

## ارزیابی منابع آب زیرزمینی دشت مهران به روش پویایی سیستم تحت تأثیر سناریوهای مختلف تغییر قیمت حامل‌های انرژی

ابراهیم درویشی<sup>۱</sup>، عبدالرحیم هوشمند<sup>۲</sup>، حمزه علی‌علیزاده<sup>۳</sup>، زهرا ایزد پناه<sup>۴</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۸

مقاله پژوهشی

### چکیده

یکی از مهم‌ترین ابزارهای مدیریت تقاضای آب، تغییر تعرفه آب و انرژی می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی سطح آب زیرزمینی دشت مهران با استفاده از روش پویایی سیستم تحت سناریوهای مختلف تغییر قیمت حامل‌های انرژی است. پس از تدوین مدل مفهومی، فرضیه‌های دینامیکی تبیین و شبیه‌سازی انجام شد. پس از واسنجی مدل و صحت‌سنجی آن، ۱۲ سناریوی ترکیبی مورد نظر با افزایش تعرفه انرژی و آب مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد اثر تغییر تعرفه انرژی بر تغییر حجم ذخیره آبخوان و سطح آب زیرزمینی بیش از تغییر تعرفه آب بود. همچنین نتایج نشان داد افزایش تعرفه آب و انرژی بر سطح آب زیرزمینی دشت تأثیرگذار بوده و می‌تواند باعث کاهش برداشت آب از سفره آب زیرزمینی شود. از طرفی افزایش تعرفه انرژی به میزان ۸۰ درصد تعرفه فعلی و افزایش تعرفه آب سطحی به میزان ۵۰ درصد قیمت فعلی و اعمال حق النظاره، دارای بیشترین تأثیر بر توقف کاهش سطح آب زیرزمینی بود و حتی در مقایسه با سایر سناریوها باعث افزایش قابل‌توجه سطح آب زیرزمینی شد.

واژه‌های کلیدی: تعرفه آب و انرژی، تقاضای آب، سطح ایستابی، مدل مفهومی

۱ - فارغ التحصیل دکتری مهندسی علوم آب-گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. شماره تماس: ۰۹۱۸۹۴۸۱۴۸۶، پست الکترونیکی: [ndarvishy@gmail.com](mailto:ndarvishy@gmail.com)

۲ - دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. شماره تماس: ۰۹۱۶۳۱۱۹۶۳۲، پست الکترونیکی: [hooshmand\\_a@scu.ac.ir](mailto:hooshmand_a@scu.ac.ir) (نویسنده مسئول)

۳ - استادیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، پست الکترونیکی: [Alizadeh.hamzeh@gmail.com](mailto:Alizadeh.hamzeh@gmail.com)

۴ - استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، پست الکترونیکی: [z.zadpanah@scu.ac.ir](mailto:z.zadpanah@scu.ac.ir)

## مقدمه

تعدیل یافته است به گونه‌ای که در ازای قیمت ۱۵۰۰ ریال برای هر مترمکعب آب، بیلان حجم آب آبخوان به صفر رسیده و مثبت می‌شود (بالای و همکاران، ۱۳۸۹). در تحقیقی از مفهوم سیستم دینامیک (پویایی سیستم‌ها) برای تهیه مدل بهره‌برداری از پساب با رویکرد کشاورزی پایدار، برای بررسی اثرات بلندمدت استفاده از فاضلاب در مصارف کشاورزی دشت ورامین استفاده شد. نتایج این تحقیق 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). همچنین از روش پویایی سیستم<sup>۲</sup> برای مدیریت پایدار منابع آب سنگاپور استفاده شده است. تحقیق مذکور باهدف دستیابی سنگاپور به خودکفایی منابع آب با استفاده از پایدارترین روش با استفاده از 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 مشاهده‌شده سیستم همخوانی دارد (Koti et al, 2016). همچنین در خصوص بهره‌گیری از روش پویایی سیستم در مدل‌سازی منابع آب زیرزمینی، سیستم منابع آب دشت مشهد را با استفاده از روش پویایی سیستم مدل شد. طی فرآیند مدل‌سازی و با افزایش شناخت 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 سه گانه رشد اقتصادی با رویکرد محدودیت منابع آب، تخصیص منابع با رویکرد ارزش افزوده، و تغییر الگوی کشت، بسته‌های سیاستی تدوین شد (حسینی و باقری، ۱۳۹۱).

بر اساس پیش‌بینی‌ها تقاضای جهانی آب از نظر برداشت تا سال ۲۰۵۰، ۵۵ درصد افزایش خواهد یافت و به استثنای برخی مناطق جهان به‌طور فزاینده 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). یکی از مهم‌ترین ابزارهای مدیریت تقاضای آب تغییر تعرفه آب و انرژی می‌باشد. قیمت‌گذاری صحیح آب و انرژی، منجر به تغییر و اصلاح رفتار مصرف‌کنندگان می‌شود (شجری و ترکمان، ۱۳۸۶). کمیسیون جهانی آب<sup>۱</sup> قیمت‌گذاری بر اساس هزینه‌های کامل خدمات آب را به‌عنوان یک اصل لازم برای مدیریت منابع آب بیان نموده است. در ایران در سال ۱۳۸۸، قانون هدفمند کردن یارانه‌ها که دارای ۱۶ ماده می‌باشد به تصویب رسید. ماده ۳ این قانون دولت را مکلف به اعمال قیمت تمام‌شده آب و ماده ۲۸ این قانون دولت را مکلف به افزایش قیمت انرژی تا ۸۰ درصد متوسط قیمت انرژی در منطقه خلیج فارس می‌کند (موسسه راهبرد دانش، ۱۳۹۰). بررسی مبانی نظری قیمت‌گذاری آب و انرژی نشان می‌دهد که قیمت‌گذاری صحیح، به‌عنوان یکی از ارکان مهم در مدیریت تقاضای منابع آب می‌تواند صرفه‌جویی مصرف آب را به دنبال داشته باشد. در تحقیقی بررسی اثر قیمت‌گذاری اقتصادی آب آبیاری بر الگوی کشت در دشت دهگلان نتایج نشان داده است افزایش قیمت تا مرز قیمت ارزش اقتصادی منجر به کاهش مصرف آب و سطح زیر کشت تمامی محصولات منطقه می‌شود (وزیری و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین در بررسی نقش قیمت‌گذاری آب در بخش کشاورزی بر تعادل منابع آب زیرزمینی در دشت همدان- بهار با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی پویا، نتایج نشان می‌دهد با افزایش قیمت آب آبیاری در قالب سیاست‌های کشاورزی با وجود کاهش نسبی منافع اقتصادی در بخش کشاورزی بیلان منفی آب آبخوان

آبیاری رودخانه‌های گاوی و کنجان چم 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 سناریوهای مختلف بر اساس مسئله موجود

نتایج بررسی هیدروگراف واحد دشت مهران طی سال‌های آبی ۷۵-۱۳۷۴ تا ۹۲-۱۳۹۱ نشان می‌دهد که تراز آب زیرزمینی دشت مهران دارای متوسط افت سالانه حدود ۰/۸۳ متر و متوسط سالانه کسری حجم مخزن دشت مهران حدود ۵/۸۱ میلیون مترمکعب می‌باشد (آب منطقه‌ای ایلام، ۱۳۹۲). لذا کنترل افت تراز آب زیرزمینی دشت و اجرای افزایش قیمت آب و حامل‌های انرژی مهمترین مسئله جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی دشت مهران است. در این راستا، این موضوع در قالب سناریوهایی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. از منظر قیمت برق، قیمت فعلی برق مصرفی در بخش کشاورزی به صورت متوسط حدود ۱۲۱ ریال به ازای هر کیلووات ساعت محاسبه می‌شود که حدود ۲۰ درصد قیمت برق سایر بخش‌هاست. بر طبق قانون هدفمندی یارانه‌ها و نیز برنامه ششم توسعه قیمت برق می‌بایست به قیمت تمام‌شده و نیز قیمت فوب خلیج فارس برسد قیمت تمام‌شده برق در کشور حدود ۱۰۰۰ ریال و متوسط قیمت برق در کشورهای همسایه نیز حدود ۲۰۰۰ ریال است. در صورت افزایش قیمت برق مصرفی در کشور، قیمت برق مصرفی بخش کشاورزی به دلایل سیاست‌های حمایتی ضمن افزایش می‌بایست همچنان از قیمت پایین‌تری نسبت به قیمت سایر بخش‌ها برخوردار باشد. از این نظر سناریوهای این قسمت شامل: ادامه روند فعلی و عدم افزایش انرژی، افزایش قیمت انرژی به میزان ۵۰ درصد قیمت فعلی و افزایش قیمت انرژی به میزان ۸۰ درصد قیمت فعلی می‌باشد. این اعداد ۵۰ و ۸۰ درصد افزایش قیمت صرفاً به این دلیل انتخاب شده است که تغییر قیمت قابل توجه

روش پویایی سیستم‌ها در زمینه مدل‌سازی سیستم‌های منابع آب قابلیت خوبی دارد. از آنجایی که ماهیت تغییر قیمت حامل‌های انرژی و آب بها و بازخوردهای مختلفی که در بهره‌برداری از آب زیرزمینی می‌گذارد، با این روش سازگاری زیادی دارد. روش پویایی سیستم‌ها مؤلفه‌های مختلف سیستم را به‌عنوان یک مجموعه از اهداف مجزا با هم ترکیب می‌کند و رفتار آن سیستم را تولید و نشان می‌دهد (Elmahdi et al, 2007). در تحقیقات مختلف مشابه، تأثیرگذاری تغییر قیمت حامل‌های انرژی بر منابع آب زیرزمینی به صورت یک سیستم پویا انجام نشده است و لذا هدف از این تحقیق برنامه بهره‌برداری از آب زیرزمینی دشت مهران تحت تأثیر تغییر قیمت حامل‌های انرژی و تغییر آب‌بها به کمک روش مدل‌سازی پویایی سیستم می‌باشد. با توجه به این که مدل پیشنهادی در برگیرنده عوامل موثر بر پایداری اقتصادی و فنی می‌باشد، از آن می‌توان در مطالعه و پیش‌بینی اثر راهکارهای فنی و مدیریتی مختلف در این زمینه بهره جست.

### مواد روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت مهران می‌باشد که یکی از دشت‌های مهم کشاورزی استان ایلام است. این دشت 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 و مساحت آن ۲۸۰ کیلومتر مربع می‌باشد. این منطقه دارای زمستان‌های کوتاه معتدل و کمی مرطوب و تابستان‌های طولانی خشک و خیلی گرم می‌باشد. میزان تبخیر پتانسیل سالانه این منطقه ۳۳۶۱/۴ میلیمتر و میانگین بارندگی سالانه ۲۶۷/۰۳ میلیمتر برآورد شده است. دشت مهران با دارا بودن تراز منفی آب زیرزمینی، یکی از دشت‌های ممنوعه استان ایلام به حساب می‌آید. منابع اصلی تأمین آب کشاورزی در دشت مهران منابع آب زیرزمینی و شبکه‌های

انرژی در قالب دو سناریو با فاصله عددی منطقی بررسی شود.

همچنین در مورد افزایش قیمت آب، تعرفه فعلی آب در شبکه آبیاری دشت مهران حدود ۳ میلیون ریال به ازای هر هکتار و در نتیجه حدود ۴۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب می‌باشد. در مورد آب زیرزمینی نیز، با توجه به قانون مجلس شورای اسلامی در حال حاضر مبلغی بابت حق النظاره آب زیرزمینی از بخش کشاورزی دریافت نمی‌شود. ولی در صورت اجرای مجدد قانون دریافت حق النظاره، مبلغ دریافتی برابر با یک درصد عملکرد محصولات و حدوداً برابر با ۱۰ ریال به ازای هر مترمکعب خواهد بود. از این نظر سناریوهای این قسمت به صورت زیر تعریف شده‌اند:

۱. ادامه وضعیت موجود در تعرفه آب سطحی و عدم دریافت حق النظاره چاهها

۲. افزایش ۱۰ درصدی تعرفه آب سطحی و اعمال حق النظاره چاهها به قیمت هر مترمکعب آب برابر با ۱۰ ریال

۳. افزایش ۲۰ درصدی تعرفه آب سطحی و اعمال حق النظاره چاهها به قیمت هر مترمکعب آب برابر با ۲۰ ریال

۴. افزایش ۵۰ درصدی تعرفه آب سطحی و اعمال حق النظاره چاهها به قیمت هر مترمکعب آب برابر با ۵۰ ریال و در نتیجه سناریوهای لحاظ شده در تحقیق، شامل ۱۲ سناریو که در جدول (۱) آمده‌اند می‌باشد.

در این مطالعه از نرم‌افزار "ونسیم" برای برنامه‌نویسی و تدوین مدل پویا استفاده شد. این ابزار مدل‌سازی، امکان ایجاد مدل‌های پیچیده را با سهولت بیشتری نسبت به زبان‌های برنامه‌نویسی مرسوم به وجود می‌آورد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۳).

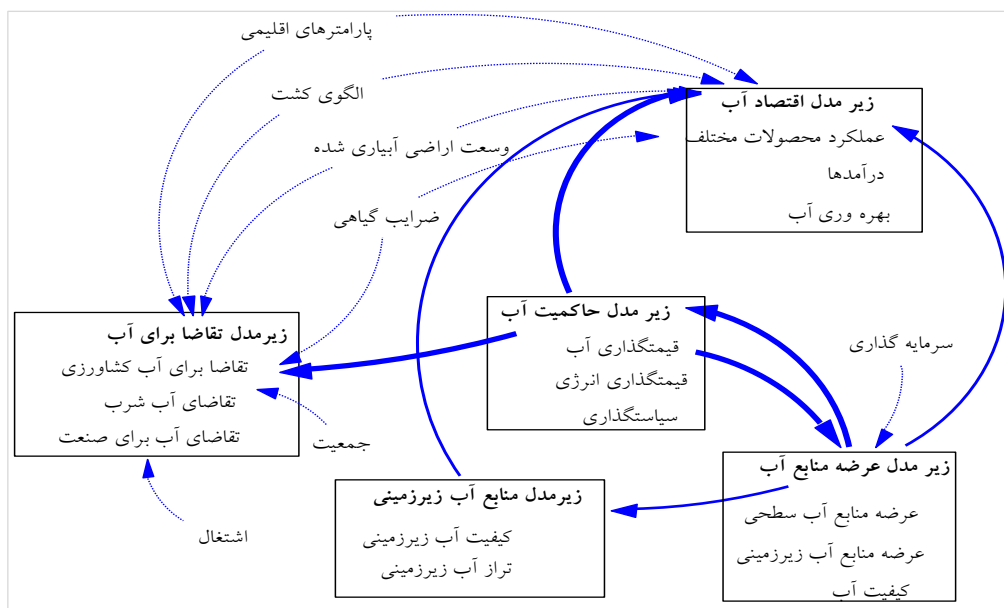
جدول (۱): سناریوهای مختلف اعمال شده در تحقیق شامل ترکیب سناریوهای تغییر قیمت آب و انرژی

سناریوهای تغییر قیمت انرژی			شماره سناریو	
افزایش	افزایش	ادامه		
افزایش ۸۰ درصدی	۵۰ درصدی	روند فعلی		
۳	۲	۱	ادامه روند فعلی	
۶	۵	۴	افزایش ۱۰ درصدی تعرفه آب سطحی و اعمال حق النظاره چاهها به قیمت ۱۰ ریال در هر مترمکعب	
۹	۸	۷	افزایش ۲۰ درصدی تعرفه آب سطحی و اعمال حق النظاره چاهها به قیمت ۲۰ ریال در هر مترمکعب	
۱۲	۱۱	۱۰	افزایش ۵۰ درصدی تعرفه آب سطحی و اعمال حق النظاره چاهها به قیمت ۵۰ ریال در هر مترمکعب	

است. زیرمدل‌های مدل شامل تقاضای آب، عرضه آب، آب زیرزمینی (بیلان و کیفیت)، اقتصاد آب (عملکرد محصولات کشاورزی، درآمدها و هزینه‌ها) و حاکمیت آب (قیمت‌گذاری آب و انرژی) می‌باشند.

### 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) ارائه شده



شکل (۱): مدل مفهومی مدیریت منابع آب دشت مهران با محوریت حاکمیت آب

و معادلات بکار گرفته شده در مدل اکوا کراپ ۱ ورژن ۴،۱ استفاده شد.

افزایش قیمت آب و انرژی سبب افزایش قیمت تمام شده آب آبیاری از منابع آب زیرزمینی می شود. افزایش قیمت تمام شده آب آبیاری، کاهش تقاضای آب آبیاری را به دنبال داشته که در نتیجه کاهش تقاضای آب آبیاری، بهره برداری از منابع آب زیرزمینی کاهش یافته و در نتیجه پایین رفتن سطح آب زیرزمینی کاهش یافته، متوقف شده و یا برعکس شده که نتیجه آن تغییر در میزان برق مصرفی جهت استخراج آب زیرزمینی می شود. این تغییر میزان برق مصرفی، تغییر در قیمت تمام شده آب آبیاری را به دنبال داشته و این حلقه همچنان ادامه خواهد داشت. نمونه حلقه ذکر شده در شکل (۲) آمده است.

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 و مسیلها، سطح آب زیرزمینی)، خصوصیات خاکشناسی (بافت خاک)، ضرایب گیاهی الگوی کشت

### تیین فرضیه های دینامیکی (رفتار متغیرهای کلیدی) و شبیه سازی (فرموله کردن فرضیه های دینامیکی)

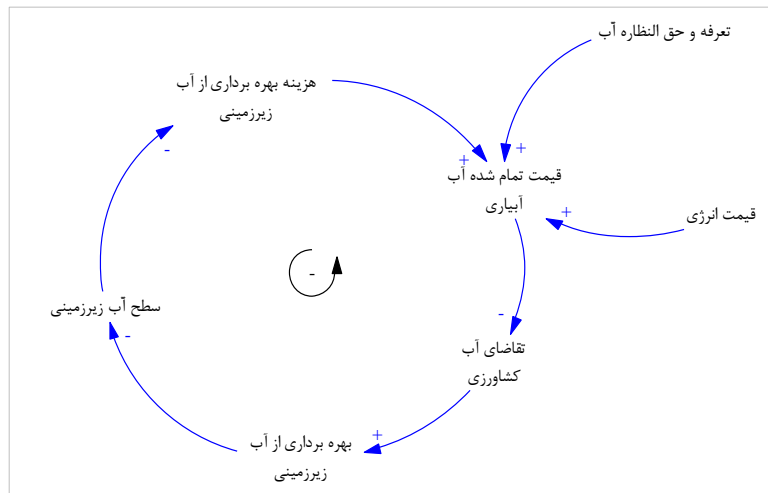
در این مرحله اثرات مثبت و منفی متغیرهای کلیدی در قالب تعیین روابط علی معلولی و بازخوردها تعیین شد. پس از آن روابط بین متغیرها (متغیرهای کلیدی و متغیرهای کمکی) و مقادیر متغیرها (متغیرهای ثابت) تعیین شد. افق برنامه مدل سازی ۳۸ ساله (۱۳۸۲ تا ۱۴۲۰) شامل دوره ۸ ساله (۱۳۸۲ تا ۱۳۸۹) واسنجی مدل، دوره ۶ ساله (۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵) صحت سنجی مدل و دوره ۲۵ ساله (۱۳۹۶ تا ۱۴۲۰) شبیه سازی مدل و واحد گام زمانی مورد استفاده در مدل ۱۰ روزه می باشد. تقاضای آب در بخش کشاورزی با توجه به نیاز آبی خالص الگوی کشت، ضرایب تنش آبی (Ks) و راندمان آبیاری محاسبه شد. برای تخمین عملکرد در سناریوهای مختلف از رابطه دورنباوس و کسام (Doorenbos and Kassam, 1979)

از نفوذ بارش بر سطح دشت،  $Q_I$ : تغذیه آبخوان از آب‌های نفوذی کشاورزی،  $Q_{SW}$ : تغذیه از پساب آب مصرفی شرب و صنعت،  $Q_R$ : تغذیه از جریان‌های سطحی یا رودخانه‌ها،  $Q_A$  میزان تغذیه مصنوعی،  $Q_W$  : مصارف آب زیرزمینی،  $Q_{EG}$ : تبخیر از آب زیرزمینی،  $Q_d$ ، زهکشی از آبخوان،  $Q_{out}$ ، جریان زیرزمینی خروجی از آبخوان و  $\Delta V$ : تغییر ذخیره ثابت آبخوان می‌باشد.

( $K_y, K_c$ ) و سطح زیر کشت در سناریوهای مختلف را دارد. و تمام اطلاعات ذکر شده از یک فایل اکسل فراخوانی گردید. برای شبیه‌سازی تغییرات سطح و حجم آبخوان از اصل بقای جرم مطابق رابطه (۱) استفاده شد:

$$Q_{in} + Q_P + Q_I + Q_{SW} + Q_R + Q_A - (Q_W + Q_{EG} + Q_d + Q_{out}) = \Delta V \quad (1)$$

در این رابطه،  $Q_{in}$ : جریان زیرزمینی ورودی جانبی از سمت ارتفاعات و یا دشت بالادست،  $Q_P$ : تغذیه آبخوان



شکل (۲): یک نمونه از حلقه علی و معلولی بهره‌برداری از آب زیرزمینی

تقاضای آب برای آن محصول، درصدی به اندازه کشت قیمتی تغییر می‌کند.

$$\eta = -\frac{P_Y \cdot a \cdot Y}{r \cdot X} \quad (2)$$

در این رابطه،  $\eta$ : کشش قیمتی آب،  $P_Y$ : قیمت محصول (ریال بر کیلوگرم)،  $a$ : ضریب نهاده آب در تابع تولید،  $Y$ : عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)،  $r$ : قیمت تمام‌شده هر مترمکعب آب به ریال و  $X$ : میزان مصرف آب هر محصول در هکتار می‌باشد.

برای شبیه‌سازی تغییر تقاضای آب هر محصول تحت تأثیر تغییر قیمت تمام‌شده آب، از رابطه (۳) استفاده گردید.

برای بررسی اثرات قیمت‌گذاری آب و انرژی بر تقاضای آب، از توابع تقاضای آب استفاده شد بدین صورت که پس از جمع‌آوری اطلاعات هزینه‌های تولید و عملکرد محصولات عمده منطقه با استفاده از پرسشنامه در جامعه آماری کشاورزان منطقه، با استفاده از تابع کاب داگلاس (Cobb and Douglas, 1928)، به کمک نرم‌افزار "ایویوز ۱۹" ضرایب نهاده‌های تولید استخراج و پس از آن کشش قیمتی برای نهاده آب این محصولات از رابطه (۲) محاسبه شد. منظور از کشش قیمتی برای نهاده آب در هر محصول این است که با افزایش یک درصدی قیمت نهاده آب، میزان

- ۲- مدل توانایی تولید مقادیر برای ارایه تصویر سیستم در شرایط آبی را دارد.
- ۳- انتظار از مدل، تبیین و پیش روندها و رویکردها در راستای اجرای سیاست‌های پیشنهادی است.

### نتایج و بحث

#### واسنجی و صحت‌سنجی مدل

داده های سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۹ جهت واسنجی مدل استفاده شد. پارامتر بررسی شده در واسنجی مقدار ضریب برگشت آب از آب آبیاری می‌باشد. در بررسی انجام شده مقدار صحیح برای این پارامتر برابر با ۰/۱۲ به دست آمد. برای تدوین مدل، ابتدا مدل از لحاظ ساختاری (ابعادی) و رفتاری آزمون شده و نهایتاً مدل نهایی تدوین شد. صحت‌سنجی مدل از دو طریق آزمون ساختار غیرمستقیم و صحت‌سنجی با اطلاعات مشاهده‌ای موجود انجام گرفت. آزمون‌های صحت‌سنجی ساختاری غیرمستقیم شامل اجرای تخصصی مدل بود که می‌تواند عیب‌های مدل را به طور غیرمستقیم مشخص نماید (Saysel et al, 2002). در این تحقیق آزمون ساختاری مدل برای تک‌تک زیرمدل‌ها و برای کل مدل به صورت جداگانه از طریق آزمون ساختاری غیرمستقیم (آزمون رفتار ساختارگرا) که به اصطلاح واقعیت مصنوعی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود، انجام شد. در بخش بعد برای آزمون صحت مدل از داده‌های مشاهده‌ای سطح آب زیرزمینی استفاده شد. به این صورت که خروجی مدل در بخش تراز آب زیرزمینی با آمار واقعی آن در بازه زمانی سال ۹۰ تا ۹۵ مقایسه و بررسی شد. مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده سطح آب زیرزمینی دشت مهران در نمودار (۳) آورده شده است. ضریب همبستگی<sup>۲</sup> میان داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی سطح آب زیرزمینی برابر با ۰/۸۷ به دست آمده که نشان از صحت مدل می‌باشد.

$$\Delta Q = \frac{Q_1 \cdot \Delta P \cdot \eta}{P_1} \quad (3)$$

در این رابطه،  $Q_1$  و  $Q_2$ : به ترتیب مقدار تقاضای آب اولیه و ثانویه (مترمکعب در هکتار)،  $P_1$  و  $P_2$ : به ترتیب قیمت اولیه و ثانویه آب (قیمت تمام‌شده بر حسب ریال)،  $\eta$ : کشش قیمتی آب،  $\Delta Q$ : تغییرات تقاضای آب (مترمکعب در هکتار) و  $\Delta P$ : تغییرات قیمتی آب (ریال) می‌باشند.

همچنین جهت شبیه‌سازی ارتفاع دینامیک آبخوان از رابطه (۴) استفاده گردید.

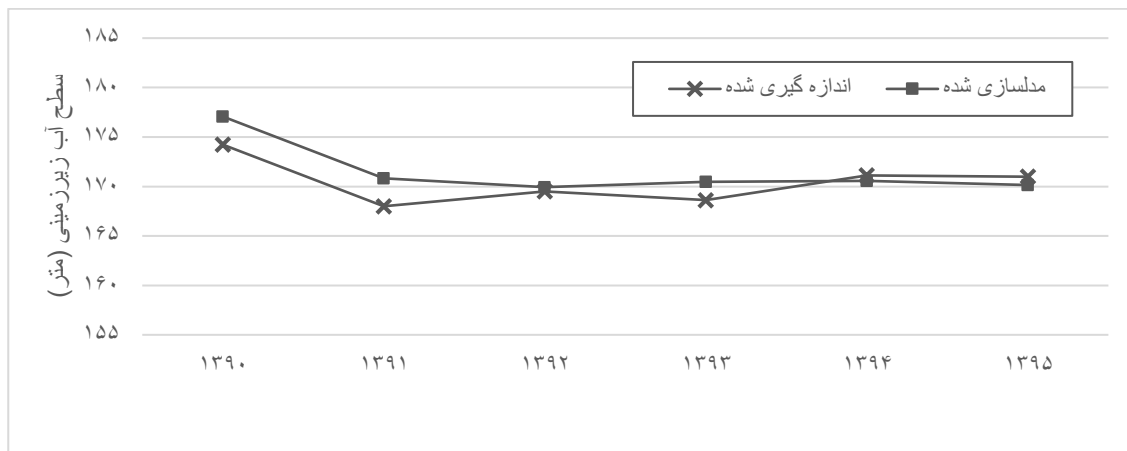
$$H(t + dt) = H(t) + \frac{\Delta V(dt)}{dV/dH} \quad (4)$$

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

#### فرضیات، محدودیت‌ها و انتظارات از مدل

در این تحقیق موارد زیر فرض شده است:

- ۱- در حال حاضر در اعمال تعرفه آب سطحی، سطح اراضی ملاک بوده و تا حدودی تحویل حجمی آب به درستی اعمال نمی‌شود. اما با توجه به لزوم اعمال کشش قیمتی آب، فرض این تحقیق بر اساس تحویل حجمی آب و اعمال تعرفه آب سطحی و حق النظاره آب زیرزمینی بر حجم آب تحویلی به کشاورزان می‌باشد.
  - ۲- کشش قیمتی آب برای محصولات مختلف در تمام محدوده قیمتی اعمال شده آب لحاظ می‌شود.
- با توجه به فرضیات بیان شده، محدودیت‌ها و انتظارات از مدل در این تحقیق عبارت‌اند از:
- ۱- مدل برای تولید دقیق داده و پیش‌بینی در یک سال خاص ابزار مناسبی نیست.



شکل (۳): مقایسه سطح آب زیرزمینی دشت مهران در حالت شبیه سازی شده و اندازه گیری شده در مرحله صحت سنجی

شماره ۱ سبب کاهش حدود ۸ متری سطح آبخوان خواهد شد.

تغییر قیمت انرژی علاوه بر تأثیر مستقیم بر قیمت تمام شده آب مصرفی کشاورزی، به صورت غیرمستقیم هم بر مصرف آب کشاورزی تأثیر می گذارد. به این صورت که با افزایش قیمت انرژی، مصرف آب کشاورزی کاهش پیدا کرده و سبب کاهش افت سالیانه آب زیرزمینی نسبت به وضع موجود شده و لذا در مقایسه با ادامه وضع موجود، انرژی کمتری جهت استخراج آب از آبخوان نیاز خواهد بود.

از میان سناریوهای بررسی شده سناریوهای شماره ۱، ۴، ۷، ۲ و ۵ دارای مقادیر قابل توجه کاهش سطح آب زیرزمینی می باشند. همان گونه که قبلاً نیز بیان شد سناریوهای شماره ۱، ۴ و ۷ مربوط به عدم تغییر تعرفه انرژی و سناریو ۲ و ۵ مربوط به تغییر تعرفه انرژی به میزان افزایش ۵۰ درصد نسبت به قیمت فعلی می باشند. اعمال سناریوهای شماره ۳ و ۸ تقریباً سطح آب زیرزمینی دشت را در حالت فعلی حفظ خواهد نمود و سناریوهای شماره ۱۲، ۱۱، ۹ و ۶ می توانند علاوه بر توقف کاهش سطح آب زیرزمینی، سطح آب زیرزمینی را بهبود بخشند.

به نظر می رسد از میان سناریوهای بررسی شده تغییرات در تعرفه انرژی به میزان ۸۰ درصد و تعرفه آب سطحی به میزان ۵۰ درصد بیشترین تأثیر را بر سطح آب زیرزمینی

### تحلیل تغییرات سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر

#### تغییرات قیمت انرژی و آب:

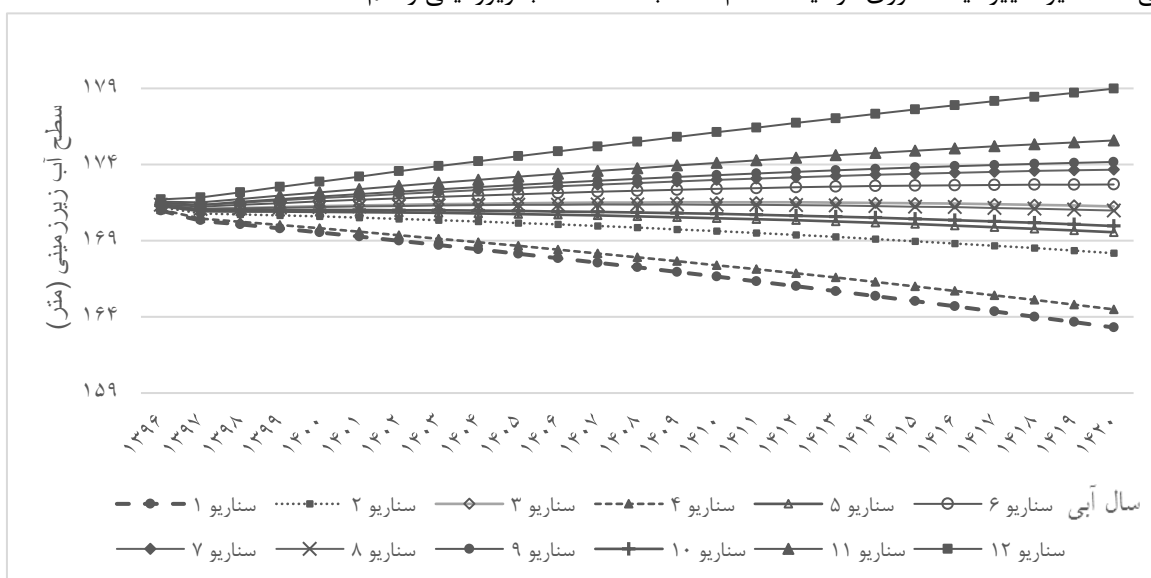
همان گونه که گفته شد تغییر تعرفه انرژی و آب بر هزینه آب و انرژی آب آبیاری تأثیر می گذارد و با تغییر هزینه آب و انرژی آب آبیاری، تقاضای آب کشاورزی نیز تغییر کرده که تغییر در برداشت از منابع آب زیرزمینی را به دنبال دارد و در نتیجه سطح سفره آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می دهد. در شکل (۴) اثرات تغییر قیمت آب و انرژی بر سطح آب زیرزمینی دشت مهران نشان داده شده است. همان طور که قبلاً هم بیان شد، علاوه بر سناریوی استمرار وضع موجود، ۱۱ سناریوی دیگر برای شبیه سازی افزایش تعرفه آب و انرژی منظور شده است. همان طور که از نمودار مشخص است ادامه وضع موجود سبب کاهش سطح آب زیرزمینی شده و آبخوان دشت را با مشکل جدی مواجه خواهد نمود. افزایش قیمت آب و انرژی سبب کاهش تقاضا و در نتیجه کاهش مصرف آب کشاورزی دشت شده و لذا می تواند سبب کاهش افت سالیانه سطح آب دشت گردد.

جهت بررسی دقیق تر اثرات سناریوهای مختلف تغییرات تعرفه آب و انرژی بر سطح آب زیرزمینی دشت در بلندمدت، مقادیر سطح آب در سال های ۱۳۹۶ و ۱۴۲۰ و نیز مقادیر تغییرات سطح آب در این بازه در جدول (۲) آمده است. همان طور که از جدول مشخص است، ادامه وضع موجود یا سناریوی



از منابع آب زیرزمینی، بیش از تغییر در قیمت خود آب یعنی اعمال حق النظاره می‌باشد. البته ذکر یک نکته نیز در اینجا ضروری است و آن اینکه افزایش تعرفه آب سطحی به دلیل کاهش تقاضای این آب و در نتیجه کاهش آب برگشتی حاصل از این آب، چه بسا ممکن است تأثیر منفی بر منابع آب زیرزمینی داشته باشد. و در صورت افزایش همزمان آن با افزایش حق النظاره آب زیرزمینی، حتی اثر کاهش برداشت از آب زیرزمینی را کم کند.

داشته باشند. در صورت وجود شرایط مناسب اجتماعی و اقتصادی جهت افزایش معنادار تعرفه انرژی و آب و اعمال حق النظاره، اعمال سناریوهای ۱۲، ۱۱ و ۹ مناسب‌ترین گزینه‌ها می‌باشد و در صورت عدم امکان چنین سناریوهایی لاقبل ناگزیر به افزایش قیمت تعرفه آب و انرژی و اعمال حق النظاره به میزان سناریوهای شماره ۳ و ۸ و تا حدودی ۱۰ و ۵ می‌باشد. در مجموع بررسی سناریوهای بیان شده تا حدودی نشان می‌دهد تأثیر تغییر قیمت انرژی در قیمت تمام شده آب



شکل (۴): پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت مهران در سناریوهای مختلف افزایش تعرفه آب و انرژی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۶ الی

۱۴۲۰

### نتیجه‌گیری

تعرفه انرژی بر تغییر حجم آبخوان و سطح آب زیرزمینی بیش از تغییر تعرفه آب می‌باشد.

همچنین نتایج نشان داد افزایش تعرفه آب و انرژی بر سطح آب زیرزمینی دشت تأثیرگذار بوده و می‌تواند باعث کاهش برداشت آب از سفره آب زیرزمینی گردد. نتایج اعمال سناریوهای مختلف نشان داد، افزایش تعرفه انرژی به میزان ۸۰ درصد تعرفه فعلی و افزایش تعرفه آب سطحی به میزان ۵۰ درصد قیمت فعلی و اعمال حق النظاره، دارای بیشترین تأثیر بر توقف کاهش سطح آب زیرزمینی و افزایش قابل توجه آن شود.

در این تحقیق اثرات افزایش تعرفه آب و انرژی بر سطح آب زیرزمینی دشت مهران مورد بررسی قرار گرفت. افزایش تعرفه آب و انرژی سبب افزایش هزینه آب و انرژی آب آبیاری شده و در نتیجه سبب کاهش تقاضای آب آبیاری می‌گردد. کاهش تقاضای آب آبیاری نیز موجب کاهش برداشت از آب زیرزمینی شده و سبب کاهش افت سطح آب زیرزمینی می‌گردد. البته تغییرات سطح آب زیرزمینی نیز باعث تغییر هزینه انرژی استخراج آب شده و لذا مجدداً بر تقاضای آب، برداشت آب زیرزمینی و سطح ایستایی اثر می‌گذارد. نتایج نشان داد اثر تغییر

جدول (۲): تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مهران در سال ۱۴۲۰ تحت تأثیر سناریوها مختلف افزایش قیمت آب و انرژی

سناریو	سطح آب زیرزمینی (متر) در پایان سال آبی ۱۳۹۵	سطح آب زیرزمینی (متر) در پایان سال آبی ۱۴۲۰	تغییرات سطح آب زیرزمینی (متر)
سناریو ۱	۱۷۱/۱	۱۶۳/۳	-۷/۸
سناریو ۲	۱۷۱/۱	۱۶۸/۲	-۲/۹
سناریو ۳	۱۷۱/۱	۱۷۱/۳	۰/۱
سناریو ۴	۱۷۱/۱	۱۶۴/۵	-۶/۶
سناریو ۵	۱۷۱/۱	۱۶۹/۶	-۱/۶
سناریو ۶	۱۷۱/۱	۱۷۲/۷	۱/۶
سناریو ۷	۱۷۱/۱	۱۶۵/۷	-۵/۴
سناریو ۸	۱۷۱/۱	۱۷۱/۰	-۰/۱
سناریو ۹	۱۷۱/۱	۱۷۴/۲	۳/۱
سناریو ۱۰	۱۷۱/۱	۱۷۰/۰	-۱/۱
سناریو ۱۱	۱۷۱/۱	۱۷۵/۶	۴/۵
سناریو ۱۲	۱۷۱/۱	۱۷۹/۰	۷/۹

## منابع

- بلالی، ح.، خلیلان، ص. و احمدیان، م. ۱۳۹۸. بررسی نقش قیمت گذاری آب در بخش کشاورزی بر تعادل منابع آب زیرزمینی. پژوهش‌های اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۴(۲): ۸۵ تا ۹۴.
- حسینی، س. و باقری، ع. ۱۳۹۱. مدل‌سازی پویایی سیستم منابع آب دشت مشهد برای تحلیل استراتژی‌های توسعه پایدار. آب و فاضلاب، ۴: ۲۸-۳۹.
- شجری، ش. و ترکمان، ج. ۱۳۸۶. تناسب شبیه‌سازی‌های تصمیم‌گیری چند معیاری به منظور بررسی تقاضای آب آبیاری (مطالعه موردی حوضه آبریز درودزن). اقتصاد کشاورزی، ۱(۳): ۳۳۱-۳۴۵.
- شرکت آب منطقه ای ایلام. ۱۳۹۲. گزارش توجیهی پیشنهاد تمدید ممنوعیت توسعه بهره برداری آبخوان دشت مهران. شرکت سهامی آب منطقه ای ایلام. ایلام. ۸۸ صفحه.
- 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 تحت فشار بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم. حفاظت منابع آب و خاک، ۳(۴): ۱-۱۵.
- موسسه راهبرد دانش. ۱۳۹۰. گزارش بررسی آثار هدفمند کردن یارانه‌ها بر بخش آب. موسسه پژوهشی راهبرد دانش پویا. تهران. فصل اول. بررسی مبانی و مفاهیم. ۴۵ صفحه.
- وزیری، آ.، وکیل پور، م. و مرتضوی، س. ۱۳۹۵. بررسی اثر قیمت گذاری اقتصادی آب آبیاری بر الگوی کشت در دشت دهگلان. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۸(۳) ۸۱-۱۰۰.



- Cobb, C. and Douglas, P. 1928. A theory of production. *The American Economic Review*, 18(1):139-165.
- 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.
- 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.
- Saysel, A.K., Barlas, Y. and Yenigünm 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.



## Evaluation of Groundwater Mehran Plain by system Dynamic Method under Different Scenarios of Energy Carriers Price Changes

Ebrahim Darvishi<sup>1</sup>, Abdorahim Hooshmand<sup>2</sup>, Hamzeali Alizadeh<sup>3</sup>, Zahra Izadpanah<sup>4</sup>

### Abstract

One of the most important tools for water demand management is water and energy tariff changes. The aim of this effort was to study the level of groundwater in Mehran plain using the system dynamics method under different scenarios of energy carriers price changing. the conceptual model was designed, dynamic hypotheses were explained and simulation was performed. After calibration and verifying the model, the research purpose was evaluated in terms of applying 12 scenarios combining energy tariff increases and water tariff increases. According to the results the effect of changing energy tariffs on changes in aquifer volume and groundwater level was more than the change of water tariff. The results also indicated that the increase of water and energy tariffs could reduce harvest from the groundwater, and in all scenarios an increase in energy tariffs of 80 percent of the current tariff and increasing the surface water tariff of 50 percent of the current price and Performance of the Right to Supervision would have the greatest impact on the stopping of the decline in groundwater levels and its significant increase

**Keywords:** Conceptual Model, Water and energy tariffs, Water demand, Water Table

1 - Ph.D Student of Irrigation and Drainage Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. [ndarvishy@gmail.com](mailto:ndarvishy@gmail.com)

2 - Associated Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. [hooshmand\\_a@scu.ac.ir](mailto:hooshmand_a@scu.ac.ir)

3 - Assistant Professor, Faculty of Agriculture Engineering, Ilam University, Iran. [Alizadeh.hamzeh@gmail.com](mailto:Alizadeh.hamzeh@gmail.com) Corresponding Author

4 - Assistant Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. [z.izadpanah@scu.ac.ir](mailto:z.izadpanah@scu.ac.ir)