تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال شانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹
Volume 16, No. 3, Winter 2021 (IR-WRR)
۱۴۲-۱۲۷

توسعه یک مدل عامل‌بنیان هیدرولوژیکی- اقتصادی برای شبیه‌سازی بازارآب منطقه مجن

محمدحسین متین‌جو[۱] و حسین علیزاده[۲*]

چکیده

این تحقیق به بررسی چگونگی تخصیص و مبادله آب بین کشاورزان منطقه مجن می‌پردازد و در ادامه، با استفاده از نتایج تحقیقات میدانی و مصاحبه با تعداد قابل‌توجهی از کشاورزان منطقه و همچنین تهیه و توزیع پرسش‌نامه بین آن‌ها، مدلی عامل‌بنیان برای بازارآب منطقه مذکور پیشنهاد می‌گردد. باوجود آنکه بازارهایی مانند بازار منطقه مجن، فاصله زیادی از بازارهای مدرن کشورهای پیشرفته دارد، نتایج مدل نشان می‌دهد که با تلاش در جهت ترفیع مشکلات و فراهم آوردن محیطی مناسب برای مبادله آب، می‌توان تا حدود مطلوبی از این نوع بازارهای آب بهره برد. با برقراری بیشتر تعاملات مناسب بین کشاورزان و همکاری شرکت آبیاری مجن، بازارآب می‌تواند شامل نتایج سودبخشی باشد. به‌نحوی‌که با افزایش این تعاملات بین کشاورزان، میانگین تعداد کشاورزان زیرخط فقر می‌تواند تا ۲۵٪ کاهش یابد. عملکرد بازار پیرامون جلوگیری از کاهش سطح زیرکشت در سال‌های نسبتاً کم‌باران نیز مورد توجه واقع شده است؛ به‌صورتی‌که در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷، با کاهش چشم‌گیر بارش، کاهش سطح زیرکشت اندک بوده است.

کلمات کلیدی: بازارآب، مدل عامل‌بنیان، بازارآب غیررسمی، مجن، رابطه تعاملی بین کشاورزان.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۶/۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۰/۲۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

Hydro-Economic Agent-Based Modelling for Simulation of the Water Market in Mojen

*M.H. Matinju[1] and H. Alizadeh[2]**

Abstract

This study examines how water rights are distributed and traded between farmers in the Mojen region. Furthermore, based on field study and interviews with a group of farmers, an agent-based model is suggested for simulation of Mojen Water Market (MWM). Markets, such as MWM, are far different from the modern ones in developed countries; nontheless the results of the study declared that by eliminating barriers and providing an appropriate background for better water right trade, water markets like MWM will be able to play a pivotal and productive role in the water resources management. We demonstrated how the increase in interactions between farmers as well as cooperation of the Mojen Irrigation Company and the farmers, lead to productive and more profitable results. We showed that as the farmers' interactions increased, the average number of farmers below the poverty line would be reduced by 25%. Furthermore, we assessed the water market's performance, from the cultivated area's viewpoint, under dry years condition. For instance, during the sever drought of 2006-2008 period, the result showed a mild reduction in crop cultivation compared to the normal situation.

Keywords: Agent-Based Modelling, Informal Water Market, Mojen Region, Farmers Interactions.

Received: August 25, 2020
Accepted: January 12, 2021

1- M.Sc. Graduate of Water Resources Engineering, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology.
2- Assistant Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology. Email: alizadeh@iust.ac.ir
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

بازارآب، ابزاری قابل‌توجه برای مدیریت تقاضا است که از دهه‌های اخیر موردتوجه اکثر کشورهای پیشرفته و درحال‌توسعه قرارگرفته است. Carey and Sunding (2001) تعریفی کلی از بازارآب ارائه نمودند؛ آن‌ها معتقد بودند به‌طورکلی به فرایندی که در آن بتوان مجوز برداشت آب را به‌صورت قانونی مبادله نمود، بازارآب می‌گویند. مجوز برداشت قانونی آب، همان حقابه است که خریدوفروش آن می‌تواند به‌صورت دائم یا موقت انجام گردد. ایجاد بازارآب نقش مهمی در تخصیص بهینه منابع آب و فرصت سرمایه‌گذاری در منابع پربازده دارد. مجوز تجارت آب می‌تواند به‌طور ذاتی مشوقی برای حفاظت از منابع آب باشد؛ به‌طوری‌که برای کاربرانی که مصارف کم‌ارزش‌تری دارند، انگیزه ذخیره و فروش آب و برای کاربران با مصارف با ارزش بالاتر، انگیزه خرید آب ایجاد خواهد شد.

در زمان کمبود آب و خشکسالی بازارآب به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تخصیص آب و افزایش بازده محصولات کشاورزی شناخته می‌شود. همچنین بازارآب می‌تواند به کاهش تبعات منفی اجتماعی حاصل از کمبود آب، حفاظت از محیط‌زیست و افزایش بهره‌وری کمک نماید (Alarcón and Juana, 2016; Montilla-López et al., 2018). بنابراین در سال‌های اخیر، بعضی محققان در بسیاری از مناطق، پیشنهاد وجود بازارآب و مبادلات آب سطحی و زیرزمینی و فواید آن را مطرح کرده‌اند (Bauer, 2010; Chang and Griffin, 1992; Murphy et al., 2000; Du et al., 2017; Raina et al., 2020). لازم به ذکر است که در بیشتر این تحقیقات تنها بحث تجارت آب مطرح بوده و تعاملات و رفتارهای کشاورزان حقابه‌دار که به‌عنوان فروشنده و یا خریدار وارد بازارآب می‌شوند، مورد بررسی قرار نگرفته است. این در حالی است که در عصر جدید مدیریت منابع آب، صرفاً درک سیستم‌های فیزیکی، منجر به اثربخشی سیاست بهره‌برداری نمی‌گردد. تصمیم‌گیران برای به‌کار گرفتن سیاست مناسب بهره‌برداری، نیاز به درک رفتار ذینفعان دارند تا به‌وسیله آن تعارضات را کاهش و استفاده پایدار را افزایش دهند (Hu et al., 2017).

Safari et al. (2016) تخصیص آب را بین مناطق مختلف در حوضه آبریز بالخلی‌چای در استان اردبیل در قالب دو چارچوب تخصیص عمومی و بازارآب مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق که حجم مبادلات مناطق و مقادیر آب اختصاص‌یافته نهایی، متغیرهای مدل می‌باشد، مشاهده گردید که سود کلیه مصرف‌کنندگان با تشکیل بازارآب افزایش یافته است. بر اساس نتایج این تحقیق، تشکیل بازارآب در منطقه بالخلی‌چای با انتقال آب به مصارف با ارزش بالاتر، می‌تواند سبب افزایش بهره‌وری مصرف آب گردد. بر اساس نتایج، با تشکیل بازار در منطقه مورد مطالعه، امکان مبادله ۱۸ درصد حقابه‌های تخصیص‌یافته فراهم می‌گردد که این حجم مبادلات، سبب افزایش سود در حدود ۹ درصد می‌شود.

Kanooni et al. (2020) در تحقیقی به بررسی اثرات توسعه بازارآب از دیدگاه اقتصادی پرداختند. بدین منظور، با استفاده از یک مدل ریاضی، این اثرات با اعمال سناریوهای مختلف قیمتی بررسی گردید. نتایج نشان داد تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین ارزش اقتصادی آب و تعرفه آن وجود دارد. با افزایش قیمت آب، ضمن کاهش سطح زیرکشت، عملکرد محصولات کشاورزی کم شده و به تبع آن سود ناخالص شبکه نیز کاهش می‌یابد. Yousefi at al. (2014) در تحقیقی به ارزیابی آثار رفاهی تغییر روش تخصیص منابع آب از حالت دستوری به بازاری در اقتصاد کشور پرداخته‌اند. در این مطالعه، با در نظرگیری بازاری فرضی، پیش‌بینی شد که در شرایط کم‌آبی، رفاه خانوارهای روستایی با فرض افزایش همکاری در بازار، افزایش می‌یابد. همچنین رفاه دهک‌های بالای روستایی در مقایسه با دهک‌های پایین افزایش چشم‌گیری دارد که مبین آن است که دهک‌های بالاتر، دارای سهم بیشتری از مالکیت زمین‌های دارای حقابه هستند.

Ahmadi et al. (2016) به پیاده‌سازی بسترهای فنی در راستای تشکیل بازارآب در پنج مزرعه همجوار شبکه آبیاری مهیار واقع در حوضه آبریز زاینده‌رود پرداختند. در این مدل، سود حاصل از فروش محصولات و اجاره حقابه به عنوان درآمد کشاورزان و همچنین، هزینه نهاده‌ها، خرید آب و هزینه‌های فنی تحت عنوان هزینه درنظر گرفته شده است. محدودیت‌های مدل دربرگیرنده محدودیت نهاده‌ها و حفظ بازده برنامه‌ای و محدودیت و معادلات نقل‌وانتقال آب می‌باشد. در این مدل، تابع هدف، علاوه بر بیشینه‌سازی درآمد کشاورزان در اثر کشت محصولات متنوع، شامل کمینه‌کردن هزینه‌های فنی می‌باشد. افزایش بازده کاری کشاورزان در نتیجه مشارکت بالای آن‌ها در بازار جهت مبادله آب به میزان ۲۸ درصد، نسبت به حالت پایه، از مزیت‌های وجود بازارآب در این مدل تلقی می‌گردد.

Keramatzadeh and Arabi (2020) به مطالعه مبادلات آب در اراضی پایین دست سد بارزو شیروان در استان خراسان شمالی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در شرایط کنونی مبادلات غیررسمی و پراکنده آب در بین بهره‌برداران وجود دارد، به‌گونه‌ای که بیش از ۴۵ درصد افراد مصاحبه شده به مبادله آب می‌پردازند. این محققین، به علت شرایط کم‌آبی در مناطق مورد بررسی و تمایل

بهره‌برداران به ایجاد بازارآب در منطقه، پیشنهاد ایجاد بازارآبی مشابه به بازارآب منطقه مجن شاهرود را ارائه دادند.

به وجود آوردن مکانیزم بازارآب در یک منطقه مستلزم مهیا شدن شرایطی می‌باشد. طبیعی است که کمبود آب در منطقه و نیاز بهتر کنترل بین عرضه و تقاضا، دلیل اصلی برای تشکیل بازارآب است. Donohew (2009) معتقد است که اگر کمبود منابع آبی برای برآوردن تقاضا وجود داشته باشد، زمینه فراهم نمودن آب از طریق انتقال آب از مصارف با ارزش اقتصادی پایین به مصارف با ارزش اقتصادی بالا ایجاد می‌گردد. در نتیجه، خریدوفروش آب در میان بهره‌برداران می‌تواند کارایی مصرف آب را از طریق انتقال آب به مصرف‌کنندگانی که بازده نهایی بیشتری از مصرف آب به دست می‌آورند، افزایش دهد (Zekri and Easter, 2005). بنابراین می‌توان گفت شرط اولیه تشکیل بازارآب در یک منطقه، کمبود آب می‌باشد. علاوه بر کمبود آب، شرایط دیگری از قبیل تفکیک مالکیت آب از زمین، تعریف صحیح حقابه‌ها و تخصیص اولیه آن‌ها نیز وجود دارند که بایستی به‌عنوان شرایط لازم برپایی بازارآب در یک منطقه دانست. تفکیک مالکیت آب از زمین موجب تسهیل مبادلات در بازارآب و افزایش کارآیی آن می‌گردد.

به‌طورکلی بازارهای آب به دو دسته رسمی و غیررسمی تقسیم می‌شوند. در بازارهای رسمی آب، میزان و سهم آب مبادله شده، چه به‌صورت کوتاه‌مدت و چه به‌صورت دائمی، مشخص و ثبت خواهد شد. بازارهای غیررسمی معمولاً شامل فروش جریان‌های غیرقابل اندازه‌گیری از آب‌های سطحی از کانال یا آب پمپاژ شده از چاه برای مدت معینی از ساعت است. اگرچه ممکن است واحدهای فروخته‌شده در بازارهای غیررسمی اندازه‌گیری نشوند، اما خریدار و فروشنده، هر دو، اطلاعات خوبی درباره حجم آب منتقل‌شده، دارند. به عبارت دیگر، تفاوت اصلی بین دو بازار نحوه اجرای تجارت است. اگر کاربران به علت عدم تعریف حقابه رسمی تحت اداره سیستمی قانونی یا اداری، بایستی مبادله را به‌صورت خودمحور انجام دهند، بازار غیررسمی است (Easter et al., 1999).

در برخی منابع، به پرهزینه بودن ایجاد تشکل بازار رسمی آب در مقایسه با بازار غیررسمی اشاره شده است. علاوه بر این موضوع، بنابر برخی تحقیقات صورت گرفته، توسعه یک بازار رسمی در یک منطقه، علاوه بر مزیت‌های منحصر به فرد خود، چالش‌هایی احتمالی از جمله تشویق افراد بومی به ترک منطقه، امکان کاهش جریان رودخانه و تأثیر منفی بر کشاورزان پایین‌دست را به دنبال خواهد داشت که مدیران و تصمیم‌گیران بازار، باید آن‌ها را کنترل کنند (Jamali and Brümmer, 2015; Vahedi Zade et al., 2019).

مدل‌های عامل‌بنیان ابزاری قدرتمند در زمینه مدل‌سازی سیستم‌های اجتماعی هستند که در سال‌های اخیر، استفاده از آن در زمینه‌های مختلف و به خصوص مدیریت منابع آب افزایش قابل توجهی داشته است. اصولاً، مدل عامل بنیان مدلی از جزء به کل و غیر متمرکز است؛ جزء به کل بودن مدل، دلالت بر امکان شبیه‌سازی رفتارها و خصوصیات عامل‌های دخیل بر موضوع در کوچک‌ترین مقیاس و مرتبط نمودن آن بر دیگر عامل‌ها بر اساس تعاملات است. همچنین، غیرمتمرکز بودن مدل، دلالت بر اجتناب از استفاده جبرگرایانه روابط از پیش‌تعریف‌شده در توسعه مدل دارد. از این رو استفاده از این مدل برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده، مخصوصاً زمانی که انسان به عنوان عاملی تصمیم‌گیر و مؤثر وجود دارد، می‌تواند مطلوب واقع گردد؛ زیرا رفتارهای انسان همواره دارای عدم قطعیت و خارج از حالت جبری است و از طرفی با استفاده از تعریف روابط کلی نمی‌توان تا حد مطلوبی سیستم‌های پیچیده را شبیه‌سازی نمود. Lotfi and Araghinejad (2016) ضمن معرفی کلی رویکرد مدل‌سازی عامل‌بنیان، به بررسی چهار چالش اصلی پیش‌رو در زمینه مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده منابع آب پرداخته‌اند که این موارد شامل طراحی رفتار عامل‌ها، برقراری ارتباط بخش اجتماعی، مکانی‌کردن مدل و نهایتاً کالیبراسیون، صحت‌سنجی و اعتبارسنجی است.

همانطور که از ادبیات موضوع پیداست، برخلاف بازارهای غیررسمی، تحقیقات متعددی پیرامون شبیه‌سازی بازارهای رسمی آب و تأثیر آن بر ذی‌نفعان منطقه صورت گرفته است. این در صورتی است که در بسیاری از نقاط جهان، بازارهای غیررسمی موجود است. این مطالعه، به‌دنبال بررسی عملکرد یک بازار غیررسمی و تأثیرات آن بر ذی‌نفعان منطقه است. برای این کار، رفتارهای متفاوت عامل‌های مؤثر بر روند بازارآب و چگونگی مبادله آب در یک بازار غیررسمی شبیه‌سازی شده است. پیچیدگی موجود در تعریف رفتارها و تأثیرات هر عامل بر عامل دیگر سبب شده است که برای شبیه‌سازی، از مدل عامل‌بنیان استفاده شود. توسعه مدل مذکور با استفاده از نرم‌افزار NetLogo، یک محیط برنامه‌نویسی عامل‌بنیان، انجام شده است. همچنین، از چالش‌های یادشده مدل عامل‌بنیان نیز موارد طراحی رفتار عامل‌ها، مدل‌سازی اجتماعی و همچنین کالیبراسیون مدل (در بخش اجتماعی) لحاظ شده است.

علت استفاده از مدل عامل‌بنیان در این تحقیق مزیت این رویکرد نسبت به دیگر رویکردهای رقیب است. به عنوان نمونه، رویکرد پویایی

سیستم[1] قادر به بررسی رفتار هر عامل، به صورت مستقل، نمی‌باشد و معمولاً از این رویکرد برای بررسی یک سیستم، به صورت جامع، استفاده می‌گردد. تئوری بازی‌ها[2] نیز از دیگر رویکردهای رقیب می‌باشد که با وجود آن‌که قادر به بررسی جزئیات رفتاری بازیگران (عامل‌ها) است، مدلی مناسب برای شبیه‌سازی رفتار آن‌ها به هنگام افزونی تعداد عامل‌ها نیست؛ به گونه‌ای که هر چه تعداد عامل‌های موجود در مدل بیش‌تر باشد، بر پیچیدگی مدل، به طرز قابل‌توجهی، افزوده شده و به همین نسبت، رسیدن بـــه جـــواب مـــورد نظر دشوار می‌گـردد. برنامه‌ریزی ریاضی مثبت[3]، از دیگر روش‌های رقیب برای مدل‌سازی بازار آب است که به‌منظور کالیبره‌کردن یک مدل بهینه‌سازی اقتصاد کشاورزی مـــورد استفاده قرار می‌گیرد. کلی‌بـودن ملاحظات در ایـــن رویکرد و همچنین عـدم امکان شبیه‌سازی رفتار عامل‌ها، از نقاط ضعف ایـــن رویکرد است (Howitt, 1995; Wilensky and Rand, 2015).

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش یک چارچوب مدل‌سازی عامل‌بنیان شامل تصمیم‌گیری عوامل مختلف شرکت آبیاری منطقه و کشاورزان در مورد مبادلات آب و تعیین قیمت آن و در نهایت سود حاصل شده، برای ۱۵ سال (۱۳۹۵-۱۳۸۱)، ارائه می‌گردد.

۲-۱- منطقه مُجِن

منطقه مجن با بافت روستاشهری، در ۳۵ کیلومتری شمال‌غربی شاهرود قرار دارد و در میان دره‌ای به نسبت پهناور، میان دو رودخانه پی‌حصار و پیش‌ده، بنا شده است. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. اکثر مردم منطقه دارای شغل کشاورزی و باغداری می‌باشند.

پیرامون شهر مجن را زمین‌های کشاورزی و باغات فراگرفته است و رودخانه پیش‌ده با دبی پایه ۳۰۰ لیتر در ثانیه مهم‌ترین تأمین‌کننده آب موردنیاز اراضی این شهر است. این شهر با حدود ۲۰۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا دارای متوسط سالانه دمای ۷/۲ سانتی‌گراد و متوسط بارش ۲۸۴ میلی‌متر می‌باشد. گندم و سیب‌زمینی در کنار باغات زردآلو و سیب، محصولات مهم منطقه می‌باشد (Rajabpour, 2018).

در سال ۱۳۴۱، اهالی این منطقه اقدام به ایجاد تشکلی رسمی به نام "شرکت سهامی آبیاری و کشاورزی شهر مجن" نمودند. در ادامه، نمایندگان کشاورزان و مسئولین شرکت، ضمن تغییر نظام گردش آب و توزیع حقابه‌های رودخانه این شهر و حفر دو قنات در مجاورت رودخانه، کنترل بهره‌برداری از آب رودخانه پیش‌ده و دو قنات مذکور را به شرکت واگذار کردند. امکان مبادله حقابه‌ها در این منطقه، در قالب بازارآب، موجود است که توسط نمایندگان کشاورزان و کارشناسان شرکت سهامی آبیاری و کشاورزی منطقه، اداره می‌شود. اراضی کشاورزی مجن از لحاظ تأمین آب به سه بخش منطقه پی‌حصار، منطقه پیش‌ده و منطقه مربوط به رودخانه تاش، تقسیم می‌شود. شکل ۱، این تقسیم‌بندی را نشان می‌دهد. منطقه پیش‌ده، وسعت بیشتری از دو منطقه دیگر دارد. این منطقه تحت نظارت شرکت آبیاری مجن می‌باشد و به همین دلیل، در این مطالعه این منطقه موردبررسی قرار گرفته است (Bohlolvand and Sadr, 2007).

سرد و خشک بودن اقلیم منطقه باعث شده تا کشاورزی، وابستگی شدیدی به آب داشته باشد. نکته حائز اهمیت در منطقه مجن آن است که منبع آب سطحی (رودخانه) با آب زیرزمینی (قنوات و چاه‌ها) ترکیب‌شده و درون یک کانال اصلی جریان می‌یابد.

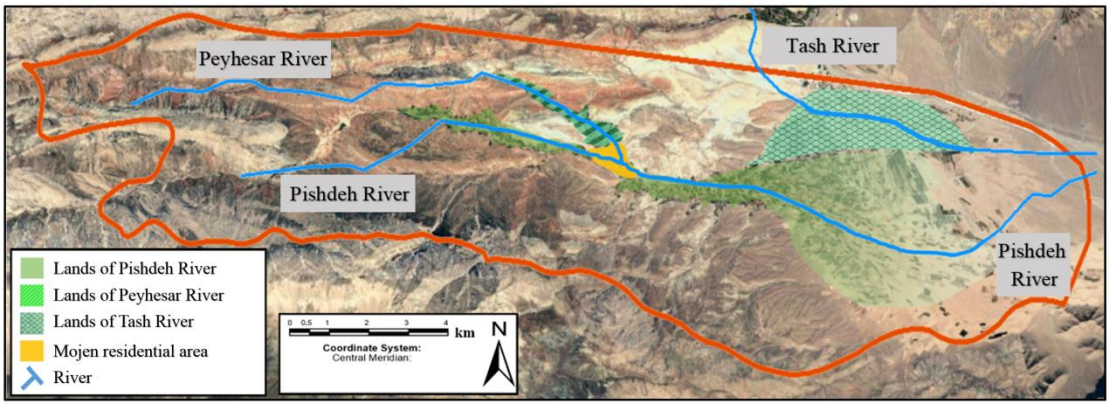

Fig. 1- The Mojen area

شکل ۱- منطقه مجن

در ادامه، این کانال‌ها در سرتاسر اراضی به نحوی شاخه‌شاخه می‌شوند که تمامی کشاورزان (مجموع زارعین و باغداران) بتوانند از آب درون کانال برای آبیاری بهره ببرند. ادغام آب زیرزمینی و سطحی این فایده را به دنبال خواهد داشت که اگر کسی حقابه آب زیرزمینی دارد و زمین کشاورزی او در مکانی نیست که بتواند از حقابه‌اش استفاده کند، می‌تواند به میزان همان حقابه از آب درون کانال بهره‌برداری کند. کاهش احتمال تخلف در استفاده از آب زیرزمینی نیز از دیگر مزیت‌های ادغام آب سطحی و زیرزمینی در منطقه می‌باشد (Rajabpour, 2018).

بازارآب موجود در منطقه مجن، از لحاظ نوع بازار، دارای بعضی ویژگی‌های بازارآب رسمی و همچنین برخی خصوصیات بازارآب غیررسمی است. به عنوان مثال، از سال‌های دور، حقابه‌های مشخص و دارای سند بین کشاورزان تعریف شده است و از این جهت این بازار شباهت به یک بازارآب رسمی دارد. ازطرفی‌دیگر، تمام معاملات انجام‌شده در بازار تحت نظارت کامل یک سازمان بازارآب، ثبت و ضبط نمی‌شود و از این رو می‌توان این بازار را به بازارآب غیررسمی منسوب کرد. بنابراین شاید استفاده از عبارت بازارآب نیمه‌رسمی برای توصیف آن صحیح باشد. به علت عدم اشاره کافی به نوع بازار نیمه‌رسمی در ادبیات موضوع و همچنین عدم وجود یک سازمان یکپارچه با تمرکز بر مکانیزم بازارآب، در این تحقیق، بازار موجود در منطقه به صورت بازار غیررسمی درنظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که مالکیت زمین در منطقه مجن کاملاً مستقل از مالکیت حقابه‌ها می‌باشد.

مواردی که سبب حمایت جامعه حقابه‌داران و گسترش مشارکت‌ها در بازارآب مجن شده است، عبارت است از: ۱- تعریف، تثبیت و تضمین حقابه‌های قابل مبادله؛ ۲- تاسیس شرکت آبیاری مجن با هدف اجرای حقابه‌ها و حفاظت و صیانت از این حقوق؛ ۳- انجام سرمایه‌گذاری در تاسیسات آب‌رسانی؛ ۴- فرایند تنظیم و ثبت اطلاعات مربوط به مبادلات دائمی و رفع اختلافات توسط تشکل آبرسان و ۵- وجود شبکه‌های انتقال بـــرای انجام انواع مبادلات آب و ایجاد امنیت تحویل آن در تمام دامنه تحت پوشش بازار. مجموع عوامل یـادشده ابتدا باعث تشکیل بازارآب شده و سپس انگیزه کافی بـــرای ورود بـــه جـــریـان مبادلات را در سطح عوامل فعال در بـازار فـراهم کـــرده است. مشارکت گسترده نیروهای مـوجـود در بازارآب سبب افزایش رقابت و مانع از پیدایش قدرت‌های انحصاری در این بازار شـده است (Bohlolvand and Sadr, 2007).

۲-۲- اصطلاحات کاربردی مدیریت آب در منطقه مجن

- مدار گردش آب: آب‌رسانی و تحویل آب به‌کل حقابه‌داران در ۱۲ شبانه‌روز به طول می‌انجامد. به‌عبارت‌دیگر تقریباً ۱۲ شبانه‌روز طول می‌کشد تا زارعی که در یک نقطه خاص آب تحویل گرفته است برای بار دوم آب دریافت کند. این فاصله زمانی، مدار گردش آب نامیده می‌شود.

- انواع مبادله و حقابه: در منطقه مجن سه نوع مبادله حقابه صورت می‌گیرد. مبادله حقابه دائمی (خریدوفروش دائمی حقابه‌ها)، مبادله حقابه سالانه (اجاره حقابه‌ها) و مبادله حقابه مداری نیز تشکیل‌دهنده انواع این مبادلات می‌باشد. در مبادله دائمی حقابه‌ها، حق برداشت و تعهدات ناشی از حقابه در ازای مبلغ مشخصی به خریدار منتقل می‌شود. در مبادله حقابه سالانه نیز حق برداشت آب برای یک سال زراعی و در ازای مبلغ معین به خریدار واگذار می‌گردد. در مبادلات مداری نیز خریدار برحسب نیاز خود و به‌طور موردی در هر مدار از سال اقدام به خرید آب می‌نماید.

- چُلّه: به معنی تعداد قسمت‌های آب می‌باشد. معمولاً آب رودخانه پیش‌ده و همچنین آب‌های زیرزمینی پمپاژ شده به درون کانال اصلی، که متعلق به شرکت آبیاری مجن می‌باشد، به ترتیب به ده و سه قسمت مساوی تقسیم می‌شود که هر قسمت را یک چله می‌گویند. پس در نهایت، کل آب متعلق به شرکت آبیاری به ۱۳ چله تقسیم می‌شود. این عدد ۱۳ چله، یک عدد ثابت نیست و ممکن است تعداد آن به علت وقوع خشکسالی (یا ترسالی) در یک سال، کمتر (یا بیشتر) شود، ولی در شرایط طبیعی نهر به ۱۳ چله تقسیم‌شده و در ادامه هر چله وارد یک مسیر نهر فرعی می‌شود، به‌این‌ترتیب، همزمان در ۱۳ نهر، آب موجود است و به‌محض اینکه آبرسانی در هر یک از این ۱۳ نهر به اتمام رسید آب وارد نهر بعدی می‌گردد. بدین روش زمین‌های بالادست تا پایین‌دست منطقه آب‌رسانی می‌شود و هر کس مطابق با حقابه خود، تحت نظارت میرآب، از آب استفاده می‌کند.

- سَران: در ترسالی‌ها چنانچه آب رودخانه زیاد باشد بنا بر تصویب مجمع عمومی شرکت آبیاری، تعداد تقسیمات آب سطحی بیشتر از ده چله می‌شود. بنابراین تعداد کل چله‌های آب‌های سطحی و آب زیرزمینی بیشتر از ۱۳ عدد خواهد شد. آب سران به نسبت حقابه‌ها در اختیار سهام‌داران قرار خواهد گرفت؛ اما بابت این آب، شرکت آبیاری مبلغی جداگانه و افزون بر آب‌بهای متعارف از سهام‌داران اخذ می‌نماید. منظور از سهام‌داران، کشاورزان یا باغدارانی هستند که از منابع آب تحت نظر شرکت آبیاری مجن استفاده می‌کنند.

– نشریه: در سال ۱۳۴۱ در نظام جدید آبیاری (بعد از نظام بلوکی)، مدار گردش آب رودخانه از ۱۰ روز به ۱۲ روز افزایش یافت و ۲ روز از آن برای تلفات انتقال درنظر گرفته شد. در طی دو دهه اخیر، با مدرن‌شدن شبکه آبیاری، تلفات انتقال به یک روز کاهش‌یافته است. این یک روز آب اضافی تحت عنوان نشریه در اختیار شرکت آبیاری است. شرکت آبیاری هرساله با فروش این یک‌روز آب اضافی (نشریه)، به نسبت حقابه‌ها به سهام‌داران، بخشی از هزینه‌های خود را تأمین می‌نمایند.

۲-۳- مدل عامل‌بنیان

شکل ۲، فلوچارت کلی مدل را نمایش می‌دهد. در ادامه تمام مراحل مذکور در این شکل نیز توضیح داده خواهد شد.

۲-۳-۱- عامل شرکت آبیاری

قبل از شروع مدارهای گردش آبی و فصل زراعی، شرکت آبیاری تعداد چله‌های کانال را بنابر وضعیت بارش اخیر، تعیین می‌کند.

اگر تعداد چله‌ها در نهایت بیشتر از ۱۳ عدد تعیین شود، این آب مازاد، سران است و بهایی جداگانه (بیشتر از آب‌بها و معمولاً کمتر از قیمت مبادله آب بین مردم) دارد و طبق قانون تنها به حقابه‌دارانی داده می‌شود که به علت نیاز، اعلام آمادگی برای دریافت آن کنند. قیمت‌گذاری آب‌بها، نشریه و سران نیز توسط این عامل صورت می‌پذیرد. سری زمانی این قیمت‌ها در فایل‌های اضافی مقاله موجود است.

۲-۳-۲- عامل کشاورز و باغ‌دار

در این تحقیق، میزان حقابه دائمی عامل‌های کشاورز و باغ‌دار و همچنین میزان مساحت زمین‌های کشاورزی و باغات آن‌ها در طول مدل‌سازی ثابت درنظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که در منطقه مورد مطالعه، طبق شواهد منطقه، حدود ۱۰۰۰ کشاورز و باغ‌دار مشغول به فعالیت‌اند که از این تعداد، این تحقیق به شبیه‌سازی ۲۰۰ نفر پرداخته است.

۲-۳-۲-۱- نیازآبی

کشاورزان و باغ‌داران پس از انتخاب نوع کشت، در پی تأمین نیاز آبی‌شان می‌باشند. متفاوت بودن حساسیت کشاورزان به رطوبت خاک و تمایل آن‌ها به کم‌آبیاری، باعث تفاوت در نیاز آبی آن‌ها می‌شود. در مدل ساخته شده میزان تمایل به کم‌آبیاری کشاورزان عددی بین صفر و یک می‌باشد که هرچه عدد بزرگتر باشد دلالت بر آن دارد که کشاورز میل بیشتری به پس‌انداز آب و استفاده کمتر از حقابه‌اش برای آبیاری و در نهایت فروش مازاد حقابه‌اش را دارد. در گام زمانی اول مدل، این پارامتر به صورت توزیع یکنواخت به کشاورزان تخصیص داده می‌شود و در گام‌های زمانی بعدی هر کشاورز با توجه به رفتار خود در گام‌های قبلی و مقایسه سود خالص بدست آمده از کاشت محصول و فروش آب تصمیم به تغییر مقدار این پارامتر (کاهش یا افزایش آن) می‌گیرد.

اگر حقابه کشاورز یا باغداری بیش از نیازآبی او باشد، به‌عنوان عرضه‌کننده (اجاره‌دهنده) و اگر حقابه کم‌تر از نیازآبی او باشد به‌عنوان تقاضاکننده (اجاره‌کننده) شناخته می‌شود. برای تأمین این تقاضا، عامل کشاورز پس از استفاده از حق نشریه و سران خود (در صورت وجود)، می‌تواند از سهام‌دار دیگری آب را اجاره کند. گفتنی است که خریدوفروش دائمی حقابه‌ها در منطقه مجن، معمولاً ریشه در نیاز آبی و تأمین آن ندارد، بلکه معلول دلایلی ازجمله انحصار وراثت بعد از فوت یکی از سهام‌داران، تغییر شغل، مهاجرت و غیره می‌باشد. به همین علت در این مدل‌سازی، تنها مبادلات سالانه حقابه‌ها (اجاره حقابه‌ها)، درنظر گرفته می‌شود.

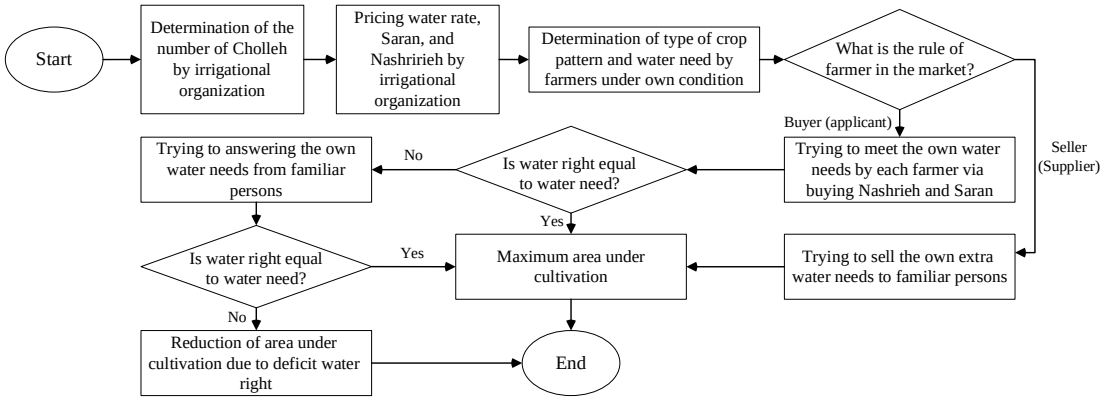

Fig. 2- The flowchart of the model

شکل ۲- فلوچارت مدل

در مبادلات سالانه حقابه‌ها، عاملی که مالک حقابه است و درصدد اجاره آن می‌باشد، پس از قیمت‌گذاری بر روی حقابه و توافق با شخص اجاره‌کننده، تنها از میراب می‌خواهد که قسمتی از حقابه‌اش را در محلی دیگر (زمین کشاورزی یا باغ عامل اجاره‌کننده آب) تحویل دهد. به‌دلیل ثبت نشدن این معاملات در دفتر شرکت آبیاری، بازارآب مجن در زمره بازارهای غیررسمی دسته‌بندی می‌شود.

۲-۳-۲-۲- رابطه تعاملی

در یک بازار غیررسمی، کشاورزان برای خرید و یا فروش حقابه‌شان مجبور به شناخت یکدیگر می‌باشند. از این رو ممکن است سهام‌داران زمان و تمرکز زیادی را صرف شناخت دیگران و چانه زدن سر قیمت از دست بدهند (Pujol et al., 2005). در ادبیات موضوع بازارآب، روش‌های متفاوت و کارایی برای عملکرد بازارآب پیشنهاد شده است اما این روش‌ها محدود به بازارهای آب رسمی می‌شوند و به دلیل فقدان یک سازمان کنترل کننده رسمی و دقیق در بازارهای غیررسمی، این روش‌ها به شکل موثر و حقیقی قادر به پیاده‌سازی در این نوع بازارها نمی‌باشند. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به حراج دوگانه با قیمت متغیر[۴]، حراج دوگانه با قیمت یکنواخت[۵] و ساختار بازار با قیمت تعادلی[۶] اشاره نمود (Xu et al., 2018; Du et al., 2017; Aghaie et al., 2020). در تمامی این ساختارها، سازمانی کنترل‌کننده مورد نیاز است و به همین دلیل ساختارهای مذکور در بازارهای غیررسمی معمولاً قابل استفاده نیست.

در بازارهای غیررسمی، کشاورزان و باغ‌داران به طور مستقیم با همدیگر به مبادله آب می‌پردازند. طبیعی است که لازمه این مبادله، شناخت و رابطه تعاملی با یکدیگر می‌باشد. در این تحقیق، اطلاعات این قسمت، تماماً از مصاحبه‌ها، پرسش‌نامه‌ها و تحقیقات میدانی بدست آورده شده است. در مجموع، تعداد افرادی که با آن‌ها مصاحبه به عمل آورده شده است شامل ۱۰ نفر از مسئولین شرکت‌های سهامی آبیاری، جهادکشاورزی، تعاونی تولید، خدمات کشاورزی و شهرداری منطقه مجن و همچنین۴۰ نفر از کشاورزان منطقه می‌باشد. همچنین، اطلاعات پیرامون رابطه‌ی اجتماعی مدل، از تکمیل پرسش‌نامه توسط ۴۲ نفر از کشاورزان منطقه، به صورت تصادفی، بدست آمده است. گفتنی است که متن پرسش‌نامه در فایل‌های اضافی مقاله موجود می‌باشد.

اطلاعات بدست آمده از پرسش‌نامه، حاکی از آن است که کشاورزان در زمان شروع کشاورزی به صورت مستقل، معمولاً در زمان جوانی، به طور متوسط با تعداد اندکی از افراد پیرامون آشنا هستند. البته بعضی از آن‌ها به علت کشاورز بودن پدر و یا برادر بزرگتر با تعدادی کشاورز دیگر آشنا هستند. در سال‌های اولیه کشاورزی، عامل کشاورز در تلاش است تا با محیط خود ارتباط برقرار نماید اما به علت کم‌تجربگی نمی‌تواند هر سال با تعداد چشمگیری از افراد در تعامل باشد و تنها با تعداد کمی از دیگر کشاورزان ارتباط برقرار می‌کند. پس طبیعتاً در این سال‌ها، به علت کم‌بودن تعامل با محیط پیرامون، عامل شانس کمتری در مقایسه با کشاورزان باتجربه دارد تا بتواند در مبادلات حقابه‌ها شرکت نماید. پس در صورتی که نیازآبی‌اش بیش‌تر از حقابه او باشد، احتمال آن‌که نتواند نیاز آبی خود را به طور کامل تأمین نماید کمتر است. همچنین، در صورتی که نیازآبی عامل کمتر از حقابه او باشد، احتمال فروش مازاد حقابه نیز در این حالت زیاد نیست.

در ادامه وجود یک پارامتر دیگر، علاوه بر پارامترهای شناخت قبلی از محیط و تجربه، یافت شده‌است که در مدل‌سازی رابطه تعاملی با دیگران تأثیرگذار است. این پارامتر دربردارنده مساحت زمین‌های افراد است؛ به این صورت که افرادی که دارای زمین‌های وسیع‌تری در منطقه می‌باشند نیز شناخته‌شده‌تر هستند و به عبارت دیگر شناخت آن‌ها از محیط با سرعت بیشتری امکان می‌پذیرد. بنابراین سه پارامتر شناخت اولیه از محیط، تجربه و میزان دارایی (مساحت زمین)، در مدل‌سازی رفتار تعاملی با دیگران استفاده شده است. تمامی کشاورزان بنابر مساحت زمین‌های کشاورزی یا باغ‌هایشان به سه دسته کلی تقسیم شده‌اند. دسته اول، شامل کشاورزانی است که اصطلاحاً خرده مالک‌اند و مجموع مساحت‌های دارایی آنها کمتر از ۵۰۰۰ مترمربع می‌باشد. دسته دوم متشکل از کشاورزانی است که دارای مجموع زمین‌های بین ۵۰۰۰ متر مربع و ۲۰۰۰۰ مترمربع می‌باشند. دسته سوم کشاورزان، آن دسته از افرادی هستند که مجموع مساحت زمین‌هایشان بیشتر از ۲۰۰۰۰ مترمربع می‌باشد. لازم به ذکر است که طبق اطلاعات بدست آمده از پرسش‌نامه‌ها، این نتیجه بدست آمده است که تعداد زیادی از کشاورزان در دسته اول قرار دارند، به طوری که کشاورزان دسته‌های اول، دوم و سوم به ترتیب حدود ۵۵، ۳۰، ۱۵ درصد از کشاورزان جامعه را شامل می‌شوند.

نتایج به‌دست آمده از تحقیقات و اطلاعات پرسش‌نامه حاکی از آن است که اکثر کشاورزان منطقه براین باور بوده‌اند که در ابتدا، افزایش تعداد افراد آشنا برای تعامل، با نرخ کمی نسبت به گذر زمان رشد می‌کند و در ادامه سرعت رشد آن بیشتر می‌شود و پس از گذشت حدود ده سال سرعت این نرخ رشد مجدداً کم می‌شود. این‌بار دلیل پایین بودن سرعت این نرخ، کم‌تجربگی کشاورزان نیست، بلکه بی‌نیازی افراد از شناخت هر چه بیشتر کشاورزان دیگر دلیل این پدیده می‌باشد. به عبارت دیگر، هر کشاورز، به اندازه نیاز خود با تعدادی از کشاورزان

و باغداران در رابطه تعاملی قرار گرفته‌است و دیگر سعی بر گسترش آن نمی‌کند. معمولاً در این دوره، تنها دلایلی از جمله وصلت با خانواده‌ای دیگر و یا آشنایی‌های اتفاقی دلیل تعامل با افراد جدید است. لازم به ذکر است که منظور از شناخت و رابطه تعاملی در این قسمت، رابطه جدی و کاری بین کشاورزان است به نحوی که آن‌ها بدانند چه کسانی تقریباً دارای چه میزان حقابه و چه میزان نیازآبی هستند و این‌که آن‌ها به طور معمول نیاز به فروش حقابه و یا خرید آن را دارند. برای مدل‌سازی رابطه تعاملی بین عامل‌های کشاورز از رگرسیون مبتنی بر اطلاعات حاصل از پرسش‌نامه استفاده شد. با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده، برای مدل‌سازی تعداد آشنایان یک عامل کشاورز به صورت تابعی از تجربه وی در منطقه مجن، از تابع سیگموئید[۷] بهره‌گیری شده است که در رابطه ۱ نشان داده شده است:

$$\gamma_{i,t} = \left[\frac{\theta_1}{1+e^{-\theta_2(\beta_{i,t}-\theta_3)}}\right] + \lambda_i \qquad (۱)$$

در این رابطه، $\gamma_{i,t}$ تعداد افراد آشنا با عامل iام، در سال tام است. همچنین، $\beta_{i,t}$ میزان تجربه عامل iام در گام‌زمانی سالانه tام است. λ_i پارامتری است که دلالت بر شناخت قبلی از کشاورزان و محیط دارد و دربردارنده تعداد عامل‌های آشنا با عامل iام در ابتدای شروع کشاورزی اوست. معمولاً علت این شناخت، کشاورز بودن یکی از اعضای خانواده یا آشنایان نزدیک می‌باشد. θ_1، θ_2 و θ_3 ثابتی هستند که به دسته کشاورزان بستگی دارد. میزان بهینه‌ی این مقادیر برای کشاورزان دسته اول به ترتیب برابر با ۱۲/۸۴، ۰/۳۹ و ۶/۷۸ و برای کشاورزان دسته دوم به ترتیب برابر با ۲۱/۵۲، ۰/۴۱ و ۶/۵۴ و برای کشاورزان دسته سوم به ترتیب برابر با ۳۲/۲۶، ۰/۴۴ و ۶/۱۷ می‌باشد. از این مقادیر، به منظور برازش بهتر داده‌های استخراجی از پرسش‌نامه‌ها استفاده شده است. این مقادیر ثابت با استفاده از رگرسیون و حداقل‌کردن میزان مجموع مربعات اختلاف مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده[۸] (مقادیر بدست‌آمده از رابطه ۱)، مطابق با رابطه ۲، بدست آمده است:

$$SSR = \sum_{i=1}^{n} (y_i - f(x_i))^2 \qquad (۲)$$

در این رابطه، SSR میزان مجموع مربعات اختلاف مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده است. y_i، میزان iاُمین مقدار مشاهده شده و $f(x_i)$، برابر با iاُمین مقدار پیش‌بینی‌شده توسط رابطه ۱ می‌باشد.

شکل ۳ نمودارهای میزان آشنایی و تعامل عامل‌های کشاورز با یکدیگر در سه دسته مختلف کشاورزان را نشان می‌دهد.

همانطور که در نمودارهای شکل ۳ پیداست در تمامی دسته‌ها ابتدای سال‌های کشاورزی، نرخ رشد آشنایی با دیگران کم است و در ادامه این نرخ به سرعت افزایش می‌یابد تا جایی که کشاورزان به اندازه کافی با افراد دیگر آشنا شوند و از آن نقطه به بعد سرعت افزایش این نرخ مجدداً کاهش می‌یابد. بنابراین در هر یک از سه نمودار شکل ۳ شیب خط در ابتدای نمودار کم و در ادامه زیاد و سپس مجدداً کم می‌شود.

بنابر گفته‌های پیشین، همچنین در نمودارهای شکل ۳، می‌توان این نکته را به خوبی مشاهده کرد که هر چه میزان دارایی کشاورزان در منطقه (از لحاظ وسعت زمین) بیشتر باشد، میزان رابطه تعاملی آن‌ها بیشتر می‌شود. البته این نکته بدان معنی نیست که کسانی که دارای مالکیت بیشتر زمین در منطقه می‌باشند میزان حقابه‌شان بیشتر است زیرا در منطقه مجن ارتباطی بین مالکیت حقابه‌ها و زمین وجود ندارد. دلیل اصلی این اتفاق، بنابر تحقیقات صورت گرفته، نشات گرفته از این واقعیت است که معمولاً کشاورزان دارای وسعت بیشتر زمین، مجبور به تأمین حقابه بیشتری نسبت به دیگران‌اند، بنابراین سعی بر ایجاد تعامل بیشتر با افراد دیگر را دارند.

لازم به ذکر است که مقدار ضریب تعیین در نمودارهای دسته یک، دو و سه در شکل ۳ به ترتیب برابر با ۰/۸۵، ۰/۹۴ و ۰/۹۲ می‌باشد و از آن‌جا که مدل ساخته شده، مدلی اجتماعی است، این اعداد بیانگر برازش خوب و قابل اطمینان داده‌ها و رابطه بدست آمده است.

۲-۳-۲-۳- قیمت‌گذاری آب

برای شبیه‌سازی قیمت‌گذاری عامل‌های کشاورز بر روی حقابه‌های خودشان در هر گام‌زمانی از رابطه ۳ استفاده شده است (Du et al., 2017):

$$p_{i,t} = \begin{cases} (1-\mu_{i,t})\times\eta_{i,t} & (\text{For buyer}, \quad 0 \le \mu_{i,t} \le 1) \\ (1+\mu_{i,t})\times\eta_{i,t} & (\text{For seller}, \quad 0 \le \mu_{i,t}) \end{cases} \qquad (۳)$$

در رابطه فوق، $p_{i,t}$ قیمت پیشنهادی عامل iام در زمان t است. μ، پارامتر رفتاری سودجویی را برای یک عامل کشاورز نشان می‌دهد که در حقیقت بر قیمت پیشنهادی توسط خریدار یا فروشنده تأثیر مستقیم می‌گذارد. این پارامتر در ابتدای شبیه‌سازی به صورت تصادفی بین عاملین توزیع می‌گردد و در ادامه، در هر گام‌زمانی به نسبت میزان موفقیت و یا عدم موفقیت هر عامل در مبادله حقابه، به‌روزرسانی می‌شود. η معرف میزان حد بالای قیمت معقول برای خریدار و همینطور حد پایین قیمت معقول برای فروشنده است.

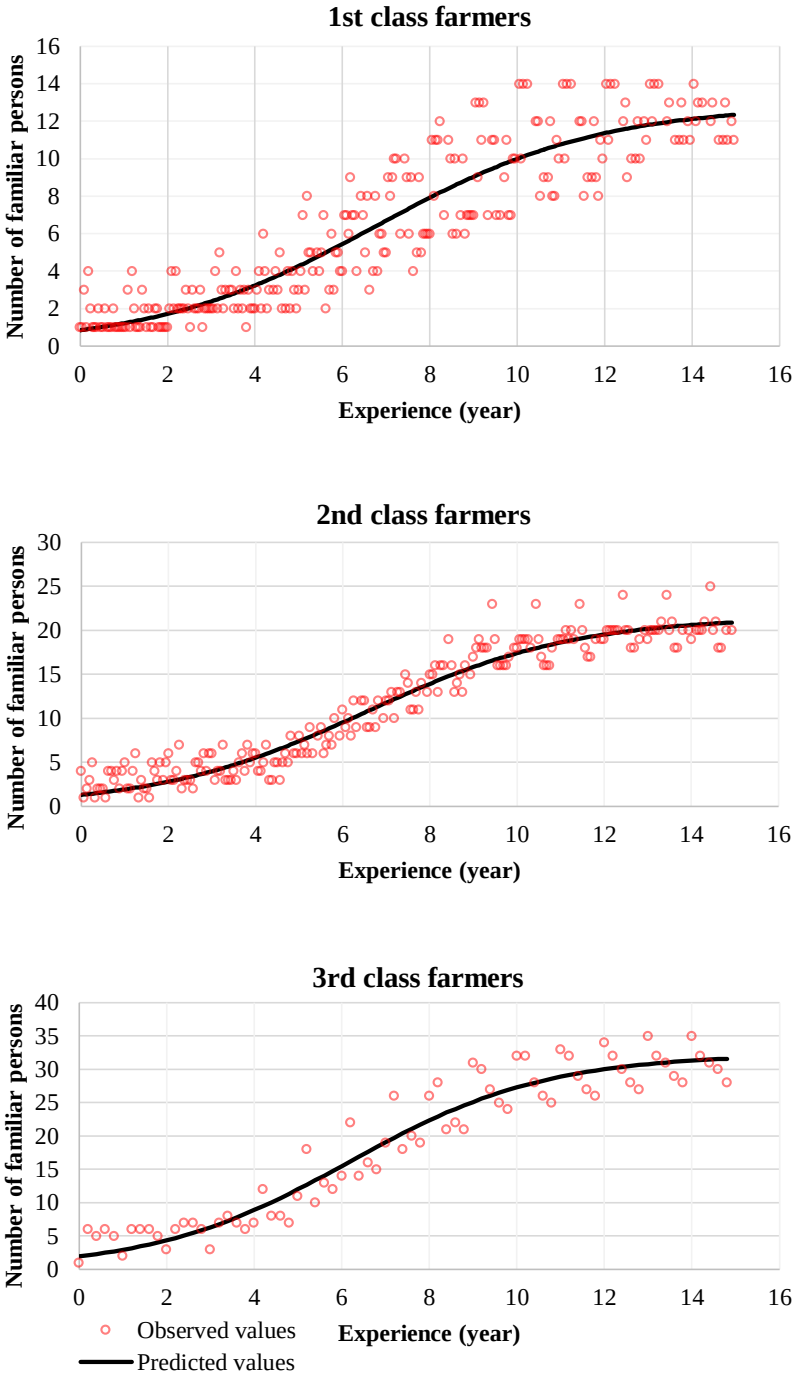

Fig. 3- The comparison between diverse classes of farmers in familiarity

شکل ۳- مقایسه دسته‌های مختلف کشاورزان پیرامون آشنایی

پیرامون شبیه‌سازی این پارامتر در مدل، با استفاده از مصاحبه‌های صورت گرفته با کشاورزان، می‌توان گفت که این پارامتر رابطه مستقیمی با وجود یا عدم وجود سران در سال آبیاری دارد. به عبارتی اگر تعداد چله‌ها در ابتدای یک سال آبی، به تشخیص شرکت آبیاری مجن، بیشتر از ۱۳ عدد باشد، مبین وجود سران در آن سال است و این حقیقت، ناشی از فزونی آب در شش ماه اخیر بوده است. بنابراین در آن سال، قیمت حقابه‌ها خیلی بالا نیست و معمولاً تنها کمی بیشتر از قیمت سران است. به عبارتی دیگر، افزایش عرضه در بازار، که به موجب بارش زیاد صورت می‌گیرد، منجر به آن می‌شود که کشاورزان عرضه کننده، قیمت‌های بالایی را پیشنهاد ندهند. اگر در سالی، به

موجب بارش کمتر در شش ماه اخیر، سران وجود نداشته باشد، قیمت حدودی آب بالا می‌رود و این پدیده نیز امری طبیعی است. قیمت تقریبی در این حالت، با استفاده از اطلاعات بدست‌آمده از پرسش‌ها و مصاحبه‌ها، حدود ۴ برابر قیمت آب‌بها می‌باشد. این قیمت‌های حدودی در شرایط مختلف (وجود یا عدم وجود سران)، حدود معقول پارامتر η را در رابطه ۳ تشکیل می‌دهد. بدیهی است همانطور که در رابطه مشهود است، η قیمت پیشنهادی هر عامل (عرضه‌دهنده یا تقاضاکننده) نمی‌باشد و با توجه به منحصر به فرد بودن نرخ سودجویی، عامل‌های کشاورز قیمت‌های متفاوتی را پیشنهاد می‌کنند. لازم به ذکر است که قیمت آب‌بها عبارت است از قیمت مصوبی که هر ساله توسط شرکت آبیاری اعلام می‌شود و لازم است هر حقابه‌داری، برای دریافت حقابه خود آن مبلغ را پرداخت کند. میزان مبلغ آب‌بها کمتر از مبلغ سران و نشریه است و تابع میزان حقوق سرمیراب، میراب‌ها و دیگر افراد متعلق به شرکت آبیاری و همچنین دیگر هزینه‌ها از جمله تعمیر کانال‌های آبرسانی و غیره است.

۲-۳-۲-۴- محاسبه سود

رابطه‌های ۴ و ۵ معرف سود عامل کشاورز به ترتیب مربوط به تولید محصولات کشاورزی و مبادله آب می‌باشد:

(۴)

$$B_{BA,i,t}=\sum_{c=1}^{3}(Y_{type,i,t}\times A_{type,i,t}\times pr_{type,t}- VC_{type,i,t})$$

که در این رابطه، $B_{BA,i,t}$ سود حاصل از فروش محصولات کشاورزی برای عامل iام در سال tام (تومان)، $Y_{type,i,t}$ میزان محصولی که در واحد سطح از یک نوع محصول توسط کشاورز iام در گام‌زمانی سالانه t بدست آمده است (کیلوگرم بر مترمربع)، $A_{type,i,t}$ مساحت زیرکشت (برای سیب‌زمینی و گندم) و یا مساحت باغ (برای زردآلو) که در واقع محیط کاری کشاورز iام در گام‌زمانی سالانه t است (مترمربع)، $pr_{type,t}$ قیمت محصول در واحد وزن (تومان بر کیلوگرم)، $VC_{type,i,t}$ هزینه‌های متغیر در زمان از جمله هزینه کارگر، ماشین‌آلات، کود، سم‌پاشی و غیره (تومان) می‌باشد. لازم به ذکر است که منظور از محصولات نوع یک، دو و سه به ترتیب سیب زمینی، گندم و زردآلو است.

$$B_{BT,i,t}=pr_{s,i,t}\times wr_{s,i,t}-pr_{b,i,t}\times wr_{b,i,t}-ta_{0,t}\times wr_{0,i}-ta_{n,t}\times wr_{n,i,t}-ta_{sa,t}\times wr_{sa,i,t} \quad (۵)$$

که در این رابطه، $B_{BT,i,t}$ سود حاصل از تجارت حقابه برای کشاورز iام در گام‌زمانی سالانه t (تومان)، $pr_{s,i,t}$ قیمت توافق شده حقابه در واحد زمان بین کشاورز iام و عامل کشاورز خریدار در گام‌زمانی سالانه tام در معامله‌ای که عامل کشاورز iام، فروشنده است (تومان بر دقیقه)، $wr_{s,i,t}$ میزان حقابه‌ای که عامل iام در گام‌زمانی سالانه tام، موفق به فروش به شخص خریدار با قیمتی مشخص شده (دقیقه)، $pr_{b,i,t}$ قیمت توافق شده حقابه در واحد زمان بین کشاورز iام و عامل فروشنده در گام‌زمانی سالانه tام در معامله‌ای که عامل iام، خریدار است (تومان بر دقیقه)، $wr_{b,i,t}$ میزان حقابه‌ای که عامل iام در گام‌زمانی سالانه tام، موفق به خرید از شخص فروشنده با قیمتی مشخص شده (دقیقه)، $ta_{0,t}$ نرخ تعریفی آب‌بها توسط شرکت آبیاری منطقه در گام‌زمانی سالانه t (تومان)، $wr_{0,i}$ میزان حقابه دائمی عامل iام (دقیقه)، $ta_{n,t}$ نرخ تعریفی نشریه توسط شرکت آبیاری منطقه در گام‌زمانی سالانه tام (تومان بر دقیقه)، $wr_{n,i,t}$ میزان نشریه‌ی تحویل گرفته توسط عامل iام در گام‌زمانی سالانه tام (دقیقه)، $ta_{sa,t}$ نرخ تعریفی سران توسط شرکت آبیاری منطقه در گام‌زمانی سالانه tام (تومان بر دقیقه) و $wr_{sa,i,t}$ میزان سران درخواستی توسط عامل iام در گام‌زمانی سالانه tام (دقیقه) می‌باشد.

در نهایت، رابطه ۶ مجموع سود خالص بدست آمده برای هر کشاورز را در هر گام‌زمانی نشان می‌دهد:

$$TNB_{i,t}=B_{BA,i,t}+B_{BT,i,t} \quad (۶)$$

در رابطه فوق، $TNB_{i,t}$ درآمد عامل iام در گام‌زمانی سالانه t است.

۳- نتایج و بحث

تمامی جزییات مدل مذکور، در نرم‌افزار مدل‌سازی عامل‌بنیان NetLogo کدنویسی شده است و تماماً سعی شده است که داده‌هایی از جمله قیمت فروش محصولات، قیمت آب‌بها، نشریه و سران در سال‌های مختلف با استفاده از اطلاعات شرکت آبیاری منطقه و مصاحبه با کشاورزان با تجربه، به صورت دقیق مشخص شود تا نتایج مدل، هر چه بیشتر به واقعیت نزدیک گردد. با استفاده از مدل پیشنهادی، عملکرد بازارآب در منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت که جزییات بیشتر در مورد نتایج آن در ادامه ارائه می‌گردد.

۳-۱- تعاملات بین کشاورزان و میزان انتقال حقابه بین آن‌ها

هر چه انتقال حقابه‌ها بیشتر باشد، تعداد بیشتری از کشاورزان می‌توانند نیاز آبی خود را تأمین کنند و در نهایت تولید محصولات بدست آمده بیشتر می‌شود. با توجه به تعاریف، در واقع انتقال حقابه‌ها، ماحصل عملکرد مناسب یک سیستم بازارآب است که به کشاورزان اجازه می‌دهد تا هزینه فرصت آب را درنظر بگیرند و از حقابه‌شان، از دید منطقی خودشان، به بهترین نحو ممکن استفاده کنند. شکل ۴، سری زمانی مجموع ارتباطات بین سهام‌داران و میزان انتقال حقابه بین آن‌ها

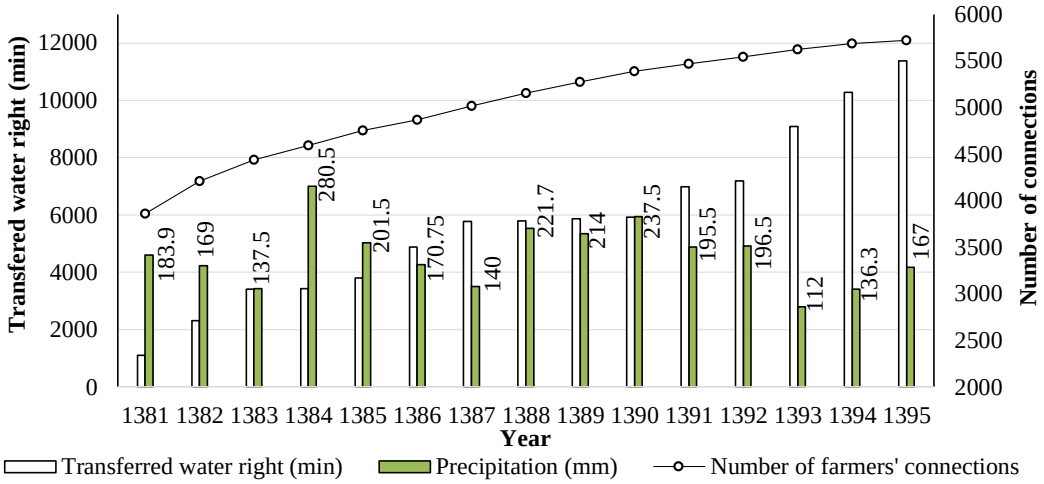

Fig. 4- Time series of transferred water right and farmers' connections

شکل ۴- سری زمانی انتقال حقابه‌ها و تعداد ارتباطات بین کشاورزان

را مشخص می‌کند. منظور از ارتباط بین سهام‌داران، وجود تعاملات بین کشاورزان و باغ‌داران برای مبادله حقابه با هم و شناخت نسبی از همدیگر می‌باشد. شکل ۴ بیانگر این مفهوم است که هرساله کشاورزان، محیط و افراد دیگر سیستم را بیشتر می‌شناسند و نتیجه این شناخت بیشتر آن است که با تعداد افراد بیشتری در تعامل قرار می‌گیرند و درنهایت فرصت‌های بیشتری برای مبادله آب را خلق می‌کنند. نکته‌ی دیگر با توجه به نمودار آن است که با وجود سال‌هایی که منطقه از لحاظ بارش، پرآب بوده و دسترسی به سران در آن سال‌ها موجود بوده است، روند کلی انتقال آب در منطقه صعودی بوده است. این بدان معنی است که کشاورزان علاوه بر استفاده از سران و نشریه، فرصت مبادله آب در بازار را مغتنم شمرده و از آن به‌منظور تأمین نیازهایشان استفاده کرده‌اند.

۳-۲- عملکرد بازار در بهبود سطح زیر کشت منطقه

با توجه به مصاحبه‌های صورت گرفته از کشاورزان باسابقه منطقه و داده‌های موجود در شرکت تعاونی و کشاورزی منطقه، باید گفت که از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ سیب‌زمینی و گندم دو محصول اصلی منطقه به شمار می‌رفته است و از سال ۱۳۸۸ به بعد زردآلو نیز به این لیست اضافه شده است. شکل ۵ میزان سطح زیر کشت سیب‌زمینی و گندم را در مدل ساخته شده، در سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ نشان می‌دهد.

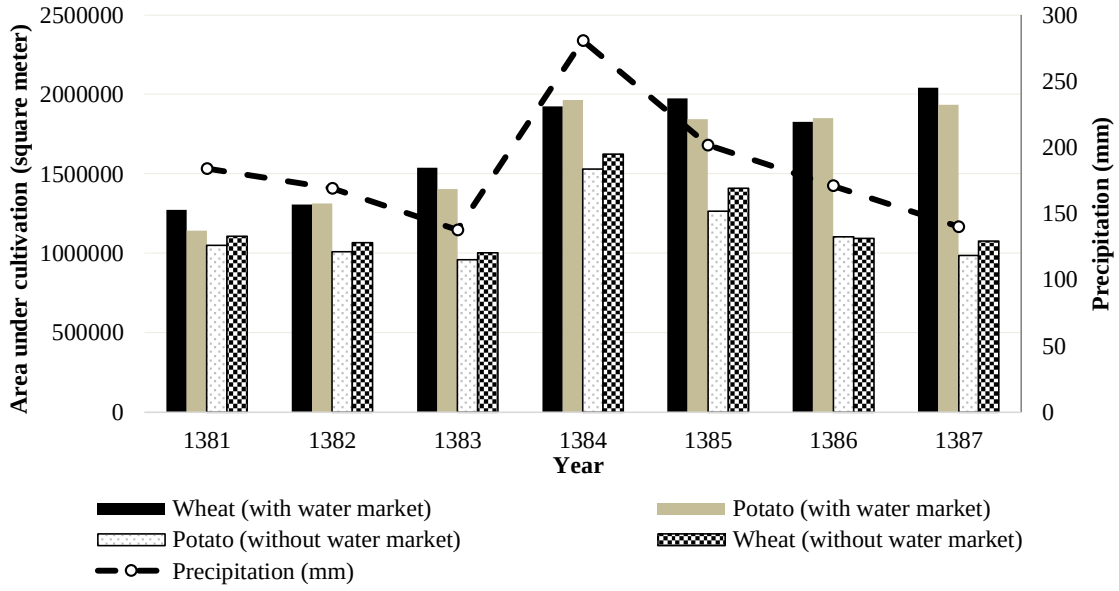

Fig. 5- Land under cultivation of potato and wheat in the annual time step

شکل ۵- سطح زیرکشت سیب‌زمینی و گندم در گام‌های زمانی سالیانه

ازآن‌جا که طبق شواهد، بعد از سال ۱۳۸۷ به علت تبدیل میزان قابل توجهی از اراضی کشاورزی به باغ، سطح زیرکشت محصولات سیب‌زمینی و گندم کاهش یافته است، در این قسمت، تنها به بررسی سطح زیرکشت سیب‌زمینی و گندم در سال‌های ماقبل ۱۳۸۸ پرداخته شده است.

از نمودار شکل ۵ این نکته دریافت می‌گردد که حتی در برخی از سال‌هایی که میانگین بارش کم بوده است، مکانیزم بازارآب، از کاهش زیاد سطح زیرکشت جلوگیری می‌کند. به‌عنوان‌مثال، در این نمودار، منطقه در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ کاهش بارش زیادی را تجربه نموده است، ولی با شناخت هر چه بیشتر کشاورزان از هم، حقابه‌های بیشتری مورد مبادله قرارگرفته و ماحصل این مبادلات، این است که سطح زیر کشت هر دو محصول در این سال‌ها، به شکل چشم‌گیری کاهش نیافته است. علاوه بر این، به منظور بررسی بهتر عملکرد بازار، سناریوی حاضر در حالتی که بازارآب در منطقه موجود نباشد نیز مورد بررسی قرار گرفته است. اطلاعات مربوط به این شرایط نیز در شکل ۵ موجود است. تحت شرایط عدم امکان مبادله آب، این نکته به خوبی مشهود است که میزان اراضی تحت کشت، وابستگی چشم‌گیری به بارش سالانه دارد؛ به‌نحوی‌که در سال‌های نسبتاً خشک، مساحت اراضی زیرکشت، به شدت کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که تحت این شرایط، حتی در سال‌هایی که بارش نسبتاً خوبی رخ داده است (مانند سال ۱۳۸۴)، افزایش مساحت زیرکشت به اندازه افزایش این پارامتر در سناریوی همراه با بازارآب، نیست. علت اصلی این اتفاق، به مشخص‌بودن حقابه‌های هر کشاورز برمی‌گردد. اگر امکان مبادله آب بین کشاورزان موجود نباشد، کشاورزانِ دارای حقابه کمتر از نیازآبی نمی‌توانند از دیگر کشاورزانی که دارای مازاد حقابه می‌باشند، آب تهیه کنند. این اتفاق حتی در ترسالی‌ها منجر به جلوگیری از افزایش حداکثری سطح زیرکشت می‌شود. در ادامه، نمودارهای شکل ۶، بیان‌کننده این موضوع است که درنظرگرفتن سطح زیرکشت به عنوان پارامتری تعیین‌کننده، می‌تواند مورد بررسی قرار بگیرد.

با توجه به شکل ۶، این نکته به وضوح مشخص است که حقیقت افزایش (یا کاهش) سطح زیرکشت که با افزایش (یا کاهش) محصولات همراه است، در مدل، درنظر گرفته شده است. این واقعیت ناشی از آن است که کشاورزان منطقه به علت آنکه در فصول زراعی احتمال بارش اندک است، سعی می‌کنند که سطح زیرکشت خود را منطبق با حقابه در دسترس خود زیر کشت ببرند.

۳-۳- تأثیر بازار بر میزان فقر

معیار بررسی تنگ‌دستی کشاورزان در این تحقیق، خط فقر اعلام‌شده توسط مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی بر اساس روش حداقل کالری دریافتی است (Shahbazian A et al., 2017).

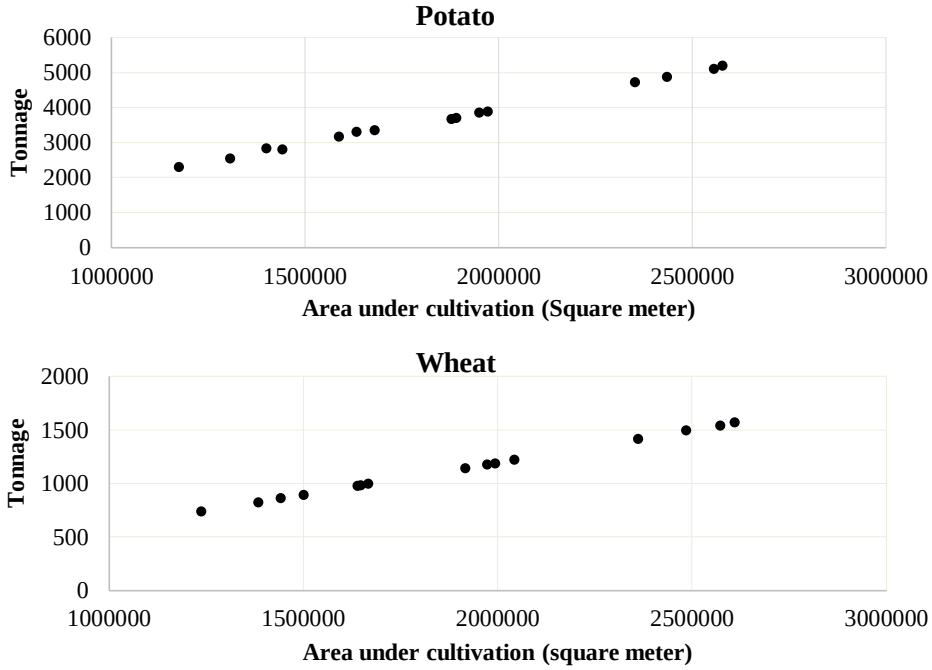

Fig. 6- The relationship between the area under cultivation and the crop tonnage

شکل ۶- رابطه بین سطح زیرکشت و تناژ محصولات

همچنین برای سال‌هایی که این آمار در دسترس نیست، از تحقیق صورت گرفته پیرامون محاسبه خط فقر در مناطق روستایی کشور استفاده شده است (Bahramian and Karami, 2017). در این روش فرض بر این است که یک فرد عادی باید در روز در حدود ۲۱۰۰ کیلوکالری دریافت نماید، بنابراین افرادی که کمتر از این مقدار کالری دریافت می‌کنند با احتمال بالایی از فقر رنج می‌برند. در ادامه با درنظرگیری ضریب منطقی برای میزان خط فقر با توجه به تعداد اعضای خانواده‌ها، شرایط سنی و جنسیت آن‌ها، تعداد افرادی که زیرخط فقر هستند اندازه‌گیری شده است. به‌عنوان مثال، این ضریب برای یک خانواده ۴ نفره که متشکل از پدر و مادر با حدود سنی بین ۳۰ تا ۶۰ سال و دو فرزند پسر و دختر با حدود سنی ۱۶ تا ۱۸ سال است، برابر با ۳/۸۲ می‌باشد (Dercon and Krishnan, 1998). این به آن معنی است که به‌عنوان مثال اگر در یک سال، میزان خط فقر برابر با ۲ واحد ارزش پولی باشد، درآمد این خانواده بایستی بیشتر از ۷/۶۴ واحد باشد تا از لحاظ اقتصادی و رفاه اجتماعی زیرخط فقر نباشند. شکل ۷، تعداد کشاورزان زیرخط فقر و میانگین ارتباطات بین کشاورزان را در طول زمان شبیه‌سازی نشان می‌دهد. این نمودار، برخلاف نمودارهای پیشین، لزوماً بر شرایط فعلی منطقه دلالت ندارد و به دنبال بررسی این سوال است که با تغییر تعداد تعاملات و ارتباطات بین عامل‌ها، چه اتفاقی رخ می‌دهد. همان‌طور که در اکثر سال‌های نمودار شکل ۷ مشاهده می‌گردد، هنگامی‌که میانگین تعداد تعاملات بین کشاورزان بیشتر می‌شود، مبادله حقابه افزایش می‌یابد و در نتیجه تعداد افراد زیرخط فقر کم‌تر می‌شود. در توجیه این پدیده می‌توان گفت که هرچه تعاملات بیشتر باشد، درآمد کشاورزان بیشتر شده و در نهایت تعداد کشاورزانی که زیرخط فقر هستند، کاهش می‌یابد. به‌صورت‌کلی، نتیجه حاصل، حاکی از آن است که در دوره شبیه‌سازی ۱۵ ساله، با افزایش میانگین تعداد تعاملات در سال از ۱۰۰۰ به ۵۰۰۰، تعداد افراد زیرخط فقر به صورت میانگین، ٪۲۵ در هر سال کاهش می‌یابد. گفتنی است که برای تحلیل حساسیت این قسمت، به منظور افزایش و کاهش تعداد میانگین تعاملات در شبکه اجتماعی مدل، پارامترهای θ_1، θ_2 و θ_3 در رابطه ۱، تغییر مقدار یافته‌اند.

شواهد موجود در منطقه، مبین آن است که هرساله، با افزایش قیمت‌ها، قیمت آب‌بها، نشریه و سران نیز عموماً روندی صعودی دارد. به کمک این موضوع و همچنین نتیجه تحلیل حساسیتی که در شکل ۷ بدست آمد، می‌توان گفت که حتی با افزایش طبیعی قیمت‌های مربوط به آب در منطقه، به کمک ایجاد محیطی تعاملی و عملکرد مطلوب بازارآب، کاهش تعداد افراد زیر خط فقر صورت می‌گیرد.

۳-۴- تأثیر پارامتر سودجویی بر درآمد خالص

در این قسمت، به بررسی پارامتر سودجویی عامل‌های کشاورز و باغدار و تأثیر آن بر میزان درآمد آن‌ها پرداخته شده است. نکته قابل توجه آن است که به منظور قابل قیاس بودن همه کشاورزان با یکدیگر، در این قسمت از پارامتر سود خالص بر واحد سطح اراضی هر کشاورز استفاده شده است. شکل ۸ تأثیر میزان سودجویی را بر این پارامتر نشان می‌دهد.

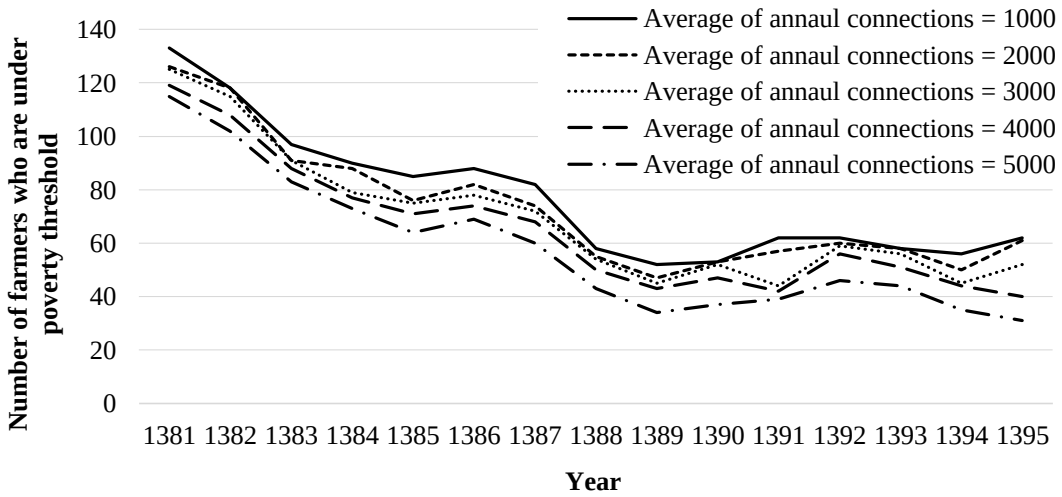

Fig. 7- Time series of the number of poor farmers and connections
شکل ۷- سری زمانی تعداد میانگین ارتباطات و تعداد سالیانه کشاورزان زیر خط فقر

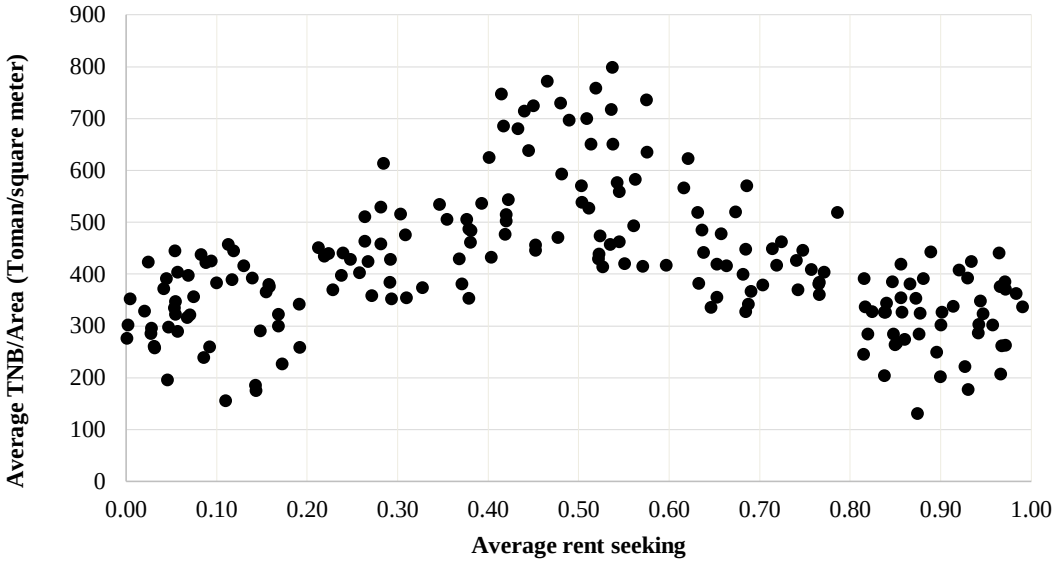

Fig. 8- The relationship between the average income per area and the average rent seeking
شکل ۸- ارتباط بین میانگین درآمد بر واحد سطح و میانگین نرخ سودجویی

برای تهیه شکل ۸، میانگین نرخ سودجویی تمامی کشاورزان و باغداران با درنظر گرفتن سقف عدد یک به دست آمد. همانطور که در این شکل مشخص است، به نظر می‌رسد نسبت متوسط درآمد به زمین عاملینی که دارای میانگین نرخ سودجویی خیلی پایین و یا خیلی بالا بوده‌اند، کمتر از این نسبت برای عاملینی است که نرخ سودجویی متوسطی را داشته‌اند. علت این پدیده آن است که عاملین خریدار و فروشنده با سودجویی خیلی بالا، طبق رابطه ۳، معمولاً به ترتیب قیمت‌های خیلی پایین و خیلی بالایی را پیشنهاد می‌دهند. بنابراین امکان موفقیت آن‌ها در مبادله حقابه نسبت به دیگر رقبا کمتر است. از طرفی، عاملین با نرخ سودجویی خیلی پایین نیز معمولاً قیمت‌هایی را پیشنهاد می‌دهند که سود قابل توجهی را میسر نمی‌کند.

۴- جمع‌بندی

در بسیاری از نقاط جهان، سیستم بازارآب، به‌صورت رسمی و غیررسمی و با قوانین متنوعی فعال است. پرسش مهم آن است که آیا یک بازار غیررسمی، بازاری شبیه به بازار موجود در منطقه مجن، می‌تواند کارا و مفید واقع شود. نتایج مورد بررسی در این تحقیق به‌وضوح نشان می‌دهد که بازارآب غیررسمی نیز تأثیر مفید و گسترده‌ای در عملکرد کشاورزان منطقه دارد، به‌نحوی‌که هم به‌صورت جزیی (سود هر کشاورز و افزایش درآمد) و هم به‌صورت کلی (جلوگیری از بایرشدن زمین‌ها) دارای ویژگی‌های تأثیرگذاری است. در مواقع کم‌آبی و خشکسالی نیز عملکرد موفقیت‌آمیز بازارآب در منطقه بر همگان مشهود است. همان‌طور که در قسمت نتایج مشاهده شد، پس از توزیع حقابه‌ها، همواره افرادی که حقابه‌شان بیش از نیازآبی‌شان بوده است، با توجه به آشنایی با دیگر افراد منطقه، در تلاش‌اند تا حقابه مازاد بر نیاز خود را به افرادی بفروشند که هنوز نتوانسته‌اند نیازآبی خود را برطرف نمایند.

واضح است که تبدیل بازار غیررسمی به بازار رسمی پروژه‌ای بسیار پرهزینه به شمار می‌رود و شاید انجام آن برای بعضی دولت‌ها، در اولویت امور قرار نگیرد. اصلاح برخی از بسترهای قانونی و زیرساختی می‌تواند سبب شود که بازار غیررسمی از جهت عملکرد، تا حدود زیادی شبیه به بازار رسمی گردد. ثبت تمامی مبادلات در سازمان بازارآب، مهیا ساختن بستری برای خرید و فروش آب (مانند استفاده از یک اپلیکیشن گوشی همراه) و مدیریت دقیق محیط بازار برای جلوگیری از خطراتی مانند کاهش محیط رقابتی و به وجود آمدن انحصار و همچنین افزایش اثرات مخرب شخص ثالث، از مواردی است که رسیدگی به آن‌ها بایستی در معرض توجهات یک بازار غیررسمی قرار بگیرد.

پی‌نوشت‌ها

1. System Dynamics
2. Game Theory
3. Positive Mathematical Programming (PMP)
4. Discriminatory Price Double-Auction
5. Uniform Price Double-Auction
6. Equilibrium Price Market Structure
7. Sigmoid Function
8. Sum of Squared Residuals

۵- مراجع

Aghaie V, Alizadeh H, and Afshar A (2020) Agent-based hydro-economic modelling for analysis of groundwater-based irrigation water market mechanisms. Agricultural Water Management 234:106-114

Ahmadi A, Zolfagharipoor MA, Nikouei AR, and Dorreali MY (2016) Economic assessment of technical infrastructure implementation of an agricultural water market, a case study: part of the mahyar irrigation network. Iran-Water Resources Research 12(3):35-49 (In Persian)

Alarcón J and Juana L (2016) The water markets as effective tools of managing water shortages in an irrigation district. Water Resources Management 30(8):2611-625

Bahramian S and Karami A (2017) Study of poverty trend in rural areas of Iran. Agricultural Economics Research 10(4):195-214 (In Persian)

Bauer C (2010) Market approaches to water allocation: lessons from latin America. Journal of Contemporary Water Research & Education 144(1):44-49

Bohlolvand A and Sadr SK (2007) Measuring competition in the Mojen water market. Agricultural Economics 2:30-64 (In Persian)

Carey JM and Sunding DL (2001) Emerging markets in water: A comparative institutional analysis of the Central Valley and Colorado-Big Thompson projects. Natural Resources Journal 41(2):283-328

Chang Ch and Griffin R (1992) Water marketing as a reallocative institution in Texas. Water Resources Research 28(3):879-90

Dercon S and Krishnan P (1998) Changes in poverty in rural ethiopia 1989-1995: Measurement, robustness tests and decomposition. CES-Discussion Paper Series 12(2):50-104

Donohew Z (2009) Property rights and western united states water markets. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics 53(1):85-103

Du E, Cai X, Brozović N, and Minsker B (2017) Evaluating the impacts of farmers' behaviors on a hypothetical agricultural water market based on double auction. Water Resources Research 53(5):4053-4072

Easter KW, Rosegrant MW, and Dinar A (1999) Formal and informal markets for water: Institutions, performance, constraints. The World Bank Research Observer 14(1):99-116

Howitt RE (1995) Positive mathematical programming. American Journal of Agricultural Economics 77(2):329-342

Hu Y, Quinn CJ, Cai X, and Garfinkle NW (2017) Combining human and machine intelligence to derive agents' behavioral rules for groundwater irrigation. Advances in Water Resources 109:29-40

Jamali Jaghdani T and Brümmer B (2015) Determinants of willingness to pay for groundwater: insights from informal water markets in rafsanjan, Iran. International Journal of Water Resources Development 32(6):944-960

Kanooni A, Hasani Y, Gharaei K, and Dindar A (2020) The effects of water market development on farmers' selective cultivation pattern in sabalan irrigation network, Ardabil. Iran-Water Resources Research 16(2):323-333 (In Persian)

Keramatzadeh A and Arabi M (2020) Investigating the local water markets in the North Khorasan province (case study: downstream of Shivan Barzoo dam). Iran-Water Resources Research 16(2):334-345 (In Persian)

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

Montilla-López N, Gómez-Limón J, and Gutiérrez-Martín C (2018) Sharing a river: Potential performance of a water bank for reallocating irrigation water. Agricultural Water Management 200:47-59

Murphy J, Dinar A, Howitt RE, Rassenti S, and Smith V (2000) The design of smart water market institutions using laboratory experiments. Environmental and Resource Economics 17(4):375-394

Pujol J, Raggi M, and Viaggi D (2005) Agricultural water markets: Exploring limits and opportunities in Italy and Spain 1:1-13

Raina A, Gurung Y, and Suwal B (2020) Equity impacts of informal private water markets: Case of Kathmandu Valley. Water Policy 22(1):189-204

Rajabpour S (2018) Determination of water distribution system in Mojen. 2nd Biennial Conference on Water Economics, 20p

Safari N, Zarghami M, Behboudi D, and Alami MT (2016) Market-based welfare effects modeling in regional allocation of water compared to the administrative allocation by developing cooperative game; case study. Iran-Water Resources Research 12(3):22-34 (In Persian)

Xu T, Zheng H, Zhao J, Liu Y, Tang P, Yang YCE, and Wang Zh (2018) A two-phase model for trade matching and price setting in double auction water markets. Water Resources Research 54(4):2999-3017

Yousefi A, Hassan-Zade M, and Keramat-Zade A (2014) The welfare effect of water market allocation in Iranian economy. Iran-Water Resources Research 10(1):15-25 (In Persian)

Zekri S and Easter KW (2005) Estimating the potential gains from water markets: A case study from Tunisia. Agricultural Water Management 72(3):161-175

Shahbazian A, Abdollahi MR, Eynian M, and Kaviani Z (2017) Iran poverty line in 2016 and a review of its calculation method. Islamic Parliament Research Center of The Islamic Republic of Iran (Majlis of Iran), 47p (In Persian)

Vahedi Zade S, Forouhar L, and Kerachian R (2019) Comparative study of international water markets. Iran-Water Resources Research 14(4):194-205 (In Persian)

Wilensky U and Rand W (2015) An introduction to agent-based modeling: Modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo. MIT Press, 505p