هیدروژئولوژی، سال نهم، شماره ۱، تابستان ۱۴۰۳
Hydrogeology, Volume 9, No. 1, Summer 2024

تحلیل سناریوهای مختلف به‌کارگیری کنتور هوشمند حجمی برای افزایش اثربخشی طرح احیا و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل عامل‌بنیان در دشت قزوین

حمید رحمانی[۱]، علی صارمی[۲]*، شهاب عراقی نژاد[۳]، حسین بابازاده[۴]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: a-saremi@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۲۰

چکیده

منابع آب زیرزمینی ایران به‌دلیل برداشت بیش از حد و خشکسالی‌های متوالی سالیان اخیر و حفر چاه‌های غیرمجاز و نبود ساز و کار نظارتی قوی از شرایط مناسبی برخوردار نیست و در برخی مناطق از جمله دشت قزوین با بحران روبرو می‌باشد. یکی از مهم‌ترین عوامل برهم‌زننده تعادل آبخوان‌ها، برداشت مازاد بر میزان مجاز توسط چاه‌های مجاز می‌باشد. کنتور تنها ابزار مناسب برای پایش و کنترل برداشت آب از چاه‌ها است. با توجه به اینکه روش‌ها و راهکارهای مختلفی برای نصب کنتور وجود دارد در این مقاله سعی شده با استفاده از مدل عامل‌بنیان (ABM) بهترین سناریو برای نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌های آب تعیین شود. سناریوهای تعریف شده شامل خرید و نصب رایگان کنتور هوشمند حجمی با اعتبارات دولتی برای کلیه بهره‌برداران، خرید و نصب کنتور هوشمند حجمی با ارائه تسهیلات و خرید و نصب کنتور هوشمند حجمی به صورت نقدی توسط بهره‌بردار می‌باشد. با توجه به اینکه انواع مختلف چاه‌ها از نظر نوع کشت تحت شرب (پربازده و کم بازده بودن)، وضعیت مالکیت (تک مالکی یا چندمالکی) و نوع کنتور ولتمن (WI)، الکترومغناطیس (Em) و آلتراسونیک (As) در این پژوهش مورد بررسی قرارگرفته تعداد سناریوها که از تلفیق آن‌ها بوجود خواهد آمد بسیار بیشتر خواهد شد. این سناریوها با استفاده نرم‌افزار متلب مورد بررسی و تحلیل قرارگرفته است. نتایج نشان‌داد انتخاب نوع کنتور هوشمند حجمی باید با توجه به دسته‌بندی چاه‌ها براساس نوع مصرف، تعداد مالک، نوع کشت و اقتصادی یا غیراقتصادی بودن محصول صورت گیرد. همچنین چاه‌های صنعتی تمایل دارند، کنتور هوشمند حجمی Em را به‌صورت نقد خریداری و نصب نمایند. ولی در بخش کشاورزی بیشتر تمایل به خرید کنتور WI به‌دلیل ارزان‌تر بودن است. نصب کنتور بر روی چاه‌های منطقه موجب کاهش برداشت شده و شیب افت هیدروگراف دشت اندکی کاهش یافته شده است. پیش‌بینی می‌شود ادامه این روند به بهبود وضعیت آبخوان کمک مؤثری نماید.

کلمات کلیدی: آبخوان، دشت قزوین، کنتور آب، طرح احیاء و تعادل بخشی، مدل عامل‌بنیان، منابع آب زیرزمینی.

مقدمه

منابع آب زیرزمینی به‌عنوان منبع استراتژیک محسوب می‌شوند. به‌دلیل بروز خشکسالی‌های اخیر تمرکز بهره‌برداری بر روی این منابع بوده و منجر به افت مداوم سطح ایستابی و کاهش حجم مخازن آب زیرزمینی شده است. این موضوع سبب شده علاوه بر افت سطح ایستابی، کاهش کیفیت آب زیرزمینی و هجوم جبهه‌های آب شور به ویژه در مناطق کویری و آبخوان‌های ساحلی، فرونشست زمین، ایجاد درز، ترک، فروچاله و آسیب به تاسیسات زیربنایی در دشت‌های مهم کشور، محدودیت شدید در تامین آب شرب و افزایش شدید هزینه‌های تولید و انتقال آب و خشک شدن تدریجی قنوات و چشمه‌ها و افزایش کف‌شکنی و جابجایی چاه‌ها را در پی خواهد داشت. اکثر محدوده‌های مطالعاتی کشور با چالش آب زیرزمینی روبروست و از ۶۰۹ حدود ۴۱۰ محدوده براساس ماده ۴ قانون توزیع عادلانه آب مصوب ۱۳۶۱ برای توسعه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی ممنوع شده است (گزارش شرکت مدیریت منابع آب ایران ، ۱۴۰۰). رشد روزافزون

جمعیت و گسترش فعالیت‌های انسانی، افزایش تقاضای آب را در پی دارد که موجب روی آوردن انسان‌ها به استفاده از منابع آب زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک می‌شود (کلانتری و همکاران، ۱۴۰۱).

در سال ۱۳۹۳ طرح احیا و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی مشتمل بر ۱۵ پروژه در جلسه پانزدهم شورای عالی آب ایران تصویب شد. گزارش شرکت مدیریت منابع آب ایران (۱۴۰۰) هدف از تصویب این طرح مدیریت آب زیرزمینی و جلوگیری از کسری مخزن سالانه و نیز جبران کسری مخزن درازمدت، حفاظت کمی و کیفی و افزایش بهره‌وری منابع آب و در نهایت به تعادل رساندن آبخوان‌های کشور است. باتوجه به اینکه یکی از عوامل مهم برهم‌زننده تعادل بین عوامل تغذیه‌کننده و تخلیه‌کننده آبخوان‌ها، برداشت مازاد بر میزان مجاز، توسط چاه‌های دارای پروانه بهره‌برداری است که اصطلاحاً اضافه برداشت نامیده می‌شود. یکی از مهمترین پروژه‌های طرح مذکور، پروژه نصب کنتور هوشمند حجمی است. کنتور تنها ابزار پایش و کنترل برداشت آب از چاه‌ها است. پروژه نصب و راه‌اندازی کنتورهای هوشمند در دشت قزوین از سال ۲۰۱۲ با هدف اندازه‌گیری حجم آب برداشت شده توسط بهره‌برداران از چاه‌های مجاز و جلوگیری از هرگونه برداشت غیرمجاز آغاز شده است.

با توجه به نقش کنتور در ایجاد تعادل آبخوان در این مقاله از بین ۱۵ پروژه طرح احیا و تعادل بخشی، با استفاده از مدل عامل‌بنیان، نحوه اجرای پروژه کنتور هوشمند حجمی در استان قزوین مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. اقدامات صورت گرفته در استان مذکور در راستای تجهیز چاه‌ها به کنتورهای هوشمند با تمرکز بر اطلاع‌رسانی، مذاکرات حضوری، صدور اخطاریه، عدم ارائه هرگونه خدمات به مالکین چاه‌های فاقد کنتور و قطع انشعاب برق شتاب بیشتری به خود گرفته و در مجموع تا سال ۱۴۰۰، تعداد ۳۳۲۸ دستگاه کنتور بر روی چاه‌های منطقه نصب شده است.

جدول ۱- تعداد کنتورهای منصوبه در استان قزوین. (گزارش شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰)

Table 1- The number of meters installed in Qazvin province. (Report of Iran Water Resources Management Company, 2021)

Row	Title	Year	Number
1	Water and electricity smart meter	Until the 2016	1507
2	Volumetric smart meter	Until the 2021	1402
3	Volumetric meter		419
	Total		3328

با توجه به اینکه پروژه نصب کنتور هوشمند حجمی مهمترین و تاثیرگذارترین پروژه بر وضعیت منابع آب زیرزمینی است، موفقیت در اجرای آن موفقیت در اجرای طرح احیا و تعادل بخشی را به همراه خواهد داشت و شکست آن به شکست طرح منجر خواهد شد. با عنایت به اینکه سه عامل مهم و اساسی در اجرای این پروژه موثر می‌باشند که عبارتند از دولت شامل وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی و مردم (کشاورزان) و محیط و شرایط فیزیکی و هیدروژئولوژیکی منطقه از نتایج عملکرد آن‌ها متاثر خواهد شد، مدل عامل‌بنیان روشی کارآمد و مفید برای حل مسئله و انتخاب بهترین سناریو برای رفع چالش‌های موجود و انجام پروژه می‌باشد که تاکنون برای این منظور به کار نرفته است و در این زمینه کاملاً نو می‌باشد.

رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان، ابزاری مناسب برای مدل‌سازی سیستم‌ها و پدیده‌های پیچیده است که در آن رفتار مردم یا نهادها حائز اهمیت می‌باشد. در این رویکرد مدل‌سازی، بازیگران (عامل‌ها) و رفتارهای آن‌ها در ارتباط با خود و محیط اطرافشان مدل‌سازی می‌شود و می‌توان با استفاده از آن، تاثیر رفتار بازیگران مختلف سیستم و تعامل متقابل آن‌ها با محیط اطرافشان را بر رفتار کلی سیستم سنجید. ویژگی‌های بالقوه رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان برای تسهیل فرآیند مشارکت و ارتقای کیفیت آن، موجب شده است که در سال‌های اخیر در بحث مدیریت منابع آب بسیار مورد توجه قرار بگیرد (Davidsson et al., 2007).

مدل‌های عامل‌بنیان (ABM) با استفاده از شبیه‌سازی پیامدهای رفتار افراد، کمک بزرگی را به رویکردهای تحلیلی معمولی برای بررسی مشکلات زیست محیطی می‌کنند (Jaxa-Rozen et al., 2019). چارچوب بصری برای مطالعه متغیرهای محیطی و اجتماعی ارائه دادند (Hare and Deadman, 2004). این مدل‌ها با قابلیت در نظر گرفتن دو بعد اجتماعی و اکولوژیکی یا در حقیقت کاربران و سیستم منابع آب، این امکان را می‌دهند تا بتوان با مسائل مدیریتی منابع آب با واقع‌بینی هرچه بیشتر برخورد کرد و در جهت پایدارسازی منابع آب گام برداشت. در مدل‌های عامل‌بنیان، مشارکت ذیمدخلان به‌عنوان یک عنصر حیاتی مطرح است (Voinov and Bousquet, 2010)

و بـــرای یـــادگیری اجتماعی و شناخت سیستم، در زمـــانی کـــه تعاملات بین افراد و اثـــرات آن‌ها بر روی سیستم مدنظر باشد، بسیار کارآمد و مناسب خواهد بود (Kelly et al., 2013). رویکرد پایین به بالا که توسط مدل عامل‌بنیان اعمال می‌شود، در بررسی سیستم‌های اجتماعی-زیست محیطی، اهمیت دارد (Terna, 1998; Ostrom, 2009) مدل از نوع محاسباتی بوده و برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود و از حوزه‌های تحقیقاتی هوش مصنوعی و اتومات‌های سلولی بیرون می‌آید(Moglia et al., 2018).

هرچند تعامل بین متغییرهای محیطی و اجتماعی در مدل عامل‌بنیان ممکن است بسیار ساده‌سازی شده باشد (Filatova et al., 2016). تعامل بین عامل‌ها معمولاً به زمان و متغیرهای محیطی و اجتماعی بستگی دارد (Scheffer et al., 2001). تکنیک‌های مدل‌سازی مبتنی بر عامل ABM رویکرد فرد محور دارند که در آن‌ها هر کاربر قوانین رفتاری خود را دارد هر کاربر می‌تواند رفتار خود را با توجه به اطلاعات دریافت شده از سایر کاربران و محیط تغییر دهد. علاوه بر این کاربران نیازی به اشتراک‌گذاری کامل اطلاعات با دیگران ندارند (Xiao et al., 2018). محدودیت مدل ABM این است که پیش‌بینی همیشه مشروط است، یعنی به شرایط مندرج در مدل بستگی دارد.

در حال حاضر رویکرد عامل‌بنیان به‌طور گسترده‌ای در شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده منابع آب استفاده می‌شود (Zechman, 2011; Bandini, 2009). سیستم‌های منابع آب معمولاً به‌عنوان یک سیستم پیچیده در نظر گرفته می‌شوند (Schlüter and Pahl-Wostl, 2009). در دو دهه گذشته مروری مختصر توسط Berglund, (2015) در مورد تقریباً ۳۰ مطالعه ABM در مورد برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب انجام شده است. همچنین برای سیاست‌گذاری و مدیریت تأمین و مصرف آب از جمله ارائه تخفیف‌های مالی برای تعویض تجهیزات آبی راندمان پایین با راندمان بالا، از روش‌های ABM برای ارزیابی پاسخ‌های کاربران در پکن استفاده شده است (Yuan, 2014; Kanta and Zechman, 2014; Chu et al., 2018). اثربخشی راهبردهای مبتنی بر حفاظت از منابع آب را با استفاده از روش‌های ABM بررسی کردند (Giacomoni et al., 2013). از ABM برای شبیه‌سازی رفتار مصرف آب در هر خانه استفاده نمود. مدل مبتنی بر عامل ABM به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری است که می‌تواند اقدامات حفاظتی از منابع آب را با سناریوها و فرضیات مختلف ارائه کند (Moglia et al., 2018). استفاده از رویکرد ABM در مدیریت منابع آب از یک دهه قبل آغاز شد و در تحلیل سیستم‌هایی طبیعی-انسانی به موضوعی محبوب تبدیل شده است (Berglund, Giuliani and Castelletti, 2018; 2015; Giuliani et al., 2015 Yang et Mulligan et al., 2009; Schlüter et al., 2009; Khan al., 2011; Zechman, 2009;).

به‌منظور افزایش ارزش افزوده استفاده از ABM در مدیریت زمین و آب، باید نظرسنجی‌ها به دقت طراحی شود (Van Oel et al., 2018). از مدل عامل‌بنیان برای پیش‌بینی تقاضای آب خانگی شهری در پکن در سال ۲۰۲۰ استفاده شده است (Yuan, 2014). همچنین از این مدل برای شبیه‌سازی دینامیک آب شهری استفاده شده است (Mashhadi, 2017). مدل ABM در موضوعات متنوعی از جمله باستان شناسی، علوم زیستی، اقتصاد، محیط زیست، تحلیل بازار برق، تجزیه و تحلیل مالی، علوم اجتماعی، سیستم‌های حمل و نقل و مدیریت آب مورد استفاده قرار گرفته است (Macal, 2001). اخیراً، مدل‌های ABM به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای توصیف فرآیندهای استفاده از نوآوری در زمینه انرژی و منابع الکترونیکی ارائه شده‌اند (Moglia et al., 2017; Rai and Henry, 2016) و به‌عنوان ابزاری رایج در جامعه علمی تبدیل شده است تا مشکلات سیستم طبیعی انسانی را برطرف سازد (Hyun et al., 2019).

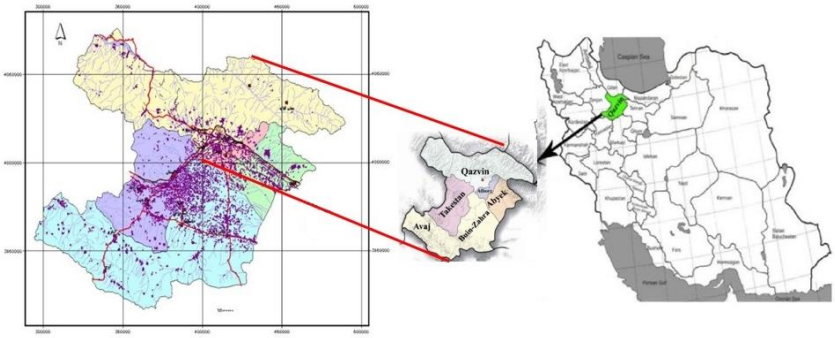
همان‌گونه که در نتیجه بررسی‌های به عمل آمده ذکر شده مدل عامل‌بنیان از قابلیت بالایی برای تحلیل وضع موجود و انتخاب بهترین سناریو از بین سناریوهای طرح شده برخوردار است. طرح احیاء و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی راهکار علاج‌بخشی وضعیت منابع آب زیرزمینی در ایران است و به منظور خروج از بحران و ارائه راهکارهای موثر و عملیاتی برای حل چالش آب زیرزمینی به کارگرفته شده است. این طرح شامل ۱۵ پروژه است که مهمترین آن نصب کنتور بر روی چاه‌های بهره‌برداری آب است. در صورت موفقیت این پروژه می‌توان به موفقیت طرح احیا امیدوار بود و در غیراینصورت نتیجه کار با ابهام همراه است. مدل عامل‌بنیان روشی نوین برای حل مسئله‌ی نحوه اجرای این پروژه در کشور است و تاکنون برای اجرای یک پروژه که نقش نهادهای دولتی و مردم در آن به این شکل پر رنگ بوده و علی رغم ضرورت سرمایه‌گذاری توسط مردم در کوتاه مدت منافعی برای آن‌ها

ندارد به‌کارگرفته نشده است و این روش کاملا نوآورانه بوده و به رفع پیچیدگی‌های موجود کمک خواهد کرد.

محدوده مطالعاتی قزوین

منطقه مورد مطالعه محدوده مطالعاتی قزوین با مساحت ۷۳۴۷ کیلومترمربع در موقعیت طول جغرافیایی ´۰۸ و °۴۹ تا ´۴۱ و °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ´۱۹ و °۳۵ تا ´۳۰ و °۳۶ شمالی در استان قزوین واقع شده است. شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی قزوین را نشان می‌دهد. میانگین بارندگی آن دشت (mm) ۳۱۷ بوده است. میزان حجم برداشت از منابع آب زیرزمینی که از تعداد ۸۴۷۱ چاه آب صورت می‌گیرد، (m^3/yr) ۱/۱۰۹×۷۴ (۱/۷۴ میلیارد مترمکعب در سال) بوده که ۹۵ درصد آن از طریق چاه‌های کشاورزی است. در جدول ۲ وضعیت چاه‌های آب در آن دشت به تفکیک مجاز و غیرمجاز آورده شده است. با توجه به محدودیت منابع آب سطحی و فصلی بودن این منابع در دشت قزوین بخش عمده آب آبیاری از منابع زیرزمینی استحصال می‌شود (میرهاشمی و همکاران، ۱۳۹۶).

میانگین کسری حجم سالانه و حجم کسری تجمعی دشت مذکور از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۹ به ترتیب (۰/۳۲ میلیارد مترمکعب در سال) و (۸/۱ میلیارد مترمکعب در سال) است. هیدروگراف دشت قزوین در شکل ۲ نشان داده شده است. همانگونه که در این هیدروگراف دیده می‌شود، سطح ایستابی آبخوان قزوین از سال ۱۹۹۵ تا سال ۲۰۱۹ به مقدار ۳۱ متر افت نموده است که به طور متوسط سالانه حدود ۱ متر افت روی داده است. همانگونه که در این نمودار دیده می‌شود روند فعلی نصب کنتور که از سال ۲۰۱۵ شروع شده اثر مشهودی بر بهبود وضعیت افت سطح ایستابی نداشته و ضروری است نسبت به رفع وضع موجود اقدام گردد.



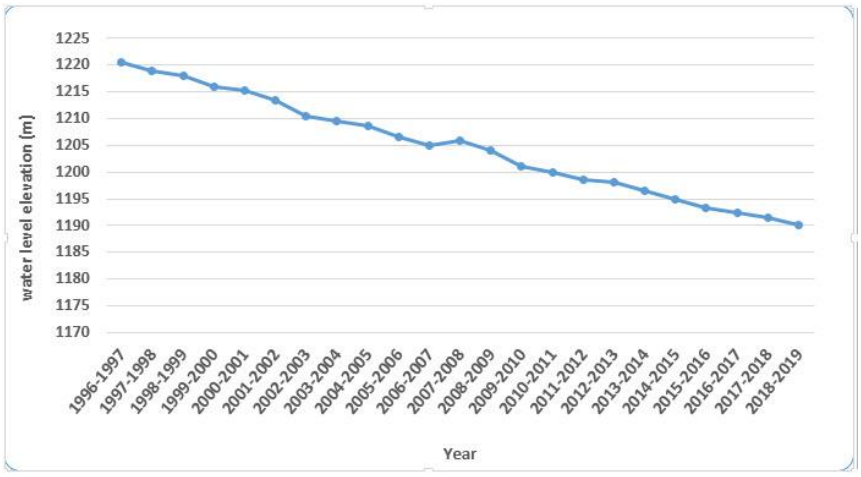
شکل ۱ – نقشه موقعیت محدوده مطالعاتی قزوین.

Figure 1- Location map of Qazvin study area.

جدول ۲ – وضعیت چاه‌های بهره‌برداری دشت قزوین (گزارش شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰).

Table 2 - The status of exploitation wells in Qazvin Plain. (Report of Iran Water Resources Management Company, 2021).

Total		Industry and services		Drink		Agricultuer		Type of use
Discharge (mcm)	Number	Discharge (mcm)	Number	Discharge (mcm)	Number	Discharge (mcm)	Number	
1210.6	5392	93.2	2231	134	490	983.37	2671	Authorized
529.15	3079	6.68	149	7.92	40	514.55	2890	Unauthorized
1739.7	8471	99.88	2380	141.92	530	1497.92	5561	Total



شکل ۲ – هیدروگراف دشت قزوین (گزارش شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۰).

Figure 2 - Qazvin plain hydrograph (Report of Iran Water Resources Management Company, 1400).

جدول ۳ – دسته‌بندی چاه‌های دشت قزوین براساس دبی.

Table 3 - Classification of Qazvin plain wells based on flow rate.

No. of multiple owner wells	No. of single owner wells	Percent of discharge	Total discharge (mcm)	Percent of No.	Number	Discharge	Row
927	720	74	726.7	56.5	1447	> 10	1
175	118	16	155.7	16	413	5 -10	2
144	481	10	100.8	27.5	705	< 5	3
1246	1318	100	983.2	100	2565	Total	

مواد و روش‌ها

مدل‌های عامل‌بنیان ابزاری قدرتمند برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده می‌باشند (Levin et al., 2013). استفاده از رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان، امکان در نظر گرفتن دو بخش کلی اجتماعی و اکولوژیکی و نیز تأثیرات متقابل آن‌ها بر یکدیگر را فراهم می‌سازد. بخش اجتماعی در این رویکرد شامل کلیه کاربران و یا به عبارت دیگر بازیگرانی است که از سیستم تأثیر می‌پذیرند و متقابلا بر آن تأثیر می‌گذارند. از نقاط قوت رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان این است که ضمن در نظر گرفتن بعد اجتماعی در مدل، این امکان را فراهم می‌سازد که مدل‌سازی رفتار عامل‌ها با در نظر گرفتن ابعادی همچون یادگیری، تعامل با یکدیگر، تنوع در رفتارها و ... انجام گیرد. بخش اکولوژیکی در مدل‌های عامل‌بنیان، شامل تمام زیرمدل‌هایی است که منابع آب و سیستم‌های مرتبط با منابع آب را تشکیل می‌دهند. در این رویکرد مدل‌سازی، هیچ محدودیتی برای تعریف بخش اجتماعی و اکولوژیکی و ارتباطات بین آن‌ها وجود ندارد و تنها کاستی در داده‌ها و اطلاعات میدانی است که می‌تواند در مدل محدودیت ایجاد کند. بزرگترین نقطه قوت این رویکرد مدل‌سازی، در نظر گرفتن بخش اجتماعی در مدل، همپای بخش اکولوژیکی و همینطور لحاظ نمودن ارتباطات و تأثیرات متقابل آن‌ها است (lotfi and araghinegad, 2017). در واقع ایده اصلی این رویکرد مدل‌سازی، نزدیک‌کردن هر چه بیشتر مدل به شرایط واقعی مساله و در نتیجه حصول نتایج واقع بنیانه‌تر از مدل است. به همین دلیل استفاده از رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان در زمینه مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده و به خصوص سیستم‌های پیچیده منابع آب در سال‌های اخیر افزایش قابل توجهی داشته است (Berglund, 2015). علاوه براین، عامل‌ها با محیط خود نیز تعامل دارند (North and MacAl, 2010). در نتیجه افراد، سازمان‌ها و محیط فعالیت آن‌ها را می‌توان به صورت سیستم‌های چندعامله (MAS) نمایش داد.

روش تجزیه و تحلیل

استفاده از رویکرد عامل‌بنیان برای مدل‌سازی سیستم‌های مختلف، به خصوص سیستم‌های پیچیده اجتماعی- اکولوژیکی منابع آب، در حال افزایش است. از آنجایی که بخش کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده منابع آب سطحی و زیرزمینی است، در مقالات توجه زیادی به مجموعه کشاورزان و برداشت آن‌ها از منابع آب شده است. سیاست‌های قابل اتخاذ در سیستم‌های منابع آب را می‌توان به سه دسته مختلف تقسیم کرد (Feuillette et al., 2003). دسته اول، ابزارهای فنی برای کنترل مصرف آب است. استفاده و یا گسترش استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای (Feuillette et

al., 2003) و نیز نصب کنتور بر روی چاه‌های کشاورزی و بکارگیری آن‌ها از سیاست‌هایی است که در این دسته قرار می‌گیرد. در دسته دوم ابزارهای اقتصادی قرار دارد. قیمت‌گذاری آب، مالیات، جریمه برداشت و بازار آب از جمله سیاست‌ها در این دسته هستند (Mulligan et al., 2014) و در نهایت در دسته آخر، سیاست‌های غیراقتصادی قرار دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به قواعد دسترسی به آب، سهمیه‌بندی آب و آموزش بهره‌برداران اشاره کرد (Mulligan, et al., 2014; Castilla-Rho et al., 2015; van Oel et al., 2010 Berger et al., 2007).

گاهی ویژگی‌ها و رفتارهای بهره‌برداران منابع آب به گونه‌ای است که برخی سیاست‌ها، انتظارات آن‌ها را برآورده نخواهند کرد و در نتیجه سیاست نه تنها به پایداری منابع کمکی نمی‌کند، بلکه ممکن است منجر به زوال و نابودی منابع آب شود. در حالی که می‌توان با استفاده از مدل‌های عامل‌بنیان، با واقع بینی بیشتر و بر اساس شرایط منطقه مطالعاتی، سیاست‌های برتر را در زمینه مدیریت سیستم‌های منابع آب شناسایی کرد. برای مثال Feuillette et al., (2003) با استفاده از مدل عامل‌بنیان توسعه داده شده خود به این نتیجه رسیدند که شرایط منطقه مطالعاتی به گونه‌ای است که نه تنها دادن یارانه به کشاورزان برای تغییر سیستم آبیاری موجب کاهش برداشت از منابع آب نمی‌شود، بلکه زمینه را برای تحت کشت بردن اراضی بیشتر و در نتیجه بهره‌برداری بیشتر آن‌ها از منابع آب فراهم می‌آورد. به جرأت می‌توان گفت که چالش برانگیزترین بخش مدل‌های عامل‌بنیان، بخش طراحی رفتار عامل‌هاست. بی‌شک، بهترین نوع صحت‌سنجی و اعتبارسنجی ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی می‌تواند باشد (lotfi and araghinegad, 2017).

رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان به‌عنوان یکی از ابزارهای ارتقای کیفیت مشارکت ذیمدخلان در فرآیند مدیریت و سیاستگذاری سیستم‌های منابع آب معرفی و مزایا، قابلیت‌ها و کاربردهای این رویکرد مدل‌سازی برای تسهیل فرآیند مشارکت ذیمدخلان بحث و در نهایت جمع‌بندی و پیشنهادات برای استفاده از این رویکرد، ارائه شده است.

رابطه بین درآمد کشاورزان باغی و زراعی و آب تحویلی را می‌توان به صورت زیر بیان نمود.

$$I_T = \frac{b_t - c_t}{A} \quad (۱)$$

$$c_w = 0$$

$$C_t = c_f + c_i + c_p \quad (۲)$$

I_t = درآمد خالص کشاورز در هر هکتار

b_t = سود حاصل از فروش محصولات کشاورزی

C_t = هزینه تولید محصول

c_f = هزینه سوخت یا برق

c_i =هزینه نهادهای کشاورزی نظیر سم و کود

c_p = هزینه پرسنلی

c_w = هزینه آب بهاء کشاورزی

(A) = مساحت اراضی تحت کشت بر حسب هکتار

کنتورهای مورد استفاده برای چاه‌های کشاورزی اصولا به سه نوع تقسیم می‌شوند:

- کنتور الکترومغناطیس (Em) –قیمت، دقت و هزینه نصب بالا و استحکام بیشتر
- کنتور ولتمن پروانه دار (WI) –قیمت، دقت و هزینه نصب پایین تر از الکترومغناطیس و استحکام کمتر از کنتورهای Em
- کنتور التراسونیک (Us) – دقت بالا، هزینه نصب پایین، دقت مناسب و استحکام کم در شرایط صحرایی

بین قیمت این سه نوع کنتور به صورت تقریبی رابطه زیر برقرار است:

$$P_{Em} = P_{Us} \quad (۳)$$

$$P_{Em} = 1.3P_{Wi} \quad (۴)$$

P_{Em}= قیمت کنتور الکترومغناطیس

P_{Us}= قیمت کنتور آلتراسونیک

P_{Wi}= قیمت کنتور پروانه دار

اقدامات اصلی مورد نیاز برای اجرای طرح

با احصاء المان‌های اصلی و تأثیرگذار در مدیریت طرح احیاء و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی نسبت به اولویت‌بندی پروژه‌ها و فعالیت‌ها بر مبنای شاخص‌های آسیب‌پذیری استان‌ها و تنش آبخوان هر محدوده تعیین گردید. مبنای اصلی "شاخص تنش آبخوان"، افت سالانه تراز آب در سفره‌های آب زیرزمینی است. هر چه میزان آسیب‌دیدگی آبخوان بیشتر باشد شاخص تنش آبخوان بیشتر است.

براساس شاخص تنش آبخوان ۱۳۸ محدوده از ۶۰۹ محدوده به‌عنوان محدوده‌های فاقد پتانسیل و یا فاقد ارزش آب زیرزمینی، ۳۰ محدوده به‌عنوان محدوده‌های بدون تنش و فاقد افت (با سهم ۲ درصد کل برداشت از آب‌های زیرزمینی کشور)، ۱۳۲ محدوده به‌عنوان محدوده‌های دارای افت کمتر از ۰/۳ متر (با سهم ۱۷ درصد کل برداشت)، ۹۶ محدوده به‌عنوان

محدوده‌های دارای افت بین ۰/۳ متر تا ۰/۶ متر (با سهم ۱۶ درصد کل برداشت)، ۱۱۱ محدوده به‌عنوان محدوده‌های دارای افت بین ۰/۶ متر تا ۱ متر (با سهم ۲۵ درصد کل برداشت) و ۱۰۲ محدوده به‌عنوان محدوده‌های دارای افت بیش از ۱ متر (با سهم ۴۰ درصد کل برداشت) شناسایی گردید. محدوده مطالعاتی قزوین به‌عنوان محدوده پرتنش با افت بیش از ۱ متر طبقه‌بندی می‌شود.

اصولا به دلیل برداشت آب زیرزمینی توسط چاه‌های غیرمجاز و نیز اضافه برداشت چاه‌های مجاز تعادل آبخوان‌ها به هم می‌خورد و منجر به منفی‌شدن بیلان سالانه آن و به تبع آن افت مداوم سطح ایستابی می‌گردد. برای جلوگیری از بروز اثرات منفی فوق لازم است کلیه چاه‌های غیرمجاز حفر شده در دشت‌ها پر شوند و برای کنترل اضافه برداشت از چاه‌های مجاز نیز آن‌ها را به کنتور مناسب برای اندازه‌گیری و کنترل برداشت مجهز نمود. با توجه به اینکه در دشت قزوین ۹۲ درصد از منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد در این تحقیق صرفا نصب کنتور بر روی چاه‌های کشاورزی مد نظر قرار گرفته است. مصارف شرب نیز ۶ درصد و صنعت ۲ درصد از بهره‌برداری آب زیرزمینی را شامل می‌شود. با توجه به ضرورت تامین آب شرب اصولا برنامه‌ای برای محدودیت برداشت از منابع آب زیرزمینی برای این مصارف وجود ندارد در عین حال دولت تلاش خود را برای مدیریت مصرف و فرهنگ‌سازی برای مردم به منظور مصرف کمتر آب در بخش خانگی به عمل می‌آورد. سهم صنعت نیز ۲ درصد بوده که به دلیل ناچیز بودن آن در این تحقیق از آن صرف نظر شده است. عوامل اصلی در اجرای پروژه نصب کنتور هوشمند آب، عبارتند از: کشاورزان، وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی. براساس بررسی‌های به عمل آمده و اطلاعات جمع‌آوری شده در قالب پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط کشاورزان، مطلعین و مسئولین محلی، گزارش‌های تهیه شده از منطقه توسط شرکت‌های مهندسین مشاور و اطلاعات و آمار جمع‌آوری شده از شرکت آب منطقه‌ای قزوین و نیز شرکت مدیریت منابع آب ایران و وزارت نیرو و نیز مذاکرات به عمل آمده با کارشناسان وزارت جهاد کشاورزی به طور کلی دیدگاه و عوامل فوق براساس روش BDI بررسی و تجزیه و تحلیل شده است.

کشاورز

بخش کشاورزی از مصرف‌کننده‌های اصلی منابع آب به شمار می‌رود به نحوی که ۹۵ درصد از مصارف منابع آب سطحی و زیرزمینی را به خود اختصاص داده است. احمدی و رمضانی (۱۴۰۱) کشاورزان تمایل دارند حداکثر بهره‌برداری ممکن را از منابع آب به عمل آورند و حداکثر درآمد ممکن را از زمین کشاورزی خود داشته باشند. به همین دلیل در مقابل نصب کنتور و محدودیت برداشت آب مقاومت می‌کنند. تمایل به پرداخت هزینه برای خرید و نصب کنتور ندارند. با توجه به اینکه کنتور را عامل محدود کننده می‌دانند سعی در تخریب و دستکاری آن به نحوی که اندازه‌گیری مختل گردد را دارند. در صورتی از کنتور مراقبت خواهند کرد که هزینه آن را پرداخت نموده باشد. کشاورزانی که به درستی توجیه شده‌اند و فرهنگ‌سازی و اطلاع‌رسانی مناسب انجام شده است مقاومت کمتری در مقابل نصب کنتور دارند و مشارکت بالایی دارند. تمایل به خرید کنتور با تسهیلات ارزان قیمت و کم بهره دارند ولی برای اخذ تسهیلات تمایلی برای ارائه تضمین و یا ضامن ندارند.

وزارت نیرو

وزارت نیرو که مدیریت منابع آب را در کشور برعهده دارد و مدیریت آن توسط شرکت آب منطقه‌ای استانی اعمال می‌گردد، کشاورزانی که برای تمدید پروانه یا دریافت خدمات نظیر مجوز کف‌شکنی یا جابجایی دریافت سهمیه سوخت و استفاده از برق با تعرفه کشاورزی و سایر خدمات به این شرکت‌ها مراجعه می‌کنند ملزم به نصب کنتور هوشمند حجمی می‌باشند. همچنین برق چاه‌های کشاورزی که کنتور نصب نکرده‌اند قطع می‌شود. وزارت نیرو وظیفه دارد مشخصات فنی کنتورهای هوشمند حجمی را تعیین و به شرکت‌های تولیدکننده کنتور مجاز تاییدیه بدهد. وزارت نیرو اعتقاد دارد مهمترین راه حل مدیریت برداشت از منابع آب زیرزمینی نصب کنتور هوشمند است. همچنین معتقد است کشاورزان تمایلی برای نصب کنتور با هزینه شخصی ندارند و کنتور را عاملی محدودکننده و مزاحم تلقی کرده و سعی در تخریب آن دارند.

وزارت جهاد کشاورزی

ارائه خدمات و نهاده‌های کشاورزی به کشاورزان برعهده وزارت جهاد کشاورزی است. این وزارتخانه می‌تواند به کسانی که کنتور نصب نکرده‌اند خدمات ارائه نکند. همچنین با توجه

به اینکه ۸۵ درصد هزینه اجرای پروژه‌های آبیاری نوین به صورت رایگان توسط وزارت یادشده تامین می‌شود وزارت جهاد می‌تواند هزینه خرید و نصب کنتور را به‌عنوان سهم کشاورز در اجرای پروژه‌های فوق لحاظ نماید و کشاورزان را مجبور به این کار کند و یا اینکه هزینه خرید و نصب کنتور را از محل کمک بلاعوض طرح آبیاری نوین (تحت فشار) تامین نماید. وزارت جهاد کشاورزی نصب کنتور را در تعارض با وظیفه اصلی خویش که افزایش تولید است می‌داند و تمایلی به حمایت از آن ندارد. این وزارت تمایل دارد به کلیه کشاورزانی که متقاضی نصب کنتور هستند تسهیلات پرداخت شود و بانک عامل همکاری لازم را برای ارائه تسهیلات به کشاورزان به عمل آورد.

سناریوهای تدوین‌شده:

۱- خرید و نصب رایگان کنتور هوشمند حجمی با اعتبارات دولتی برای کلیه کشاورزان (Water Meter Scenario1 -WMS1)

۲- خرید و نصب کنتور هوشمند حجمی با ارائه تسهیلات به کشاورزان (Water Meter Scenario2-WMS2)

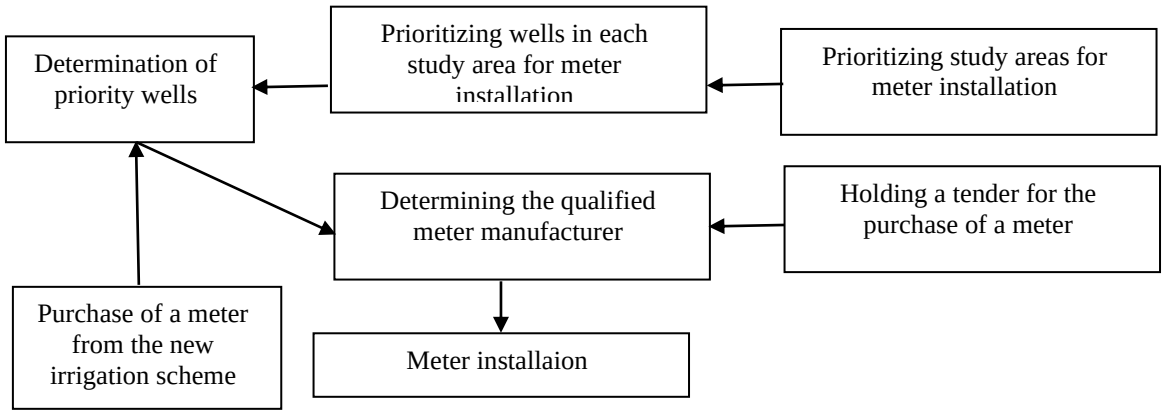
۳- خرید و نصب کنتور هوشمند حجمی به صورت نقدی توسط کشاورزان (Water Meter Scenario3-WMS3)

از طرفی سیاست‌های در نظر گرفته‌شده برای نصب کنتور هوشمند حجمی در منطقه قزوین به قرار زیر است:

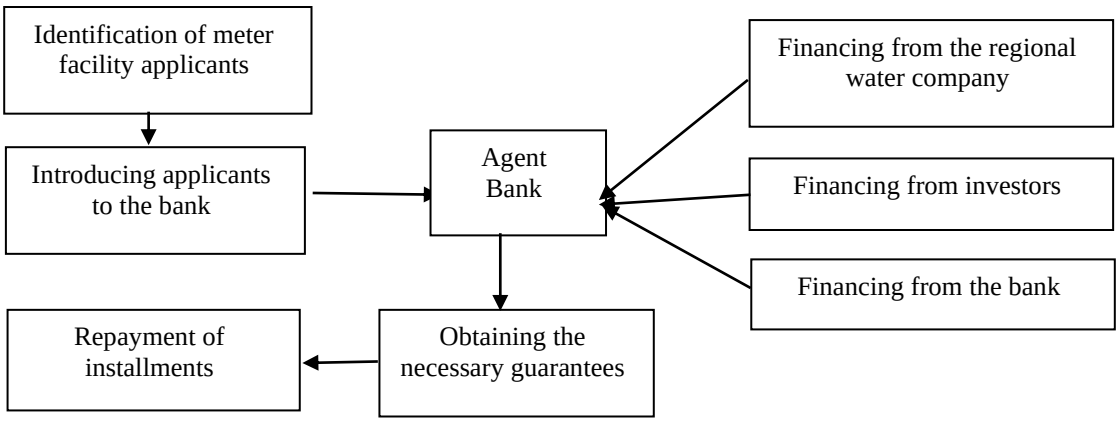
- کاهش ۲۰ درصدی قیمت کنتور برای کسانی که داوطلبانه اقدام به خرید و نصب کنتور می‌نمایند.
- افزایش ۲۰ درصدی قیمت کنتور برای کسانی که با استفاده از تسهیلات اقدام به نصب کنتور می‌نمایند.
- فروش کنتور به قیمت مصوب (بدون افزایش و یا کاهش) برای دریافت‌کنندگان خدمات از وزارت نیرو یا وزارت جهاد کشاورزی که ملزم به نصب کنتور می‌شوند.

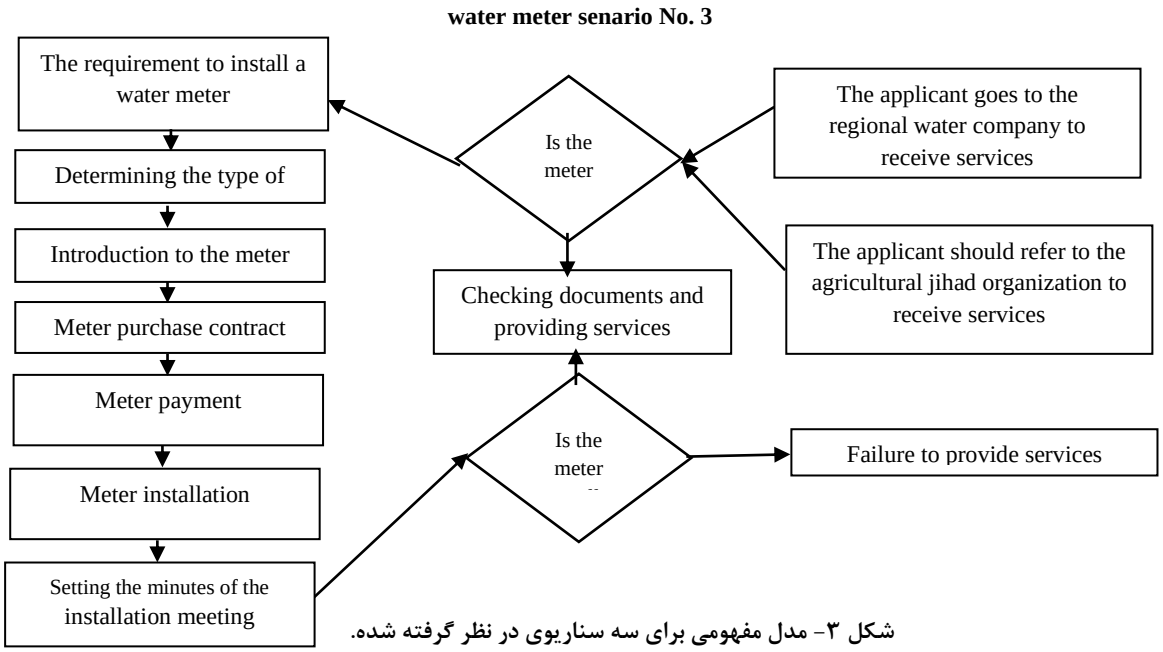
براساس هریک از سناریوها مدل مفهومی تصمیم‌گیری تهیه گردیده است، (شکل ۳) که با استفاده از نرم‌افزار متلب نسبت به انتخاب بهترین سناریو و سیاست بهینه و موثر برای اجرای پروژه نصب کنتور در دشت قزوین اقدام شده است.

water meter senario No. 1



water meter senario No. 2





شکل ۳- مدل مفهومی برای سه سناریوی در نظر گرفته شده.

Figure 3- Conceptual model for the three considered scenarios.

نتایج و بحث

در محدود دشت قزوین تعداد ۲۵۶۵ حلقه چاه کشاورزی وجود دارد که تعداد ۱۳۱۹ دارای یک مالک و ۱۲۴۶ دارای خرده مالک می‌باشند. عمده محصولات که در این منطقه کشت می‌شود گندم، ذرت و سایر محصولات است و سهم هر محصول به ترتیب حدود ۴۰، ۲۵ و ۳۵ درصد است. در مجموع این تعداد چاه بالغ بر ۹۸۳/۲ میلیون مترمکعب در سال از آب زیرزمینی منطقه برداشت می‌کنند. با عنایت به نقش کنتور هوشمند حجمی در کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی و ضرورت نصب آن سناریوهایی برای این منظور تعیین گردیده و با بررسی نقاط ضعف و قوت هریک از این سناریوها و فرصت‌ها و تهدیدهایی که در اثر اجرای آن‌ها بوجود خواهد آمد با استفاده از مدل عامل‌بنیان سعی شده بهترین سناریو برای این منظور تعیین شود که در ادامه به معرفی و بررسی هریک از این سناریوها خواهیم پرداخت.

با توجه مساحت زیرکشت، نوع چاه و یا بهره‌برداری مجاز یا غیرمجاز، نوع آبیاری تحت فشار یا سنتی و نوع مصرف آب کشاورزان دشت قزوین به چهار گروه تقسیم شدند که عبارتند از:

گروه اول: مالکین چاه‌های مجازی که نسبت به توسعه سطح زیر کشت خود اقدام کرده‌اند و با اضافه برداشت از چاه مجاز و یا حفر یک یا چند چاه غیرمجاز اراضی مذکور را آبیاری می‌کنند.

گروه دوم: کشاورزانی که چاه مجاز موجود در مزرعه آنان با کاهش آبدهی مواجه شده و برای آبدهی کل مزرعه نسبت به افزایش ساعت برداشت و به تبع آن اضافه برداشت و یا حفر چاه غیرمجاز اقدام کرده‌اند.

گروه سوم: کشاورزانی که اقدام به اجرای آبیاری تحت فشار نموده‌اند و با توجه به کاهش هیدرومدول آبیاری اقدام به توسعه سطح زیر کشت می‌کنند.

گروه چهارم: مالکین چاه‌های کشاورزی که با اضافه برداشت از چاه مجاز خود اقدام به آب فروشی می‌کنند.

انسداد چاه‌های غیرمجاز و نصب کنتور بر روی چاه‌های مجاز و جلوگیری از اضافه برداشت آن‌ها موجب کاهش درآمد سالانه کشاورزان گروه ۱ و ۲ خواهد شد ولی با این وجود همچنان قادر خواهند بود بخشی از اراضی تحت مالکیت خود را با استفاده از آبدهی مجاز چاه‌های دارای پروانه بهره‌برداری زیر کشت ببرند.

کشاورزان گروه سوم با توجه به افزایش راندمان آبیاری حجم آب اولیه بیش از نیاز اراضی فعلی بوده و تمایل به توسعه سطح زیرکشت دارند در حالیکه به دلیل حذف آب برگشتی کشاورزی باید حداقل ۳۰ درصد از تخلیه آن‌ها کاهش یابد تا تاثیر منفی بر بیلان منطقه نداشته باشند. جلوگیری از اضافه برداشت چاه‌های کشاورزان این گروه منجر به ثابت ماندن اراضی زیر کشت می‌شود ولی با توجه به راندمان بالاتر آبیاری تحت فشار محصول افزایش یافته و سود کشاورز بیشتر خواهد شد.

کشاورزان گروه سوم می‌توانند طبق قانون از محل صرفه‌جویی ایجاد شده در مصرف آب اقدام به استفاده از آب برای مصارف صنعتی جانبی کشاورزی مثل پرورش مرغ، دامداری، احداث گلخانه و غیره نمایند. این کشاورزان اصطلاحا "چند معیشتی" نامیده می‌شوند. کشاورزان گروه چهارم علاوه بر زیرکشت بردن اراضی آبخور اولیه نسبت به فروش آب به سایر کشاورزان و یا متقاضیان سایر مصارف می‌نمایند. این کار از نظر قانونی جرم محسوب شده و پیگرد قانونی دارد. در صورت حذف اضافه برداشت این چاه‌ها عملا درآمد اصلی و اولیه این کشاورزان تغییر نمی‌کند و تنها از بهره‌برداری غیرقانونی آن‌ها جلوگیری خواهد شد. با توجه به اینکه عامل اصلی عدم تعادل آبخوان دشت قزوین اضافه برداشت چاه‌های مجاز کشاورزی از منابع آب زیرزمینی است، کنترل بهره‌برداری از این چاه‌ها در اولویت می‌باشد. چاه‌های موجودر در دشت قزوین را براساس دبی تخلیه آن‌ها می‌توان به سه گروه زیر تقسیم کرد:

- تخلیه چاه با دبی بیش از ۱۰ لیتر بر ثانیه
- تخلیه چاه با دبی ۱۰-۵ لیتر بر ثانیه
- تخلیه چاه با دبی کمتر از ۵ لیتر بر ثانیه

گروه اول - تعداد ۱۴۴۷ چاه کشاورزی در دشت قزوین در این گروه قرارداشته و در مجموع ۷۲۶/۷ میلیون مترمکعب از آبخوان منطقه برداشت می‌کنند.

گروه دوم - تعداد ۴۱۳ حلقه از چاه‌های منطقه با تخلیه سالانه معادل ۱۵۵/۷ میلیون مترمکعب در این گروه قراردارند.

گروه سوم - تعداد ۷۰۵ حلقه از چاه‌های منطقه با تخلیه سالانه معادل ۱۰۰/۸ میلیون مترمکعب در این گروه هستند.

وضعیت هریک از این سه گروه از نظر تعداد و تخلیه در جدول ۴ آورده شده است

از طرفی :

گروه اول براساس آمار اعلام شده توسط شرکت مدیریت منابع آب ایران بیشترین اضافه برداشت را از منابع آب زیرزمینی دارد و ۷۴ درصد اضافه برداشت از آبخوان منطقه توسط این گروه از چاه‌ها صورت می‌گیرد. در نتیجه لازم است حجم بهره‌برداری از این چاه‌ها به دقت اندازه‌گیری شده و به روش مناسب کنترل گردد.

گروه دوم حدود ۱۶ درصد از اضافه برداشت چاه‌های کشاورزی را منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد. از این رو کنترل برداشت بدون نیاز به تجهیزات قطع جریان ترجیح داده می‌شود.

گروه سوم حدود ۱۰ درصد از اضافه برداشت چاه‌های کشاورزی را در محدوده آبخوان دشت قزوین را ایجاد می‌کند. با توجه به محدودیت برداشت از این چاه‌ها و توان مالی محدود مالکین آن‌ها اندازه‌گیری حجم تخلیه با ساده‌ترین ابزار و مدیریت برداشت این چاه‌ها بدون نیاز به تجهیزات اضافی مورد نظر است. در هریک از گروه‌ها نحوه برخورد با کشاورزان زراعی و باغی متفاوت خواهد بود. رابطه منطقی بین درآمد کشاورزان و قیمت کنتور باید لحاظ گردد.

برداشت غیرمجاز توسط چاه‌های پروانه‌دار از آبخوان منطقه بالغ بر ۷۳/۲۵ میلیون مترمکعب است که سهیم هریک از گروه‌های چاه‌های کشاورزی در جدول زیر خلاصه شده است.

جدول ۴ – سهیم هریک از دسته چاه‌های دشت قزوین از حجم اضافه برداشت.

Table 4 - The share of each group of wells in the Qazvin Plain from the volume of overharvest.

Percent of multiple owner wells	Percent of single owner wells	Percent	Annual overdraft volume (mcm)	Number	Discharge	Row
62	38	54.3	39.75	250	> 10	1
59	41	18.3	13/4	63	5 -10	2
33	67	27.4	20.1	172	< 5	3
51	49	100	73.25	485	Total	

چاه‌های موجود در هریک از گروه‌های فوق به دو گروه تک مالکی و دارای خرده مالک تقسیم می‌شوند و هر بخش را می‌توان برحسب باغی یا زراعی بودن اراضی تحت کشت و ارزش افزوده محصولات به شرح زیر دسته‌بندی نمود:

جدول ۵ – تقسیم‌بندی چاه‌های کشاورزی دشت قزوین نوع کشت و ارزش افزوده محصول.

Table 5 - Classification of agricultural wells in the Qazvin plain based on the type of cultivation and the added value of the product.

Group		Row
Cultivation of crops with high added value	Garden	1

Cultivation of conventional value-added crops Cultivation of crops with high added value Cultivation of conventional value-added crops	Agricultural	2

به‌منظور تعیین بهترین سناریو و با در نظر گرفتن تقسیم‌بندی‌های به عمل آمده در مورد انواع چاه‌ها و تفکیک آن‌ها به باغی و زراعی، نوع کشت با ارزش افزوده بالا یا معمولی، رابطه بین درآمد و هزینه کشاورز و نیز انواع کنتورهای موجود مدل شبیه‌سازی متلب اجرا گردید. بر این اساس درصد کشاورزانی که تمایل به پذیرش هریک از سناریوها را دارند و یا ملزم به اجرای آن می‌شوند مشخص گردید. برای هریک از انواع چاه‌ها و کشاورزان سه سناریو در نظر گرفته شده و درصد استقبال از روش نصب کنتور تعیین می‌شود و در نهایت مشخص شد که بهترین روش برای نصب کنتور در منطقه چه روشی است و میزان تسهیلاتی که برای این موضوع باید پرداخت شود چه میزان است و بهترین سناریو تعیین می‌گردد. براساس بررسی‌های به عمل آمده و با توجه به سناریوهای در نظر گرفته شده و خروجی مدل شبیه‌سازی متلب موثرترین روش برای تجهیز سریع چاه‌های کشاورزی به کنتور هوشمند حجمی دسته‌بندی چاه‌های کشاورزی براساس تعداد مالک، نوع کشت و اقتصادی یا غیراقتصادی بودن محصول است. با تعدادی از افراد جامعه محلی به‌صورت حضوری و یا پرسشنامه مذاکره شد. براساس اطلاعات جمع‌آوری شده، اصولا کشاورزان تمایلی برای خرید و نصب کنتور نداشته و در صورتی اقدام به این کار می‌نمایند که فشار لازم از طرق مقامات محلی به آن‌ها وارد شود. کلیه چاه‌های دارای خرده مالک برای خرید کنتور به‌صورت قسطی با مشکل مواجه هستند و اغلب تمایل دارند به‌صورت نقدی اقدام به نصب کنتور نمایند.

حدود ۹۰ درصد افرادی که دارای چاه تک مالکی هستند تمایلی به استفاده از تسهیلات برای خرید و نصب کنتور هوشمند ندارند. اغلب کشاورزان اعتقاد دارند هزینه خرید و نصب کنتور باید توسط دولت پرداخت گردد. چنانچه مالکان چاه‌های کشاورزی هزینه خرید و نصب کنتور را پرداخت نکنند نسبت به آن احساس مالکیت نکرده و با توجه به اینکه کنتور باعث ایجاد محدودیت در برداشت آزادانه آب از چاه‌ها می‌شود آن را عامل مزاحم تلقی نموده و نه تنها از آن محافظت نخواهند نمود بلکه سعی خواهند کرد به روش‌های مختلف باعث تخریب و ایجاد اختلال در عملکرد آن شوند. از این رو سناریوی اول برای این گروه به هیچ عنوان توصیه نمی‌شود.

در راستای بررسی سناریوهای دوم و سوم، گروه اول چاه‌ها، به دلیل برداشت بیش از ۱۰ لیتر بر ثانیه با توجه به ضریب هیدرومدول دشت که ۰/۶ تعیین گردیده حداقل قادر به کشت ۱۷ هکتار از اراضی خود به شکل آبی می‌باشند و درآمد کافی برای خرید و نصب کنتور هوشمند حجمی آب خواهند داشت. تعداد ۱۴۴۷ حلقه چاه کشاورزی در دشت قزوین دارای این شرایط می‌باشند و در مجموع ۷۲۶/۷ میلیون مترمکعب از آبخوان منطقه برداشت می‌کنند. حدود ۶۴ درصد این دسته از کشاورزان حاضرند به صورت داوطلبانه برای خرید و نصب کنتور اقدام نموده و کنتور هوشمند حجمی را با تخفیف ۲۰ درصد خریداری نمایند. مابقی نیز که بالغ بر ۳۶ درصد می‌باشند نیز پس از مراجعه برای دریافت خدمات به شرکت‌های آب منطقه‌ای یا سازمان جهاد کشاورزی مجبور به نصب کنتور خواهند شد که از این میان حدود ۲۸ درصد آن‌ها تمایل به دریافت وام برای خرید کنتور را دارند و مابقی به صورت نقد کنتور خریداری خواهند نمود. بنابراین حدود ۱۴۵ نفر از این گروه چاه‌ها تمایل به استفاده از تسهیلات برای خرید کنتور هوشمند حجمی دارند.

گروه دوم به دلیل محدودیت برداشت از منابع آب زیرزمینی (دبی ۱۰-۵ لیتر بر ثانیه) و به تبع آن محدودیت سطح زیر کشت درآمد متوسطی را به صورت سالانه به دست خواهد آورد. تعداد ۴۱۳ حلقه از چاه‌های منطقه با تخلیه سالانه معادل ۱۵۵/۷ میلیون مترمکعب دارای این شرایط هستند. حدود ۴۵ درصد از این مالکان چاه کشاورزی تمایل دارند به‌صورت داوطلبانه اقدام به خرید و نصب کنتور هوشمند حجمی نمایند و ۵۵ درصد مابقی در صورت مراجعه برای دریافت خدمات یا تمدید پروانه بهره‌برداری به اجبار کنتور خریداری و نصب خواهند نمود و حدود ۳۸ درصد از کشاورزان این بخش تمایل دارند از تسهیلات برای خرید و نصب کنتور استفاده کنند. در نتیجه ۸۶ نفر تمایل به خرید قسطی کنتور دارند.

گروه سوم با تخلیه آب با دبی کمتر از ۵ لیتر بر ثانیه، با توجه به محدودیت آب و زمین از توان مالی مناسبی برای خرید و نصب کنتور به صورت نقد برخوردار نمی‌باشد و لازم است با اعطای تسهیلات حمایت لازم برای خرید اقساطی کنتور از آن‌ها به عمل آید. تعداد ۷۰۵ حلقه از چاه‌های منطقه با تخلیه سالانه معادل ۱۰۰/۸ میلیون مترمکعب دارای این شرایط هستند. حدود ۱۰ درصد از مالکین این چاه‌ها داوطلبانه برای خرید و نصب کنتور مراجعه می‌کنند و مابقی در صورت اجبار تمایل به نصب کنتور دارند که حدود ۹۰ درصد آن‌ها تمایل

دارند کنتور را به صورت قسطی خرید و نصب نمایند. بنابراین حدود ۵۷۱ دستگاه کنتور برای این بخش از چاه‌ها با استفاده از تسهیلات خریداری و نصب خواهد شد.

اصولا چاه‌هایی که تک مالکی هستند تمایل دارند کنتور را به صورت قسطی و ۲۰ درصد گرانتر خریداری نمایند ولی چاه‌هایی که دارای چند مالک هستند به دلیل مشکلات مربوط به پرداخت اقساط ماهیانه و مشارکت کلیه سهامداران در پرداخت اقساط و مشکلاتی که در این زمینه وجود خواهد داشت تمایل دارند کنتور هوشمند حجمی را به صورت نقدی و با قیمت ۲۰ درصد کمتر از قیمت اصلی خریداری و نصب نمایند. در نهایت با توجه به وضعیت هریک از سه گروه چاه‌های منطقه، برای خرید و نصب حدود ۸۰۲ دستگاه کنتور هوشمند حجمی باید اعتبارات لازم تامین گردد. چنانچه به طور متوسط هزینه خرید و نصب هر دستگاه کنتور معادل ۱۰۰میلیون ریال باشد به اعتبار بالغ بر ۸۰ میلیارد ریال نیاز خواهد بود که باید تمهیدات لازم برای این منظور توسط دولت اندیشیده شود.

پروژه نصب کنتور هوشمند حجمی مهمترین و تاثیرگذارترین پروژه در کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی است. با عنایت به اینکه سه عامل مهم و اساسی در اجرای این پروژه موثر می‌باشند که عبارتند از دولت شامل وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی و مردم (کشاورزان) و محیط و شرایط فیزیکی و هیدروژئولوژیکی منطقه از نتایج عملکرد آن‌ها متاثر خواهد شد، مدل عامل‌بنیان روشی کارآمد و مفید برای حل مسئله و انتخاب بهترین سناریو برای رفع چالش‌های موجود و انجام پروژه می‌باشد که تاکنون برای این منظور به کار نرفته است و در این زمینه کاملا نو می‌باشد. نتایج نشان داد انتخاب کنتور هوشمند حجمی باید با توجه به دسته‌بندی چاه‌های کشاورزی براساس تعداد مالک، نوع کشت و اقتصادی یا غیراقتصادی بودن محصول صورت گیرد. هزینه خرید و نصب کنتور باید توسط مالک یا مالکان چاه کشاورزی صورت گیرد تا در آینده به درستی مورد بهره‌برداری قرارگیرد. با توجه به اینکه حدود ۸۰۲ نفر از مالکان چاه‌های کشاورزی تمایل به خرید اقساطی کنتور دارند باید تمهیدات لازم برای تامین اعتبارات و پرداخت تسهیلات به کشاورزان به عمل آید. همچنین چاه‌های صنعتی تمایل دارند، کنتور هوشمند حجمی را به صورت نقد خریداری و نصب نمایند. با توجه به اثرات نصب کنتور بر مدیریت برداشت آب از چاه‌ها، استفاده از کنتور بهترین روش برای کنترل کسری مخزن و جبران آن می‌باشد و نصب کنتور در این محدوده باعث خواهد شد شیب افت هیدروگراف دشت به صورت محسوسی کاهش یافته و از شدت افت سالانه سطح ایستابی کاسته شود.

پیشنهاد می‌شود برای ادامه مطالعه اثربخشی سایر پروژه‌ای پانزده گانه طرح احیاء و تعادل بخشی با استفاده از مدل عامل‌بنیان مورد بررسی قرارگیرد و براساس نتایج حاصل نسبت به تصمیم‌گیری برای چگونگی اجرای هریک از پروژه‌ها در محدوده‌های مطالعاتی مختلف کشور تصمیم‌گیری شود.

سپاسگزاری

از همه کسانی که در راستای اجرای این تحقیق ما را یاری نمودند به ویژه مدیران عامل محترم شرکت‌های مدیریت منابع آب ایران و آب منطقه‌ای قزوین که حداکثر همکاری را در اجرای این تحقیق داشتند و اطلاعات مورد نیاز را در اختیار قراردادند کمال تشکر و سپاس را داریم.

منابع

احمدی، م.، رمضانی اعتدالی، هـ، ۱۴۰۱. کاربردپذیری پایگاه بارشی GLDAS در برآورد ردپای آب سبز و آبی گندم و ذرت در دشت قزوین با استفاده از مدل Aqua Crop. هیدروژئولوژی، (۲)۷: ۴۲-۳۰.

کلانتری، ن.، ایرانی اصل، ا.، محمدی، هـ، ۱۴۰۱. بررسی کمی و کیفی آبخوان باغملک با استفاده از روش تحلیل آماری، روش‌های هیدروشیمیایی وGIS. هیدروژئولوژی، (۱)۷: ۲۴-۱۱.

میرهاشمی، س.، حقیقت جو، پ.، میرزائی اصلی شیرکوهی، ف.، پناهی، م.، ۱۳۹۶. ارزیابی الگوریتم‌های داده‌کاوی در بررسی و پیش‌بینی وضعیت آبخوان دشت قزوین. هیدروژئولوژی، (۲)۲: ۶۶-۵۴.

Akhbari, M., Grigg, N.S., 2015. Managing water resources conflicts: Modelling behavior in a decision tool. Water Resources Management, 29(14): 5201-5216.

Berglund, E., 2015. Using agent-based modeling for water resources planning and management. Journal of Water Resource Planning and Management, 141(11): 0401-5025.

Berger, T., Birner, N., McCarthy, J., Daz, H., 2007. Capturing the complexity of water uses and water users within a multi-Agent framework. Water Resources Management, 21(1): 129-148.

Castilla-Rho, J.C., Mariethoz, G., Rojas, R., Andersen, M.S., 2015. An agent-based platform for simulating complex human–aquifer interactions in

based/geohydrological modelling with NetLogo and MODFLOW. Environmental Modelling & Software,Volume 115: 19-37.

Khan, H.F., Yang, Y.C.E., Xie, H., Ringer, C., 2017. A coupled modeling framework for sustainable watershed management in transboundary river basins. Hydrol. Earth Syst. Sci., 21: 6275–6288.

Levin, S., Xepapadeas, T., Crépin, A.S., Norberg, J., De Zeeuw, A., Folke, C., Hughes, T., Arrow, K., Barrett, S., Daily, G., Ehrlich, P., Kautsky, N., Muler, K.G., Polasky, S., Troell, M., Vincent, J.R., Walker, B., 2013. Social-ecological systems as complex adaptive systems: Modeling and policy implications. Environment and Development Economics, 18(2): 111-132.

Lotfi, S., Araghinejad, S., 2017. A review on challenges in application of agent-based models in water resourcessystems. Iran Water Resources Research, 13(2): 115-126.

Mashhadi Ali, A., Shafiee, M., Berglund, E., 2017. Agent-based modeling to simulate the dynamics of urban water supply: Climate, population growth, and water shortages. Sustainable Cities and Society, 28: 420-434.

Macal, C.M., North, M.J., 2010. Tutorial on agent-based modelling and simulation. J. Simul., 4(3): 151–162.

Moglia, M., Podkalicka, A., McGregor, J., 2018. An Agent-Based Model of Residential Energy Efficiency Adoption. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 21(3): 3.

Moglia, M., Perez, P., Burn, S., 2010. Modelling an urban water system on the edge of chaos. Environmental Modelling & Software, 25(12): 1528–1538.

Moglia, M., Cook, S., McGregor, J., 2017. A review of agent-based modelling of technology diffusion with special reference to residential energy efficiency. Sustainable Cities and Society, 31: 173–182.

Mulligan, K., Brown, C.M., Yang, Y.C.E., Ahlfeld, D., 2014. Assessing groundwater policy with coupled economic-groundwater hydrologic modeling, Water Resour. Res., 50: 2257–2275.

Nouri, A., Saghafian, B., Delavar, M., Bazargan-Lari, M., 2019. Agent-Based Modeling for Evaluation of Crop Pattern and Water Management Policies. Water Resources Management, 33(11): 3707-3720.

Ostrom, E., 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. Science, 325(5939): 419-422.

managed groundwater systems. Environmental Modelling & Software, 73: 305-323.

Chu, J., Wang, C., Chen, J., Wang, H., 2009. Agent-Based Residential Water Use Behavior Simulation and Policy Implications: A Case-Study in Beijing City. Water Resources Management, 23(15): 3267-3295.

Davidsson, P., Holmgren, J., Kyhlbck, H., Mengistu, D., 2007. Applications of Agent Based Simulation. Multi-Agent-Based Simulation VII. L. Antunes and K. Takadama, Springer Berlin Heidelberg, 4442: 15-27.

Feuillette, S., Bousquet, F., Le Goulven, P., 2003. SINUSE: a multi-agent model to negotiate water demand management on a free access water table. Environmental Modelling & Software, 18(5): 413-427.

Filatova, T., Polhill, J., van Ewijk, S., 2016. Regime shifts in coupled socio-environmental systems:Review of modelling challenges and approaches. Environmental Modelling & Software, 75: 333-347.

Giacomoni, M. H., Kanta, L., and Zechman, E. M., 2013. Complex adaptive systems approach to simulate the sustainability of water resources and urbanization. J. Water Resour. Planning and Management, 10.1061/(ASCE) WR.1943-5452.0000302: 554–564.

Giuliani, M., Castelletti, A., Amigoni, F., Cai, X., 2015. Multiagent systems and distributed constraint reasoning for regulatorymechanism design in water management. Water Res. Plan. Man., 141: 04014068,

Hare, M., and Deadman, P., 2004. Further towards a taxonomy of agent-based simulation models in environmental management. Mathematics and Computers in Simulation, 64(1): 25-40.

Hu, M., Fan, C., Huang, T., Wang, C., Chen, Y., 2018. Urban Metabolic Analysis of a Food-Water-Energy System for Sustainable Resources Management. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(1): 90.

Hyun, J., Huang, S., Yang, Y., Tidwell, V., Macknick, J., 2019. Using a coupled agent-based modeling approach to analyze the role of risk perception in water management decisions. Hydrology and Earth System Sciences, 23(5): 2261-2278.

Kanta, L., Zechman, E., 2014. Complex Adaptive Systems Framework to Assess Supply-Side and Demand-Side Management for Urban Water Resources. Journal of Water Resources Planning and Management, 140(1): 75-85.

Jaxa-Rozen M., Kwakkel H.J., Bloemendal M., 2019. A coupled simulation architecture for agent-

Rai, V., Henry, A.D., 2016. Agent-based modelling of consumer energy choices. Nature Climate Change, 6(6): 556.

Schlüter, M., Pahl-Wostl, C., 2007. Mechanisms of Resilience in Common-pool Resource Management Systems: an Agent-based Model of Water Use in a River Basin. Ecology and Society, 12(2).

Schlüter, M., Leslie, H., Levin, S., Managing water-use tradeoffs in a semi-arid river delta to sustain multiple ecosystem services: a modeling approach, Ecol. Res., 24: 491–503.

Terna, P., 1998. Simulation tools for social scientists: Building agent based models with swarm. J. Artif. Soc. Simul., 1: 1–12.

Van Oel, P., Mulatu, D., Odongo, V., Willy, D., Van der Veen, A., 2018. Using Data on Social Influence and Collective Action for Parameterizing a Geographically-Explicit Agent-Based Model for the Diffusion of Soil Conservation Efforts. Environmental Modeling and Assessment, 24(1): 1-19.

Van Oel, P.R., Krol, M.S., Hoekstra, A.Y., Taddei, R.R., 2010. Feedback mechanisms between water availability and water use in a semi-arid river basin: A spatially explicit multi-agent simulation approach. Environmental Modelling & Software, 25(4): 433-443.

Voinov, A., Bousquet, F., 2010. Modelling with stakeholders. Environmental Modelling and Software, 25(11): 126.

Yang, Y.C.E., Cai, X., Stipanovich, D.M., 2009. A decentralized optimization algorithm for multi-agent system based watershed management. Water Resource Researche, 45: W08430.

Yuan, X.C., Wei, Y.M., Pan, S.Y., Jin, J.L., 2014. Urban Household Water Demand in Beijing by 2020: An Agent-Based Model. Water Resource Managment, 28: 2967–2980.

Zechman, E.M., 2011. Agent-Based Modeling to Simulate Contamination Events and Evaluate Threat Management Strategies in Water Distribution Systems. Risk Analysis, 31: 758–772.