غیرمستقیم مشخص نماید (Saysel et al., 2002). در این مقاله آزمون ساختاری مدل برای تک، تک زیرمدل‌ها و برای کل مدل به صورت جداگانه از طریق آزمون ساختاری غیرمستقیم (آزمون رفتار ساختارگرا) که به اصطلاح واقعیت مصنوعی نامیده می‌شود، انجام گرفت. در بخش بعد برای آزمون صحت مدل از داده‌های مشاهده‌ای سطح آب زیرزمینی استفاده گردید. بدین صورت که خروجی مدل در بخش تراز آب زیرزمینی با آمار واقعی آن در بازه زمانی سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ مقایسه و بررسی شد. مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده سطح آب زیرزمینی دشت مهران در نمودار ۲ آورده شده است. ضریب همبستگی[1] میان داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی سطح آب زیرزمینی برابر با ۰/۸۷ به دست آمده که نشان از صحت مدل می‌باشد. بیش‌ترین اختلاف میان مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده سطح آب زیرزمینی دشت مهران برابر با حدود چهار متر و مربوط به سال‌های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۰ می‌باشد. در این سال‌ها به دلیل وجود خشک‌سالی برخی موارد از جمله اضافه برداشت‌ها از منابع آب زیرزمینی در آمار و اطلاعات لحاظ نگردیده است. به جز بازه ذکرشده در سایر سال‌ها صحت‌سنجی، ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۶ بوده و شبیه‌سازی مدل از دقت بسیار مناسبی برخوردار است.

تحلیل تغییرات حجم آبخوان دشت مهران در تغییرات الگوی کشت و توسعه آبیاری تحت فشار در منطقه

تغییرات در الگوی کشت اراضی تحت پوشش چاه‌های آب کشاورزی در مهران و نیز توسعه آبیاری تحت فشار در این اراضی، می‌تواند در میزان مصرف آب کشاورزی و در میزان برداشت از این چاه‌ها موثر باشد و آبخوان را تحت تأثیر قرار دهد. دوازده سناریوی ترکیبی از تغییر الگوی کشت و توسعه آبیاری تحت فشار در این اراضی (در قسمت مواد و روش‌ها بیان شد)، در مدل تدوین شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تأثیر این سناریوها بر حجم آبخوان دشت در پایان دوره ارزیابی یعنی سال ۱۴۲۰ در نمودار ۳ آمده است.

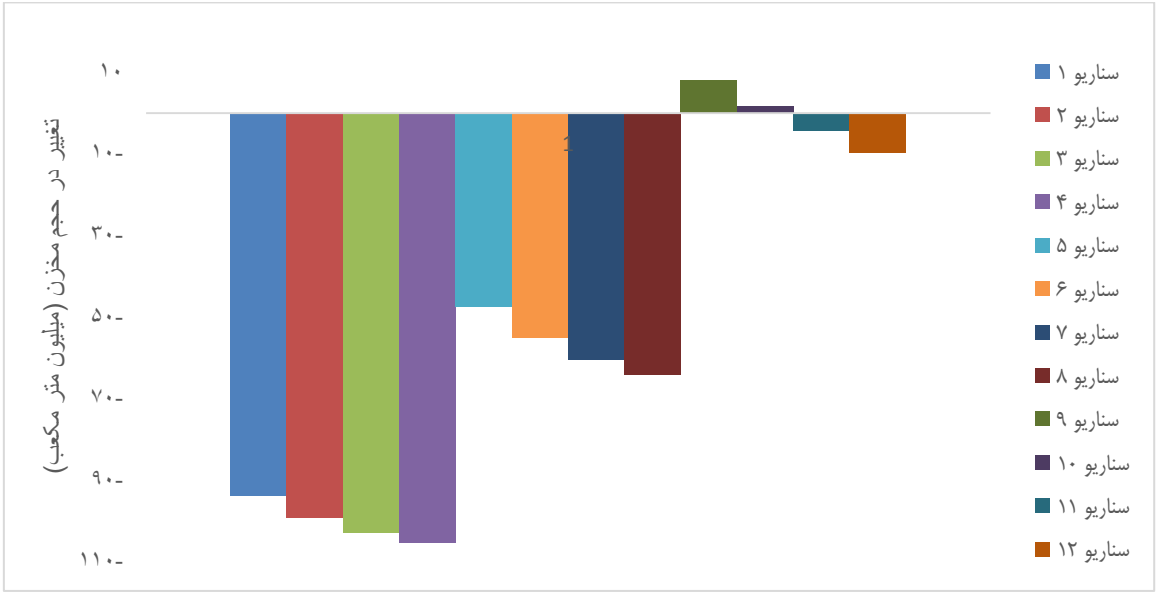
از میان سناریوهای بررسی‌شده، سناریو شماره ۴ یعنی عدم تغییر در الگوی کشت و توسعه ۴۵۰۰ هکتاری آبیاری تحت‌فشار در منطقه بیش‌ترین کاهش در حجم آبخوان دشت به میزان ۱۰۵- میلیون‌مترمکعب را در پی دارد. البته مقادیر کاهش در حجم آبخوان در سناریوهای شماره ۱، ۲ و ۳ با ارقام به ترتیب ۹۴-، ۹۹- و ۱۰۳- میلیون‌مترمکعب نیز تا حدودی به مقدار سناریوی ۴ نزدیک می‌باشند. همان‌گونه که قبلا بیان شد، سناریوهای ۱ الی ۴ مربوط به عدم تغییر در الگوی کشت در ترکیب با سناریوهای مختلف توسعه اراضی تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار می‌باشد. نتیجه نشان می‌دهد عدم تغییر در الگوی کشت منطقه باعث کاهش حجم آبخوان دشت گشته و آب زیرزمینی دشت را با وضعیت کسری قابل‌توجهی روبرو می‌کند. در بررسی این ۴ سناریو به این نکته نیز می‌توان اشاره کرد که، بر خلاف برخی تصورات، توسعه آبیاری تحت‌فشار با شرایط و راندمان فعلی در دشت مهران، باعث کاهش حجم آبخوان دشت می‌گردد. این نتایج تا حدود زیادی با نتایج تحقیقات علیزاده و همکاران (۱۳۹۳) و زارع و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد. مهم‌ترین دلیل موضوع بیان‌شده، در توسعه آبیاری تحت‌فشار در دشت مهران، کاهش تلفات ناشی از افزایش راندمان در نتیجه آبیاری تحت‌فشار از میزان آب برگشتی به آبخوان از آبیاری سطحی کم‌تر است. البته همان طور که گفته شد علی‌رغم تأثیر منفی توسعه آبیاری تحت‌فشار بر حجم آبخوان دشت، این مقدار به خصوص این‌که مربوط به ۲۵ سال می‌باشد، رقم زیادی نیست.

1 - Correlation coefficient



شکل ۲- مقایسه سطح آب زیرزمینی دشت مهران در حالت شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده

از میان سناریوهای ۱۲ گانه بررسی شده، سناریو شماره ۹ یعنی تغییر به الگوی کشت دو و عدم تغییر در توسعه آبیاری تحت‌فشار در منطقه، بیش‌ترین افزایش را در حجم آبخوان دشت به میزان ۸+ میلیون‌مترمکعب دارا می‌باشد. البته ارقام سناریوهای ۱۰، ۱۱ و ۱۲ به ترتیب ۲+ ، ۴- و ۱۰- میلیون‌مترمکعب تا حدودی به نتیجه سناریو ۹ نزدیک می‌باشند. در این دسته سناریو نیز کاهش در میزان حجم آبخوان به واسطه توسعه آبیاری تحت فشار مشاهده می‌شود. این دسته از سناریوها مربوط به سناریوی الگوی کشت دو یعنی حذف گیاه یونجه از الگوی کشت فعلی و جایگزینی با کشت کلزا می‌باشد. تفاوت فاحش ایجاد شده در نتیجه اعمال الگوی کشت دو نسبت به دو سناریوی دیگر الگوی کشت، در نتیجه تفاوت زیاد در نیاز آبی گیاهان یونجه و کلزا می‌باشد. به خصوص این‌که قسمت قابل‌توجهی از نیاز آبی کلزا توسط بارش‌های منطقه جبران شده و باعث کاهش مصرف آب آن می‌شود. میان نتایج سناریوهای الگوی کشت یک و الگوی کشت فعلی هم تفاوت قابل‌توجهی وجود دارد. که دلیل آن تفاوت معنادار میان نیاز آبی یونجه (در الگوی کشت فعلی) و ذرت (در الگوی کشت یک) می‌باشد.



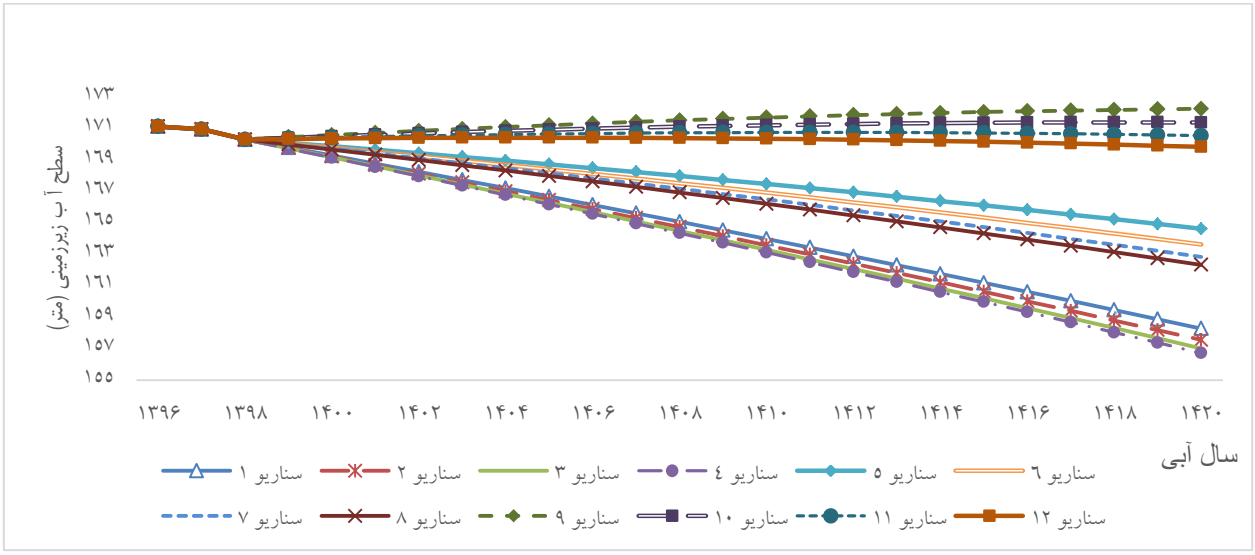
شکل ۳- تغییرات حجم آبخوان دشت مهران در سال ۱۴۲۰ در سناریوهای مختلف تغییر الگوی کشت و توسعه اراضی تحت پوشش آبیاری تحت‌فشار

تحلیل سطح آب زیرزمینی دشت مهران در تغییرات الگوی کشت و توسعه آبیاری تحت‌فشار در منطقه

همان طور که بیان شد. سناریوهای مورد بررسی در این تحقیق شامل ترکیب سناریوهای مختلف تغییر الگوی کشت و توسعه آبیاری تحت فشار در منطقه، می‌تواند در میزان مصرف آب کشاورزی و در میزان برداشت از آب زیرزمینی موثر بوده و سطح آبخوان را تحت تأثیر قرار دهد. بر اساس مدل‌سازی انجام شده، سطح آب زیرزمینی دشت مهران در سناریوهای مختلف تغییر الگوی کشت و توسعه آبیاری تحت‌فشار در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۴۲۰ در نمودار ۴ آمده است.

بر اساس این نمودار، در سناریوی شماره ۴ بیش‌ترین افت سطح آب زیرزمینی برابر با حدود ۱۴ متر نسبت به وضعیت فعلی پیش‌بینی می‌گردد. این سناریو شامل ادامه الگوی کشت موجود و توسعه آبیاری تحت‌فشار در تمام اراضی باقی‌مانده تحت پوشش چاه‌ها می‌باشد. ارقام پیش‌بینی شده برای سطح آب زیرزمینی دشت در سناریوهای ۱، ۲ و ۳ در پایان دوره شبیه‌سازی به ترتیب برابر با ۱۵۷، ۱۵۸ و ۱۵۸ می‌باشد. این ارقام به رقم مربوط به سناریو ۴ بسیار نزدیک است.

همان طور که قبلا بیان شد، توسعه آبیاری تحت‌فشار در منطقه باعث کاهش حجم آبخوان و در نتیجه افت بیش‌تر سطح آب زیرزمینی می‌گردد که البته این تأثیر ناچیز بوده و اهمیت اصلی در این زمینه مربوط به تغییر الگوی کشت می‌باشد. همان طور که از نمودار به نظر می‌رسد، سطح پیش‌بینی شده متوسط برای سه سناریو ادامه الگوی کشت فعلی، الگوی کشت یک و الگوی کشت دو به ترتیب برابر با حدود ۱۵۷، ۱۶۴ و ۱۷۱ می‌باشد. تفاوت در نتایج این سه سناریوی الگوی کشت به اختلاف قابل‌توجه نیاز آبی سه گیاه یونجه، ذرت و کلزا مربوط می‌گردد. همان طور که نتایج سناریوهای مختلف نشان می‌دهد، تغییر الگوی کشت می‌تواند به کاهش و حتی توقف افت سطح آب زیرزمینی دشت کمک کند. توسعه آبیاری تحت‌فشار با راندمان و شیوه فعلی اثرات منفی کمی در افت سطح آب زیرزمینی دارد، در صورتی‌که با اجرای صحیح تر آبیاری تحت‌فشار در منطقه و با آموزش بهره‌برداران بتوان راندمان و عملکرد آبیاری تحت‌فشار را ارتقا داد، توسعه آبیاری تحت‌فشار می‌تواند حتی به کاهش افت سطح آب زیرزمینی دشت بینجامد.



شکل ٤- پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت مهران در سناریوهای مختلف تغییر الگوی کشت و توسعه آبیاری تحت‌فشار در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹٦ الی ۱٤۲۰

تحلیل سطح آب زیرزمینی دشت مهران در تغییرات بارش و دمای منطقه

از موارد قابل تامل در بررسی مدل‌های مختلف تغییرات احتمالی پارامترهای اقلیمی از جمله دما و بارش می‌باشد. بنابراین در این تحقیق تغییرات احتمالی دما و بارش متوسط سالیانه منطقه در سطوح بدون تغییر، کاهش ۵، ۱۰ و ۲۰ درصدی و افزایش ۵، ۱۰ و ۲۰ درصدی در مدل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر ترکیب تغییرات احتمالی دما و بارش در منطقه در جدول ۱ آمده است. افزایش دما باعث افزایش مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل شده و در نهایت مقدار مصرف و تقاضای آب کشاورزی را افزایش می‌دهد. افزایش بارش از طریق افزایش نفوذ به آب زیرزمینی

و افزایش بارش موثر و در نتیجه کاهش نیاز ناخالص آبیاری موجب کاهش مصرف و تقاضای آب کشاورزی می‌گردد. با در نظر گرفتن مقدار ۱۴/۴ متر افت آب زیرزمینی در شرایط بدون تغییر دما و بارش به عنوان مبنای مقایسه سایر نتایج، جدول تأثیر مثبت افزایش بارش و تأثیر منفی افزایش دما را بر سطح آب زیرزمینی دشت تایید می‌کند. و از میان شرایط مختلف، افزایش بارش به میزان ۲۰ درصد و عدم تغییر در دمای منطقه دارای بیش‌ترین اثر مثبت و کم‌ترین افت آب زیرزمینی معادل ۹/۸- متر می‌باشد. و نیز شرایط افزایش دما به میزان ۲۰ درصد و عدم تغییر بارش دارای بیش‌ترین اثر منفی بر آب زیرزمینی برابر با مقدار ۱۸/۸- متر می‌باشد.

جدول ۱- پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت مهران در پایان سال ۱۴۲۰ تحت تأثیر تغییرات متوسط دما و بارش

دما / بارش	بدون تغییر	کاهش ۵ درصد	کاهش ۱۰ درصد	کاهش ۲۰ درصد	افزایش ۵ درصد	افزایش ۱۰ درصد	افزایش ۲۰درصد
بدون تغییر	-۱۴/۴	-۱۵/۵	-۱۶/۵	-۱۹	-۱۳/۲	-۱۲/۱	-۹/۸
کاهش ۵ درصد	-۱۳	-۱۴/۲	-۱۵/۳	-۱۷/۷	-۱۱/۹	-۱۰/۷	-۸/۴
کاهش ۱۰ درصد	-۱۱/۶	-۱۲/۷	-۱۳/۹	-۱۶/۲	-۱۰/۴	-۹/۳	-۷
کاهش ۲۰ درصد	-۸/۷	-۹/۸	-۱۱	-۱۳/۳	-۷/۵	-۶/۴	-۴/۱
افزایش ۵ درصد	-۱۵/۶	-۱۶/۷	-۱۷/۸	-۲۰/۱	-۱۴/۴	-۱۳/۳	-۱۱
افزایش ۱۰ درصد	-۱۶/۷	-۱۷/۹	-۱۹	-۲۱/۳	-۱۵/۶	-۱۴/۵	-۱۲/۲
افزایش ۲۰درصد	-۱۸/۸	-۱۹/۹	-۲۱	-۲۳/۳	-۱۷/۷	-۱۶/۶	-۱۴/۳

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثرات تغییرات الگوی کشت و توسعه آبیاری تحت فشار بر سطح آب زیرزمینی دشت مهران مورد بررسی قرار گرفت. بررسی دوازده سناریوی ترکیبی از سه سناریو الگوی کشت و چهار سناریو توسعه آبیاری تحت‌فشار در قالب یک مدل پویایی سیستم در منطقه نشان داد، الگوی کشت می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در کاهش و حتی توقف افت سطح آب زیرزمینی دشت داشته باشد. از میان الگوهای کشت بررسی شده جایگزینی کلزا بجای یونجه بیش‌ترین تأثیر را در کاهش افت سطح آب زیرزمینی دارا می‌باشد، در حقیقت در این الگوی کشت، سطح آب زیرزمینی تا سال ۱۴۲۰ ثابت می‌ماند. بررسی سناریوهای توسعه آبیاری تحت فشار در منطقه نشان داد، علی‌رغم برخی تصورات، توسعه آبیاری تحت‌فشار با شرایط بهره‌برداری و راندمان فعلی نه تنها باعث بهبود وضع آب زیرزمینی نمی‌گردد، بلکه تأثیر کمی بر افزایش افت سطح آب زیرزمینی دشت دارد. در صورت اجرای اصولی‌تر سیستم‌های تحت‌فشار در منطقه و آموزش بهره‌برداری لازم به کشاورزان، با افزایش راندمان این سیستم‌ها می‌توان به تأثیر مثبت توسعه این سیستم‌ها در بهبود وضعیت افت سطح آب زیرزمینی دشت امیدوار بود.

منابع

بانژاد،ح و سیفی،آ. ۱۳۸۵. کنترل سطح آب زیرزمینی به وسیله تغییر الگوی کشت در دشت همدان – بهار. اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. اردیبهشت‌ماه. اهواز

بی‌نام. ۱۳۹۲. گزارش توجیهی پیشنهاد تمدید ممنوعیت توسعه بهره‌برداری آبخوان دشت مهران. شرکت سهامی آب منطقه‌ای ایلام. ایلام. ۸۸ صفحه.

حسینی،س و باقری،ع. ۱۳۹۱. مدل‌سازی پویایی سیستم منابع آب دشت مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعه پایدار. مجله آب و فاضلاب. ۴: ۳۹-۲۸.

خاشعی سیوکی،ع.، قهرمان.،ب و کوچک‌زاده،م. ۱۳۹۳. تعیین الگوی کشت بهینه برای جلوگیری از افت آب زیرزمینی با الگوریتم pso. مجله پژوهش آب ایران. ۸. ۱۴: ۱۴۶-۱۳۷.

زارع،ش.، محمدی،ح. و صبوحی،م. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی توسعه سیستم‌های مدرن آبیاری بر تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی خراسان‌رضوی. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی. ۳۱. ۲: ۱۹۵-۱۷۹.

علیزاده،ا.، مجیدی خلیل‌آباد،ن.، قربانی،م و محمدیان،ف. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت مشهد- چناران). مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۶. ۱: ۶۸-۵۵

علیزاده،ح،ع. ۱۳۹۳. مدل‌سازی پویای بهره‌برداری از پساب با رویکرد

کشاورزی پایدار (مطالعه موردی دشت ورامین). دانشگاه تهران. تهران. رساله دکتری رشته آبیاری و زهکشی.

علیزاده،ح، ع.، لیاقت،ع و سهرابی،ت. ۱۳۹۳. ارزیابی سناریوهای توسعه سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم. مجله حفاظت منابع آب و خاک،۳. ۴. ۱۵-۱

نوذری،ح.، محسنی،و. ۱۳۹۴. کاربرد روش پویایی سیستم در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی سمت راست آبشار اصفهان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۶. ۳: ۴۷۴-۴۶۵

Balali,H and Viaggi,D. 2015. Applying a System Dynamics Approach for Modeling Groundwater Dynamics to Depletion under Different Economical and Climate Change Scenarios. Water. 7.10 :5258-5271.

Connor,R. 2015. The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world (1). UNESCO Publishin, 139 p.

Doorenbos,J.and Kassam,A. 1979.Yield response to water. Irrigation and drainage paper. Irrigation and Drainage Paper 33. FAO, Rome.

Elmahdi,A., Malano,H and Etchells,T. 2007. Using system dynamics to model water-reallocation. The Environmentalist. 27. 1: 3-12.

Giordano,R., Brugnach,M and Vurro,M. 2012. System dynamic modelling for conflicts analysis in groundwater management. 9th International Congress on Environmental Modelling and Software, Leipzig. Germany.

Koti,J,H., Smith,C., Brown,G., Marshall,N and Johnstone,R. 2016. A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, Ghana. Science of the Total Environment. 573:444-457.

Luo,Y., Khan,S., Cui,Y and Peng,S. 2009. Application of system dynamics approach for time varying water balance in aerobic paddy fields. Paddy and Water Environment. 7. 1: 1-9.

Saysel,A,K., Barlas,Y and Yenigün,O. 2002. Environmental sustainability in an agricultural development project: a system dynamics approach. environmental management. 64. 3: 247-260.

Xi,X and Poh,K,.L. 2013. Using system dynamics for sustainable water resources management in Singapore. Procedia Computer Science. 16: 157-166.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 12, Des.-Jan. 2018, p. 1164-1173

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۲، آذر - دی ۱۳۹۷، ص. ۱۱۷۳-۱۱۶۴

Assessing Crop Pattern and Pressurized Irrigation Systems Development Scenarios on Groundwater Level in Mehran Plain Using System Dynamics Modeling

A.R.Hooshmand[1] ,H.A. Alizadeh[2] ,Z.Izadpanah[3], E.Darvishi[4]*
Recived: Jul.16, 2018 Accepted: Apr.20, 2018

Abstract

Mehran Plain has been accompanied by a drop in groundwater levels in recent decades.The aim of this effort was to study the level of groundwater in Mehran plain using the system dynamics method under different scenarios of crop pattern and pressurized irrigation systems development. the conceptual model was designed, dynamic hypotheses were explained and simulation was performed. After verifying the model, the research purpose was evaluated in terms of applying 12 scenarios consisting of three scenarios for crop pattern and four scenarios of pressurized irrigation systems development. Among the crop patterns scenarios, the replacement of canola instead of alfalfa in crop pattern showed the best result in groundwater level in Mehran Plain. Also, the results of this effort showed that the development pressurized irrigation systems in condition current efficiency not only does not improve the groundwater level, but also has a negative effect on the groundwater level of the plain.

Keywords: Conceptual Model, Crop pattern, Pressurized Irrigation, Simulation, Water Table

1 - Associate, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2 - Assistant, Faculty of Agriculture Engineering, Ilam University, Iran
3 - Assistant, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
4 - Phd. Student of Irrigation and Drainage Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email:hooshmand_a@scu.ac.ir)