

مقاله پژوهشی

بررسی مسیر رفتار و آسیب‌شناسی بهره‌برداری از منابع آب دشت میاندوآب با استفاده از رویکرد ABM-FTA

سمیه امامی^۱ و حسین دهقانی‌سانج^{۲*}

چکیده

با توجه به محدودیت‌های منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه و به‌منظور مدیریت بهتر، ضروری است علاوه بر مسائل اقتصادی و اجتماعی، روابط بین کاربران نیز در نظر گرفته شود. در پژوهش حاضر، تعاملات اجتماعی و منافع اقتصادی ذی‌نفعان تحت سناریوهای مختلف تسهیلاتی، نظارت و آموزش دولت برای ارزیابی تأثیرات آن بر تصمیم‌گیری بهره‌برداران در قالب یک مدل عامل‌بنیان (ABM) ارائه شد. سپس با استفاده از آنالیز درخت خطا (FTA)، سناریوهایی که منجر به عدم بهره‌برداری بهینه از منابع آب شده‌اند، شناسایی شد. اطلاعات دشت میاندوآب، به‌عنوان نمونه‌ای از مناطق تأثیرگذار بر مدیریت منابع آب حوضه با استفاده از اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای، پرسشنامه‌ها و مصاحبه‌های تخصصی جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد سیاست یارانه‌ای و نظارت و آموزش دولت به‌ترتیب با $F\text{-value}=4375.59$ و $F\text{-value}=1055.10$ و $p\text{-value}=0.0$ نقش اساسی در افزایش بهره‌وری آب در دشت میاندوآب ایفا می‌کنند. همچنین نتایج نشان داد که دلیل اصلی عدم بهره‌برداری بهینه از منابع آب این دشت، عدم‌انگیزه و مطالبه‌گری کشاورزان و آگاهی پایین ساکنان حوضه با احتمال شکست به‌ترتیب 90 و 86 درصد است. نتایج تأیید می‌کنند که فهم دقیق الگوها و ارتباطات، با افزایش انگیزه و آگاهی کشاورزان از اهمیت پایداری بلندمدت منابع آب، می‌تواند به راهکاری مناسب در فرایند استفاده بهینه از منابع آب منجر شود.

واژه‌های کلیدی: آنالیز درخت خطا، مدل عامل‌بنیان، تعاملات اجتماعی، منابع آب، دریاچه ارومیه.

ارجاع: امامی س. و دهقانی‌سانج ح. ۱۴۰۳ بررسی مسیر رفتار و آسیب‌شناسی بهره‌برداری از منابع آب دشت میاندوآب با استفاده از رویکرد ABM-FTA. مجله پژوهش آب ایران. ۵۴: ۲۰-۱. <https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2024.14760.2603>

۱- پژوهشگر پس‌ادکتری، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران.

۲- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران.

* نویسنده مسئول: h.dehghanisanij@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱

مقدمه

بحران آب در بسیاری از کشورهای دنیا و به‌ویژه ایران تبعات بسیاری به‌همراه داشته است. ایران به‌دلیل ویژگی‌های اقلیمی و جغرافیایی خاص (بارش کمتر از یک‌سوم متوسط جهانی و تبخیر بیش از سه‌برابر متوسط جهانی)، در معرض کمبود آب است (Kiani Ghalehsard *et al.*, 2019). خشکی و نابودی تالاب‌ها و رودخانه‌ها بیانگر وضعیت نابسامان ایران از لحاظ منابع آبی است. دریاچه ارومیه، بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران است که به‌دلیل مشکلات اقلیمی و انسانی، رو به زوال است. افزایش سطح زیر کشت آبی، کاهش نزولات جوی، پایین‌بودن راندمان آبیاری کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و عدم اختصاص آب کافی برای تأمین نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌های منتهی به دریاچه، از مهم‌ترین عوامل تشدیدکننده بحران و خشکی دریاچه ارومیه محسوب می‌شوند (Saffari and Zarghami, 2013; Sharif Nesab and Shourian, 2016; Dehghanisanij *et al.*, 2022). افزون بر تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌ها و عوامل طبیعی، ضعف در مدیریت منابع آب ناشی از عوامل انسانی نیز تأثیر بسزایی در بحران به‌وجودآمده کنونی دریاچه ارومیه داشته است (Delavar *et al.*, 2014; Ejazi *et al.*, 2020). ضعف ساختارهای مدیریتی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، نیاز به بهره‌برداری مناسب و مفید از منابع آب موجود را دوچندان می‌کند. این امر، ایجاد یک برنامه مدیریت پایدار در بخش آب و ایجاد بسترهای مناسب با درنظرگرفتن ابعاد طبیعی-اجتماعی و ساختار اداری در ابعاد محلی، استانی و ملی را طلب می‌کند (Jabbari *et al.*, 2022).

با توجه به محدودیت‌های موجود در منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه، برای مدیریت بهتر منابع آب بایستی علاوه بر ارزش‌های اقتصادی و مسائل اجتماعی، روابط بین کاربران نیز در نظر گرفته شود. اهمیت این مسئله تا حدی است که گاهی نتایج به‌صورت قابل‌توجهی تحت‌تأثیر روابط بین کاربران قرار می‌گیرد و در نتیجه مسئولان قادر به مدیریت صحیح حوضه آبریز نیستند (Afshar *et al.*, 2014). از این‌رو، یک رویکرد جامع برای ارزیابی عملکرد حوضه‌های آبریز می‌تواند بر آسیب‌پذیرترین نقاط تمرکز کند و آسیب‌پذیری آن‌ها را در شرایط بحرانی کاهش دهد. شناخت دقیق حوضه

آبریز، حذف عوامل مخرب انسانی و طبیعی و لزوم به‌کارگیری رویکردهای جدید در تحلیل آسیب‌پذیری آن‌ها، رمز موفقیت در بهبود و پیشگیری از خطرات احتمالی در حوضه‌های آبریز است. در مقایسه با مطالعات منابع آب با هزینه‌ها و مشکلات بالا، مدل عامل‌بنیان (ABM) یک روش جایگزین ارائه می‌دهد. مدل‌های منابع آب برای توصیف پویایی جمعیت پیشنهاد شده‌اند و عمدتاً به دو نوع مدل‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی تقسیم می‌شوند (Sun *et al.*, 2017). مدل‌های میکروسکوپی، می‌توانند رفتار فردی را با دقت بیشتری توصیف کرده و به واقعیت نزدیک‌تر شوند. در این میان، مدل‌های ABM پیشرفت چشم‌گیری داشته‌اند. ABM می‌تواند انواع مختلفی از عامل‌ها را شبیه‌سازی کند که ممکن است دارای هوش ابتدایی برای تصمیم‌گیری باشند. در سال‌های اخیر، مدل‌های ABM برای مدیریت منابع آب توسعه یافته است (Berglund, 2015; Lin *et al.*, 2020). مدل‌های ABM پتانسیل بهبود قابل‌توجهی در طراحی مقررات سختگیرانه و مشوق‌های مدیریت منابع آب دارند (Castilla-Rho *et al.*, 2015; Xiao *et al.*, 2018). کاربرد مدل‌سازی عامل‌بنیان در مدل‌سازی رفتار کشاورزان، عامل‌های نهادی مؤثر، آبخوان و نیز روابط بین آن‌ها در دشت شبستر-صوفیان با مشارکت ذی‌نفعان نشان داد در صورت هماهنگی مناسب نهادها و جلب مشارکت کشاورزان، ضمن افزایش درآمد کشاورزان، می‌توان در طی ۱۰ سال، حدود ۲۰۰ میلیون مترمکعب برداشت از چاه‌ها را کاهش داد و تا حدود ۴۰ درصد بیلان منفی آبخوان را جبران کرد (Anbari *et al.*, 2021). طی پژوهشی چارچوب مفهومی برای شبیه‌سازی ویژگی‌های رفتاری و محیطی عوامل تصمیم‌گیرنده در خصوص بهره‌برداری آب در بخش کشاورزی با استفاده از مدل ABM در حوضه آبخیز حبل‌رود توسعه داده شد. برای تدوین مدل مفهومی و فراهم‌کردن امکان شبیه‌سازی و تحلیل رفتاری عوامل بهره‌بردار (برای تعیین الگوی کشت، روش آبیاری و میزان آب برداشتی در سه سطح دولت، سازمانی و کشاورزان)، از چارچوب تحلیل و توسعه نهادی MAIA استفاده شد. نتایج نشان داد مدل ABM در شبیه‌سازی وضعیت حوضه شامل تغییرات جریان آب سطحی، الگو و سطح اراضی زراعی و باغی و برداشت از منابع آب زیرزمینی عملکرد مناسبی داشته است

اجتماعی-اقتصادی کشاورزان هنگام ارزیابی تصمیم‌های آتی مهم است (Harik et al., 2023). مطالعات قبلی عمدتاً بر رفتار کشاورزان و مدل‌سازی و بهینه‌سازی منابع آب متمرکز بوده است. یک شکاف دانش در مورد استفاده از اطلاعات مدل‌سازی ABM در تصمیم‌گیری وجود دارد. برای پرکردن این شکاف، در این مطالعه با اتخاذ مدل‌سازی ABM و توسعه آنالیز درخت خطا (FTA) به شناسایی سناریوهایی که منجر به عدم‌استفاده بهینه از منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه می‌شود، پرداخته شده است. برای این منظور، دشت میاندوآب به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های اصلی دریاچه ارومیه برای نشان‌دادن رویکرد مورد استفاده انتخاب شد. حوضه آبریز دریاچه ارومیه در ایران به‌دلیل مشکلات متعدد ناشی از کمبود منابع آبی، کیفیت نامناسب آب، مخاطرات اکولوژیکی و آسیب‌های اجتماعی-اقتصادی نیازمند ارزیابی جامع برای تعیین خطر کل شکست حوضه است؛ بنابراین برای مدیریت ریسک و بهبود وضعیت این حوضه باید شاخص‌های ریسک ارائه شود؛ علاوه‌براین، این الگوواره می‌تواند برای زیرحوضه‌های دیگر دریاچه ارومیه برای شناسایی مسیرهای بحرانی و جلوگیری از استفاده نامناسب از منابع آب مورد استفاده قرار گرفته و از پیامدهای فاجعه‌بار کمبود آب در این حوضه جلوگیری شود.

مواد و روش‌ها

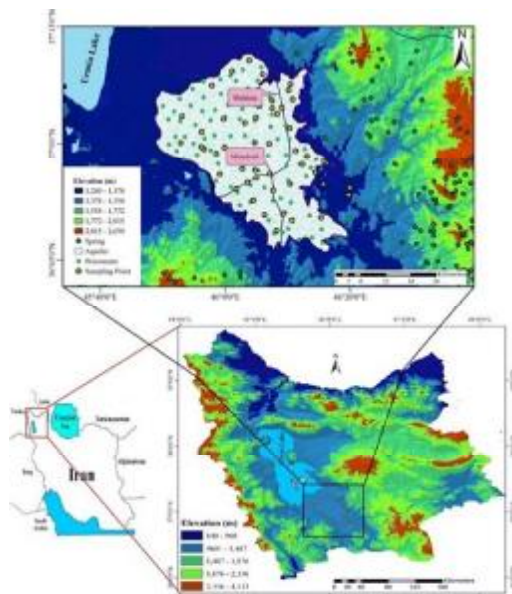
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال‌غرب ایران با مساحت ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع یکی از ۶ حوضه آبریز اصلی کشور است. این حوضه بین استان‌های آذربایجان‌غربی (۴۶ درصد)، آذربایجان شرقی (۴۳ درصد) و کردستان (۱۱ درصد) قرار دارد. روند نزولی افت سطح آب دریاچه ارومیه پس از دوران پراپی آن در سال ۱۳۷۴، شروع شد و در طی بیست سال، تراز دریاچه بیش از ۸ متر افت کرده است. در نتیجه این افت تراز در طی بیست سال، بیش از ۳۰ میلیارد مترمکعب از حجم آب دریاچه ارومیه در اثر تبخیر و عدم ورود حقایق سالانه از بین رفته است و در اثر پس‌روی قابل‌ملاحظه سطح دریاچه، میزان خشکی دریاچه در شهریور ۱۳۹۳ به‌حدی رسید که

(Pooralhossein et al., 2020). نتایج پژوهش‌ها حاکی از آن است که اجرای همزمان چهار طرح نصب کنتورهای هوشمند، تعدیل پروانه چاه‌ها، ترویج سیستم‌های نوین آبیاری و ایجاد شرکت‌های تعاونی تولید ضمن حفظ درآمد خالص کشاورزان با مدل‌سازی ABM، منجر به کاهش برداشت آب به میزان ۴۴ درصد نسبت به سناریوی پایه می‌شود (Jabbari et al., 2022). در پژوهشی چگونگی استفاده از روش‌های مشارکتی برای گنجاندن عناصر انسانی پیچیده در مدیریت منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش پویایی سیستم بررسی شد. سناریوی مطلوب با ادغام سه راهبرد سیاستی اصلاح ساختار حکمرانی منابع آب زیرزمینی در دشت مرنده، افزایش راندمان آبیاری از طریق اجرای شبکه‌های آبیاری مدرن و اصلاح الگوی کشت در سطح دشت مرنده دست‌آمد (Isanezhad et al., 2024). در مطالعه‌ای دیگر، یک مدل حل اختلاف جدید براساس رویکرد مدل‌سازی ABM برای ارزیابی سیاست‌های مختلف مدیریت آب از طریق شبیه‌سازی رفتار ذی‌نفعان مختلف ارائه شد. نتایج، کاربرد و بهره‌وری مدل ABM را در مدل‌سازی و مدیریت سیستم‌های منابع آب پیچیده، که از مسائل اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی رنج می‌برند، نشان می‌دهند (Darbandsari et al., 2017). به‌کارگیری مدل‌سازی ABM نشان داد مجوز پروژه آبرسانی منطقه غرب داکوتای شمالی، اجرای برنامه جایگزین آبیاری و تسریع در صدور مجوزهای موقت آب‌های سطحی، مؤثرترین سیاست‌های آبی اتخاذشده در دوران کاهش کمبود آب است (Lin et al., 2020). طی پژوهشی یک مدل مبتنی بر عامل برای شبیه‌سازی مصرف آب کشاورزی و پویایی اجتماعی-هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه در کالیفرنیا توسعه داده شد. نتایج نشان داد قیمت آب بازیافتی تأثیرگذارترین عامل در کل مصرف آب بازیافتی توسط کشاورزان است (Shoushtarian et al., 2022). اجرای سناریوهای مختلف با ترکیب روش‌های متعدد کنترل آبیاری (زمان در مقابل تقاضای آب)، تخلیه رودخانه‌های مختلف، ظرفیت‌های دروازه‌های متنوع و چندین استراتژی تخصیص آب نشان داد IRABM دیدگاه جدیدی در مدل‌سازی سیستم انسان-آب ارائه می‌کند (Lang and Ertsen, 2022). طی مطالعه‌ای با استفاده از مدل‌سازی ABM مشخص شد اهمیت ویژگی‌های

درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شرقی و متوسط ارتفاع دشت از سطح دریا برابر با ۱۲۹۲ متر است (Dehghanisanij *et al.*, 2024). توپوگرافی کلی دشت میاندوآب به‌صورت یکنواخت و هموار بوده و تنها تعدادی تپه کوچک در قسمت مرکزی آن وجود دارد. در شکل ۲ موقعیت جغرافیایی دشت میاندوآب روی نقشه نشان داده شده است.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی دشت میاندوآب (Norouzi *et al.*, 2021)

مدل‌سازی عامل‌بنیان

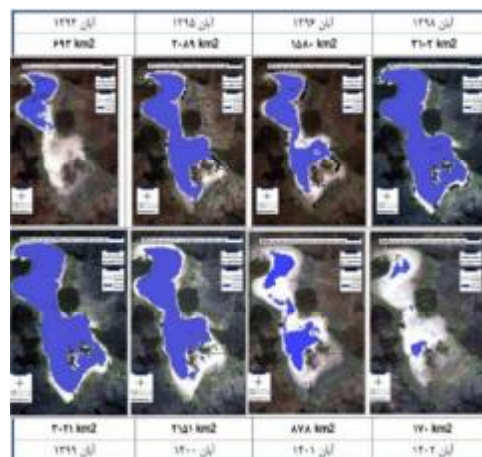
مدل‌سازی عامل‌بنیان یک روش تحلیلی جدید در علوم اجتماعی محسوب می‌شود که به‌سرعت توسعه یافته است. در سال‌های اخیر، ABM به‌عنوان یک رهیافت روش‌شناسی، نویددهنده‌ای برای پژوهش‌های متعدد در علوم مختلف در نظر گرفته شده است (شکل ۳). در این نوع مدل‌سازی، برای شبیه‌سازی کنش‌ها و تعاملات عامل‌های مختار (شامل افراد و نهادهای جمعی مانند سازمان‌ها یا گروه‌ها) و سنجش تأثیرات آن‌ها بر سیستم به‌عنوان یک کل کاربرد دارد. این روش، عناصری از نظریه بازی، سیستم‌های پیچیده، پیدایش، جامعه‌شناسی محاسباتی، سیستم‌های عامل چندگانه و برنامه‌نویسی تکاملی را با یکدیگر ترکیب می‌کند (Grimm *et al.*, 2006).

قسمت جنوبی آن با خشکی کامل مواجه شد (Habibi *et al.*, 2021). براساس تصاویر ماهواره‌ای، مساحت دریاچه ارومیه در آبان ۱۴۰۲ به ۱۷۰ کیلومتر مربع کاهش یافته است. این رقم از یک سو در مقایسه با ماه مشابه سال ۱۴۰۱، حکایت از افت بیش از ۸۰ درصدی مساحت دریاچه دارد و از سوی دیگر، کم‌ترین میزان در ۸ سال گذشته محسوب می‌شود (شکل ۱).

بررسی مطالعات متعدد نشان می‌دهد که دو عامل اصلی در خشکی دریاچه ارومیه عبارت‌اند از:

- توسعه نامتوازن و برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب تجدیدپذیر حوضه (عوامل انسانی)
- تغییرات و نوسانات اقلیمی و استمرار خشکسالی (عوامل طبیعی)

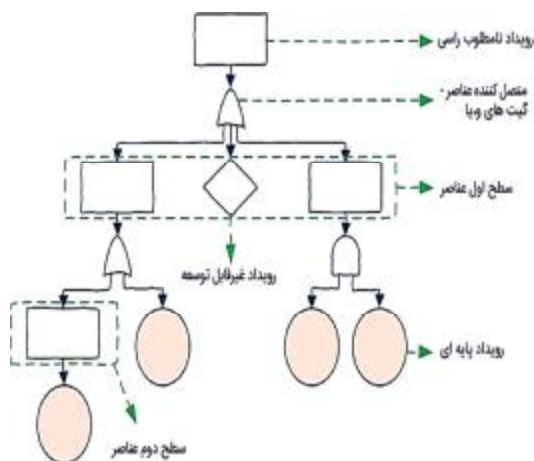
نقش عوامل طبیعی به‌صورت کاهش بارش میانگین بلندمدت و در نتیجه کاهش منابع آب تجدیدپذیر حوضه است؛ اما تعیین سهم هرکدام از این عوامل در بروز بحران در دریاچه ارومیه موضوعی مناقشه‌برانگیز بوده است. مطالعات گروه تخصیص وزارت نیرو عنوان می‌کند که سهم عوامل طبیعی اعم از کاهش ۱۸ درصدی بارش و افزایش ۱/۵ درجه‌ای دما طی دو دهه اخیر در بروز بحران در دریاچه ارومیه ۳۱ درصد بوده و سهم عوامل انسانی در این واقعه ۶۹ درصد است (Habibi *et al.*, 2021).



شکل ۱- تغییرات وسعت دریاچه ارومیه از آبان سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۲ براساس تصاویر ماهواره‌ای

دشت میاندوآب

دشت میاندوآب در قسمت جنوبی دریاچه ارومیه و در استان آذربایجان غربی واقع شده است. موقعیت جغرافیایی دشت مابین مدار ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۷



شکل ۴- ساختار آنالیز درخت خطا

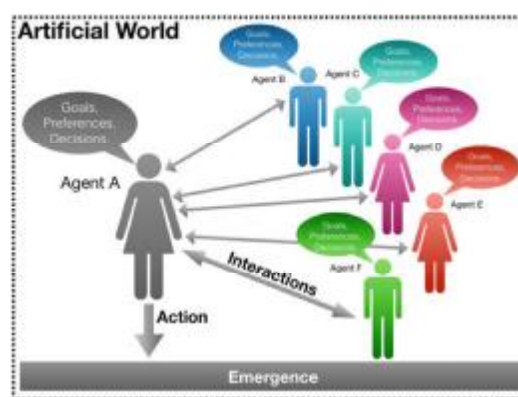
در مدل ABM ارائه شده، نحوه تغییر مشخصه‌ها، رفتارهای گروهی از کشاورزان و اثر تصمیمات دولت بر آن‌ها به عنوان دو عامل اصلی و تأثیرگذار در بهره‌برداری از منابع محدود آب سطحی و زیرزمینی، مدل سازی شده است. با بهره‌گیری از این مدل می‌توان به تصویر روشن‌تر از سیستم پیچیده انطباق‌پذیر تصمیمات هریک از کشاورزان در تعامل و ارتباط با سایر کشاورزان و محیط در مواجهه با سیاست‌های دولت دست یافت.

توصیف مدل

عامل کشاورز

این عامل‌ها با توجه به مختصات جغرافیایی خود در مدل پراکنده شده‌اند. هریک از کشاورزان دارای مختصات جغرافیایی خاص خود بوده و معمولاً برای آبیاری محصولات کشاورزی خود از چاه‌های آب حفر شده در داخل یا اطراف زمین زراعی خود بهره‌برداری می‌کنند. فاصله مزارع و چاه‌ها مشخص بوده و هرچه این فاصله کمتر باشد، ارتقای سیستم آبیاری تسهیل می‌شود. تنها تعداد محدودی از آن‌ها فاقد چاه کشاورزی بوده و نیاز آبی خود را از طریق کانال آب یا از چاه آب اطراف خود تأمین می‌کنند. همچنین مساحت زمین زراعی هریک از کشاورزان مشخص است. به هریک از کشاورزان یک شاخص نوآفرینی (entrepre) تخصیص داده می‌شود که نشان‌دهنده میزان پتانسیل او به خلاقیت در توسعه فعالیت خود و بهبود سامانه آبیاری موجود است. این شاخص به صورت جمع نرمال شده از سه مؤلفه میزان تحصیلات، سن و تمرکز شغلی او (داشتن یا نداشتن شغل

ABM ابزار مناسبی برای مطالعه سیستم‌های پیچیده به منظور شبیه‌سازی چگونگی ایجاد روندهای غیرمنتظره در سطح کلان توسط موجودیت‌های مستقل است. این مدل‌ها توانایی شبیه‌سازی واقع‌گرایانه و صریح تغییرات محیطی پیچیده و آزمودن انبوهی از روش‌هایی که عوامل آن در تعامل هستند، دارد (Lawlor and McGirr, 2017). در ساده‌ترین سطح، یک مدل ABM متشکل از سیستمی از عامل‌ها و روابط بین آن‌ها است که قادر است الگوهای رفتاری پیچیده را نشان داده و اطلاعات ارزشمندی درباره پویایی سیستم جهان واقعی که از آن تقلید می‌کند، فراهم سازد (Bonabeau et al. 2003).



شکل ۳- ساختار یک مدل (ABM) نمایش اهداف و تعامل بین عامل‌ها (Crooks et al. 2021)

آنالیز درخت خطا (FTA)

آنالیز درخت خطا یک فرایند ساختاریافته است که پتانسیل‌های ایجادکننده خطا در سیستم را شناسایی می‌کند (شکل ۴). درخت خطا اندرکنش بین رخداد‌های مختلف را با استفاده از دروازه‌های منطقی تشریح می‌کند. همچنین نشان می‌دهد که رخدادها چگونه ممکن است منجر به خطا در سیستم شوند (Bedford and Cooke, 2001).

آنالیز درخت خطا شامل سه مرحله زیر است:

- ساخت درخت خطا؛
 - تجزیه و تحلیل کیفی درخت خطا؛
 - تجزیه و تحلیل کمی درخت خطا.
- با توجه به اهداف مطالعه، ممکن است هر کدام از مراحل بالا به تنهایی یا همراه با یکدیگر صورت گیرد.

دوم و در صورت وجود شغل دوم مرتبط با کشاورزی) در محاسبه شاخص نوآفرینی نشان می‌دهد. است، جدول ۱ سطوح مختلف اثرگذاری این سه مؤلفه را

جدول ۱- اثربخشی مؤلفه‌ها در محاسبه شاخص نوآفرینی

معیار کارآفرینی	شغل جانبی	تحصیلات	سن
شاخص نوآفرینی نرمال شده در بازه ۰ و ۱	۳-۱ فاقد شغل جانبی تا شغل غیرمرتبط	۵-۱ سطح تحصیلات از لیسانس تا بدون تحصیلات	سن در بازه‌های کمتر از ۴۰، بین ۴۰ و ۶۰ و بیشتر از آن

یابد؛ بنابراین مقدار کمینه شاخص تمایل هریک از کشاورزان به ارتقای سامانه آبیاری (prop.min) به صورت معادله (۱) تعریف می‌شود:

$$\text{prop. min} = \frac{(\alpha \text{scale}) + (\beta \text{entrepre})}{(\alpha + \beta)} \quad (1)$$

در این معادله، α و β به ترتیب برابر با ضرایب‌های تأثیر سطح زمین زراعی و باغی (scale) و نوآفرینی عامل کشاورز بر تمایل اولیه وی به ارتقای سامانه آبیاری (entrepre) هستند که براساس جدول ۱ محاسبه می‌شوند.

در پژوهش حاضر فرض شد تأمین آب پایدار (SWS) در بلندمدت به گونه‌ای است که چنانچه کشاورزان اقدامی برای اصلاح روندهای کنونی در مدیریت منابع نکنند، منجر به تهدید جدی کشاورزی در منطقه خواهد شد. با توجه به این امر، عدم مشارکت کشاورزان در ارتقای سامانه آبیاری، خود معادل یک هزینه است. این هزینه قطعاً با افزایش کشاورزان مشارکت‌کننده در بهبود بهره‌وری آبیاری (SWR) کاهش می‌یابد. مقدار شاخص SWR برابر است با حاصل تقسیم مجموع حاصل ضرب تعداد کشاورزان در سطح بهره‌وری آبیاری (متناظر با روش آبیاری) (count farmer) تقسیم بر تعداد کشاورزان در سطح بهره‌وری ایده‌آل (count farmer irrstatus)؛ بنابراین، مقدار SWR به صورت معادله (۲) محاسبه می‌شود.

$$\text{SWR} = \frac{6 \sum \text{countfarmers}_i}{\sum_{i=1}^6 \text{irrstatus}_i \times \text{countfarmerirrstatus}_i} \quad (2)$$

هزینه‌های پرداختی عامل‌های کشاورز (fee) برای ارتقای سامانه آبیاری شامل: هزینه اولیه اجرای ارتقاء در هر واحد سطح (intcost) در سطح زمین زراعی و کسر تسهیلات اعطایی دولت (1-subsidy)، با توجه به هزینه تأمین آب پایدار با در نظر گرفتن یک ضریب نامعین از اثر تغییرات

مقدار حداقل و حداکثر این شاخص بین ۰ و ۱ بوده که مقدار بالاتر آن مبین پتانسیل نوآفرینی بیشتر کشاورز و زمینه او برای ارتقای سامانه آبیاری (irrstatus) است.

تصمیم عامل کشاورز در ارتقاء سامانه آبیاری

یکی از مهم‌ترین تصمیم‌های عامل کشاورز در این مطالعه، بررسی ارتقای سامانه آبیاری کنونی وی است. بدیهی است عامل کشاورز در قالب یک سیستم پیچیده انطباق‌پذیر دارای محدودیت عقلانیت محدود بوده و برای بهبود ادراک خود در تعامل با سایر عامل‌ها و محیط و تأمین منافع خود به دنبال یادگیری از تجربه‌های خود و همسایگان است. به این منظور برای عامل‌های کشاورز از تعدادی مقدار آستانه که می‌توانند منجر به تغییر رویکرد یا یک تصمیم جدید شوند، بهره می‌برند. این آستانه‌ها نماینده بخشی از دیدگاه‌های ذهنی کشاورز هستند. در این بخش فرض می‌شود که عامل‌های کشاورز که دارای بهترین سطح بهره‌وری آب نبوده و برای ارتقای سامانه آبیاری خود می‌توانند تصمیم‌گیری کنند. یکی از این آستانه‌ها، مقدار تمایل هریک از کشاورزان به ارتقای سامانه آبیاری کنونی خود است که به صورت prop نشان داده شده است. کاهش مقدار این آستانه ممکن است موجب تغییر در رفتار عامل‌های کشاورز مانند تصمیم‌گیری اجرا یا عدم همکاری ارتقای سامانه آبیاری، آستانه سودجویی یا سرمایه‌گذاری مشارکت‌جویانه او شود. فرض می‌شود مقدار این آستانه براساس تأثیر هم‌زمان برخی ویژگی‌های عامل کشاورز و تجربه‌های او در تصمیمات قبلی شبکه شکل می‌گیرد. در حالت اولیه فرض می‌شود برخی مؤلفه‌های عینی مانند سطح زمین زراعی و باغی و سطح نوآوری، مقدار تمایل کشاورز به ارتقای سامانه آبیاری را شکل می‌دهند؛ هرچند ممکن است مقدار این تمایل براساس مشاهده‌های او افزایش

تصادفی (p) و میزان اثرگذاری عوامل تصادفی (t) در این مقادیر است.

تصمیم فروش تجهیزات آبیاری ارتقایافته

در این حالت، برای مدل سازی انطباق پذیری در سیستم پیچیده فرض می شود هریک از عامل های کشاورز که در بالاترین سطح بهره وری آبیاری هستند، می توانند با فروش تجهیزات منافع موقت را به منافع بهره برداری از سامانه آبیاری ترجیح دهند؛ اما در این شرایط، دولت با نظارت و آموزش دوره ای به کشاورزان مختلف، می تواند از تغییر وضعیت سامانه آبیاری آن ها اطلاع یابد. در این حالت، با توجه به اینکه کشاورزان از تسهیلات دولتی استفاده کرده اند، نظارت دولتی می تواند منجر به محرومیت آن ها از تسهیلات مختلف دولتی و همچنین یارانه ارتقای بهره وری منابع آبیاری شود. برای این منظور، مشابه بخش قبل هزینه و منافع (spend) عامل های کشاورز تعیین و مقایسه می شود. منافع کشاورزان در صورت تصمیم به فروش تجهیزات آبیاری نصب شده، برابر ضرب سطح زمین زراعی در هزینه اولیه و مقدار یارانه دولتی با در نظر گرفتن اثر تغییرات تصادفی در برآورد درآمد در نظر گرفته می شود. این مقدار با در نظر گرفتن ضریب سودجویی (jobbery) در مدل لحاظ می شود. این ضریب به نوعی عکس مؤلفه مشارکت جویی عمل می کند. هریک از عامل های کشاورزان به صورت توأم دارای هر دو مؤلفه هستند. مقدار این مؤلفه به تفاوت منافع و هزینه های کشاورز در شرایطی که دارای پتانسیل فروش تجهیزات آبیاری باشد، بستگی دارد. به طور کلی، منافع کشاورزان در صورت تصمیم به فروش تجهیزات آبیاری نصب شده به صورت معادله (۳) محاسبه می شود:

$$\text{spend} = \text{jobbery}(\text{rscaleint}_{\text{cost}} \text{subsidy} + (1 - \text{r})\text{pint}_{\text{cost}}) \quad (3)$$

مقدار شانس فریبکاری (cheatchance) هر عامل کشاورز وابسته به مقدار یارانه دولتی و میزان صداقت (honesty) وی است (معادله (۴)):

$$\text{cheatchance} = (1 - \text{honesty}) \cdot \hat{I}(\text{subsidy}) \quad (4)$$

عامل دولت

هدف اصلی عامل دولت (که نماینده آن تیم متشکل از سازمان جهاد کشاورزی و آب منطقه ای است)، به دنبال حمایت از افزایش بهره وری آب (WP)، از طریق اعطای

تسهیلات (یارانه در توسعه فناوری در مدیریت آبیاری) به کشاورزان و با توجه به کمبود منابع مالی، به دنبال مدیریت مقدار تسهیلات اعطایی است؛ از این رو، دولت به دنبال رویکردی است که ضمن دستیابی به بیشترین بهره وری آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، بهینه ترین رویکرد را در کاهش اعطای تسهیلات ارائه کند. همچنین افزایش مقدار سهم تسهیلات دولتی در توسعه فناوری در مدیریت آبیاری، می تواند منجر به افزایش احتمال سودجویی برخی کشاورزان شود.

تعریف سیاست های عامل دولت در توسعه فناوری

در مدیریت آبیاری

یارانه های دولتی

در سال های اخیر، دولت با در نظر گرفتن مشوق هایی تلاش کرده است که کشاورزان را به توسعه فناوری در مدیریت آبیاری ترغیب نماید. دولت ها با اعطای تسهیلات مانند وام، یارانه و کمک های بلاعوض، به دنبال تشویق کشاورزان به مشارکت در ارتقاء سامانه آبیاری هستند. اما باید در نظر گرفت که منابع مالی دولت محدود است. از سوی دیگر، مقدار این تسهیلات باید به میزانی باشد که کشاورز را برای مشارکت و سرمایه گذاری در بهبود بهره وری منابع آب ترغیب کند. در مواردی مشاهده می شود که بالا بودن سهم یارانه دولتی می تواند کشاورزان را به سودجویی و فروش تجهیزات آبیاری بعد از اجرا ترغیب کند. از این رو، سیاست دولت در انتخاب سطح مناسب یارانه ها بسیار با اهمیت است. در این شرایط، در مسئله مورد مطالعه، چهار سناریو مختلف برای ارزیابی سیاست های یارانه دولت در نظر گرفته شده و نتایج آن روی مدل از طریق تحلیل نتایج بررسی شده است. حالت اولیه برای سناریوهای پیش بینی شده، سیاست های موجود در سطح یارانه پرداختی به کشاورزان بسته به نوع سامانه آبیاری آن ها است. این چهار سناریو با فرض اولیه سناریو موجود (پایه) در نظر گرفته شده است (جدول ۲).

سیاست آموزش و نظارت

برخی از کشاورزان به واسطه یارانه پرداخت شده ممکن است به منظور افزایش منافع کوتاه مدت خود، اقدام به فروش تجهیزات آبیاری کنند. در این شرایط فرض می شود در هر اجرای مدل، بسته به سناریوهای مدنظر

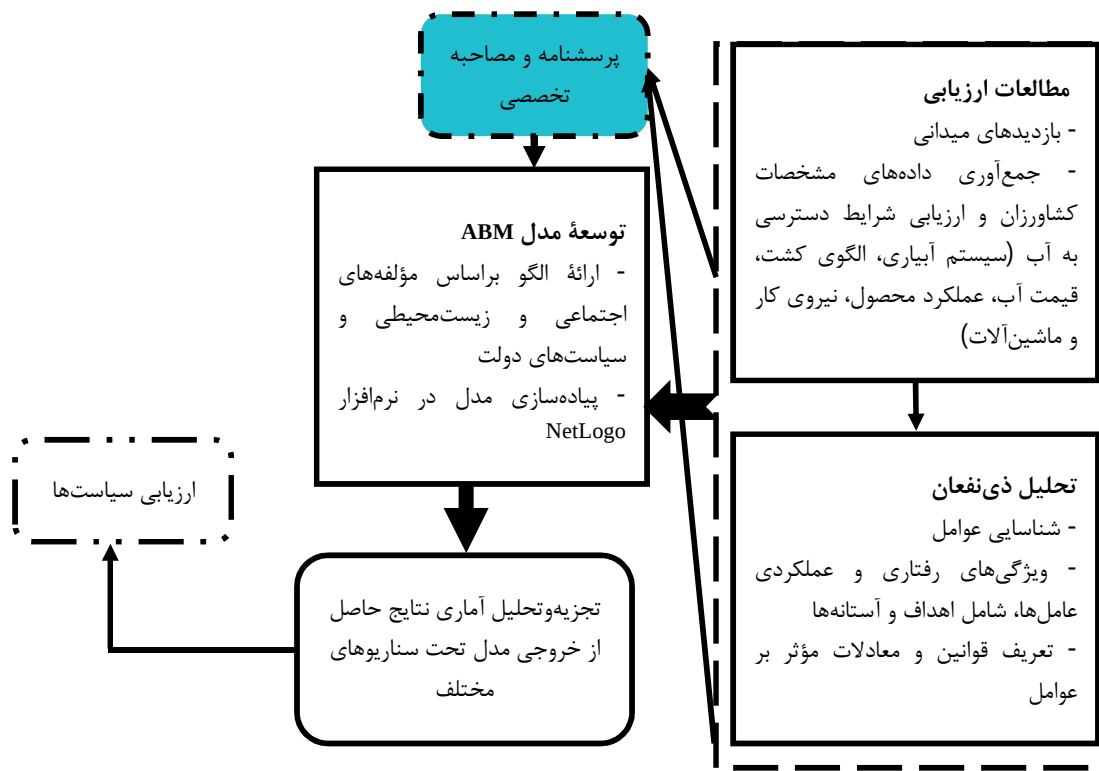
مدل می‌توان اثر سناریوهای افزایش و کاهش این تیم‌ها را ارزیابی کرد.

شکل ۵، روند اجرای مدل ABM پیشنهادی را نشان می‌دهد. مراحل اصلی مدل‌سازی شامل اطلاعات کافی و جمع‌آوری داده‌ها، مدل‌سازی و تحلیل مدل است. برای این منظور، ابتدا ویژگی‌های مدل و عوامل ورودی (جنبه‌های مختلف محیطی و اجتماعی) مؤثر بر سازگاری کشاورزان با توسعه فناوری در مدیریت آبیاری سازماندهی شد. سپس مدل ABM با درک همه مؤلفه‌های محیطی و اجتماعی شکل می‌گیرد. درنهایت، به کمک تحلیل‌های آماری، سیاست‌ها و مؤلفه‌های مؤثر بر نتایج ارزیابی می‌شوند.

دولت، تعدادی از کشاورزان به صورت تصادفی انتخاب شده و ضمن بهره‌مندی از آموزش، مورد نظارت قرار می‌گیرند. مقدار اثر مثبت افزایش منافع کشاورزان از طریق دریافت آموزش، عددی تصادفی و در حدود ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است. همچنین هریک از عامل‌های کشاورز در مدل آموزش و نظارت دریافت کنند، در صورتی‌که سودجویی کرده باشند، از آموزش محروم شده و همه عامل‌های کشاورز در شبکه همسایگی و عامل‌های کشاورز که در شعاع R از آن‌ها هستند نیز تجربه مثبت صداقت دریافت می‌کنند (تا به واسطه ترس از دست‌دادن حمایت‌های دولتی و سایر تبعات اجتماعی به سودجویی و فروش تجهیزات ترغیب نشوند). دولت در انتخاب تعداد تیم‌های آموزش و نظارت مختار است و با تحلیل نتایج

جدول ۲- سناریوهای مختلف ارزیابی بارانه‌های دولتی نسبت به سناریوی پایه (وضع موجود)

سناریو	نام سناریو در مدل	مشخصات سناریو
افزایش بارانه	enlarge	افزایش سطح بارانه پرداختی به میزان ۳۰ درصد
کاهش بارانه	diminish	کاهش سطح بارانه پرداختی به میزان ۳۰ درصد
عدم تغییر	normal	عدم تغییر در سطح بارانه پرداختی
تصادفی	mix of all	هریک از سناریوهای بالا به صورت تصادفی



شکل ۵- مراحل توسعه مدل ABM در پژوهش حاضر

پارامترهای مدل ABM با استفاده از داده‌های بررسی شده و پس از مطالعات میدانی، صحت‌سنجی شده و در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- محدوده پارامترهای مدل ABM

پارامتر	تعریف	مقدار
Network-density	تأثیر همسایگان کشاورز	[۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲]
α	مقیاس مزرعه	[۰/۴، ۰/۷، ۰/۹]
β	کارآفرینی کشاورز در تمایل به ارتقای سامانه آبیاری	[۰/۴، ۰/۷، ۰/۹]
r	اثر تغییرات تصادفی	[۰/۱، ۰/۴، ۰/۷، ۰/۹]
SWS	تأمین آب پایدار	[۱۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۵۰۰۰۰]
Seed-ratio	نسبت اولیه شرکت‌کنندگان	[۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲]
Seed-owner	نوع انتخاب شرکت‌کنندگان اولیه	[Close owners, Hight <i>entrepre</i> & scale, Hight degree, Hight <i>entrepre</i> , No other job]
Gov-policy	سیاست یارانه‌ای، آموزشی و نظارتی دولت	[Normal, Enlarge, Diminish, Mix of all]
Inspect-owners	تیم‌های نظارتی دولت	[۴، ۸، ۱۶]

تدوین FTA زیرحوضه دریاچه ارومیه

مدل FTA برای کمی‌سازی و ارزیابی سناریوهای مختلف عدم‌بهره‌برداری مناسب از منابع آبی دشت میاندوآب ایجاد شد. شکل ۶ فرایند FTA گام‌به‌گام را برای زیرحوضه دریاچه ارومیه به منظور برنامه‌ریزی مدیریت ریسک نشان می‌دهد. در این تحقیق از نرم‌افزار 4.1. Cara-FaultTree به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد و سادگی محیط برای نمایش گرافیکی کامل ریسک کلی حوضه استفاده شد. پس از تخمین احتمال شکست رویدادهای پایه، دروازه‌های AND و OR به ترتیب به صورت معادلات (۵) و (۶) محاسبه می‌شوند:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i \quad (5)$$

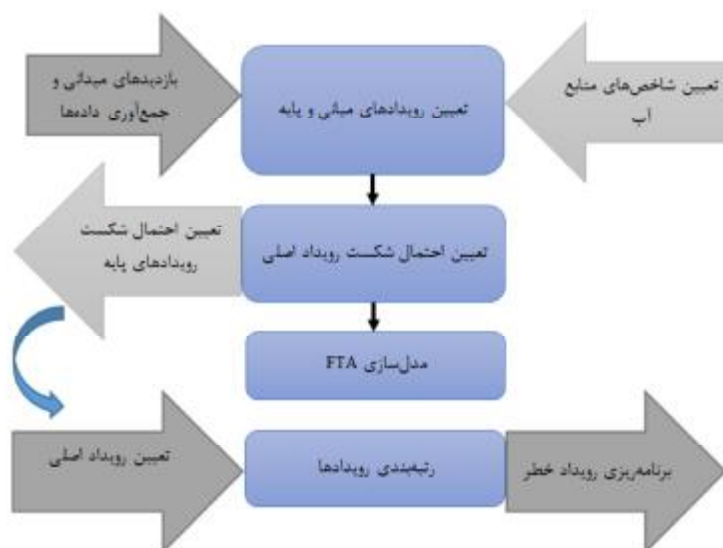
$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (6)$$

که در آن، P احتمال هر رویداد اساسی، P_i مقدار احتمال شکست تأمین رویداد پایه، i شمارنده و n تعداد رویدادهای ورودی متصل به دروازه است.

تأثیر (مشارکت) رویدادهای پایه در رویداد اصلی به شرح معادله (۷) محاسبه می‌شود:

$$I_x = \frac{\sum U_x}{U_s} \quad (7)$$

که در آن، I_x اهمیت رویداد پایه x در ایجاد رویداد اصلی، $\sum U_x$ مجموع درصدهای خطای برش‌هایی است که رویداد x در آن‌ها وجود دارد و U_s احتمال رویداد اصلی را نشان می‌دهد.



شکل ۶- دشت میاندوآب

به‌طور کلی، ۱۴ پارامتر به‌عنوان رویداد اساسی برای ارزیابی ریسک زیرحوضه دریاچه ارومیه شناسایی شد. جدول ۴ رویدادهای اساسی را با توجه به نوع عملکرد آن‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۴- رویدادهای پایه FTA حوضه دریاچه ارومیه

شماره	رویداد پایه	نوع	شماره	رویداد پایه	نوع
۱	تغییر اقلیم	طبیعی	۸	خرده‌مالکی اراضی	عملکردی
۲	خشکسالی هیدرولوژیکی	طبیعی	۹	عدم مطالبه‌گری کشاورز	عملکردی
۳	خشکسالی هواشناسی	طبیعی	۱۰	عدم برنامه‌ریزی آبیاری	عملکردی
۴	خشکسالی کشاورزی	طبیعی	۱۱	عدم آموزش کافی	عملکردی
۵	مدیریت نامناسب خاک اراضی کشاورزی	عملکردی	۱۲	عدم نظارت بر مدیریت سامانه‌های آبیاری	عملکردی
۶	تخریب سیستم‌های انتقال آب	عملکردی	۱۳	تضاد منافع	عملکردی
۷	ارزش اقتصادی غیرمنطقی آب	طبیعی	۱۴	دانش ناکافی	عملکردی

مطالعات میدانی و طراحی پرسش‌نامه‌ها

جامعه آماری این مطالعه همه مزارع منتخب طرح انجام‌شده پیشین «مدل‌سازی مشارکت جامعه محلی در احیای دریاچه ارومیه از طریق استقرار کشاورزی پایدار» در منطقه مطالعاتی (دشت میاندوآب) است. مرحله نخست گردآوری اطلاعات، به جمع‌آوری تعداد و مشخصات کشاورزان، منبع آبیاری، اطلاعات کاشت، داشت و برداشت محصولات پاییزه و بهاره اختصاص یافت. حجم نمونه مصاحبه ۷۲ نفر بود. در دشت میاندوآب مصاحبه با طیف وسیعی از ذی‌نفعان مرتبط از جمله کشاورزان (۴۲ کشاورز)، سازمان جهاد کشاورزی (۱۵ نماینده) و مدیران و متخصصان سازمان آب منطقه‌ای (۱۵ نماینده) انجام شد. اعتبار یافته‌های مصاحبه، زمانی تأیید شد که روش خود بازمی‌پژوهشگر و کنترل اعضا در مصاحبه‌ها اعمال شد (Andreas, 2003). مراحل اصلی مدل‌سازی شامل اطلاعات کافی و جمع‌آوری داده‌ها، مدل‌سازی و تحلیل مدل است. برای این منظور، ابتدا ویژگی‌های مدل و عوامل ورودی (جنبه‌های مختلف محیطی و اجتماعی) مؤثر بر سازگاری کشاورزان با توسعه فناوری در مدیریت آبیاری سازماندهی شد. سپس، مدل ABM با درک همه مؤلفه‌های محیطی و اجتماعی شکل می‌گیرد. در نهایت، به کمک تحلیل‌های آماری، سیاست‌ها و مؤلفه‌های مؤثر بر نتایج ارزیابی می‌شوند. فلوچارت مراحل انجام پژوهش حاضر در شکل ۷ ارائه شده است.

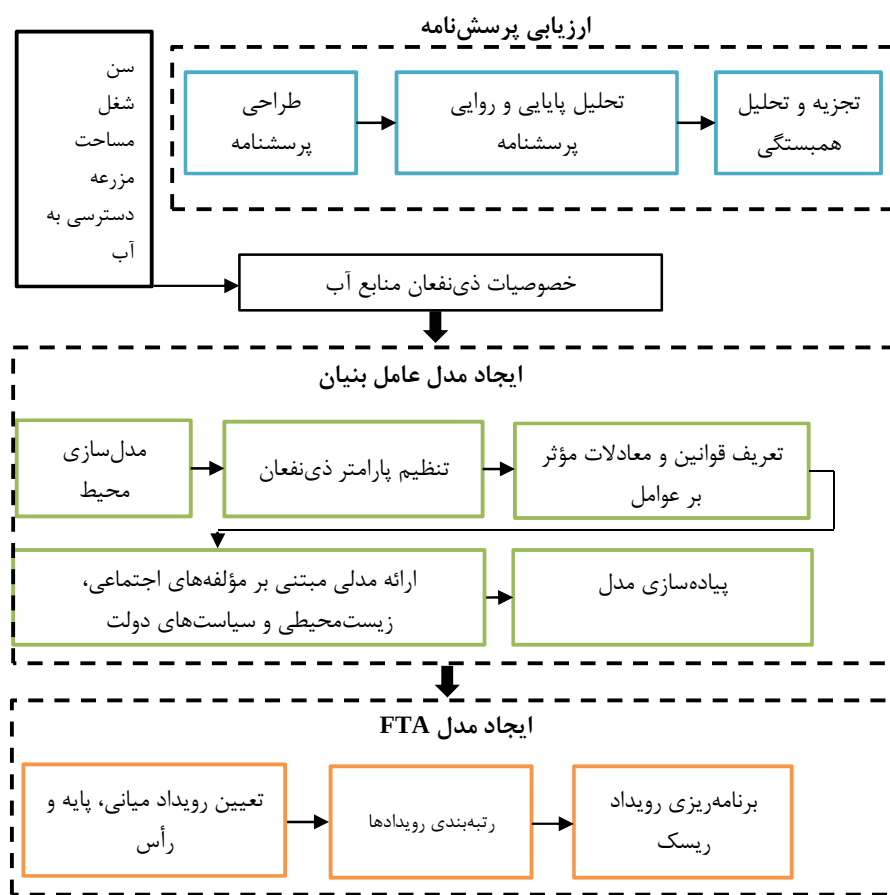
نتایج و بحث

برای پیاده‌سازی مدل پیشنهادی، ترکیب سناریوهای پیشنهادی (شامل ۶۴۸۰۰ حالت) در مدل با ۱۰۰ دوره زمانی، هر دوره ۱۰۰ بار اجرا شد. عوامل مؤثر بر سازگاری کشاورزان در توسعه فناوری در مدیریت آبیاری با استفاده از آنالیز واریانس و نرم‌افزار Minitab 16.2 بررسی شد. آنالیز واریانس عوامل مؤثر بر مشارکت عوامل کشاورز در توسعه فناوری در مدیریت آبیاری شامل راندمان کاربرد آب در مزرعه (FAE) و بهره‌وری آب در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. در این جدول‌ها، DF درجه آزادی، MS میانگین مربعات، F نسبت واریانس، P احتمال، R-Sq درصد تغییرات در پاسخ‌های مدل، S پاسخ‌های درست مدل و معیاری برای سنجش میزان سازگاری مدل، R-Sq(adj) درصد تغییرات منطبق‌شده پاسخ‌های مدل و Error مجموع مربعات ناشی از اشتباه آزمایشی را نشان می‌دهند.

مؤثرترین شاخص‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد بر راندمان کاربرد آب در مزرعه، عدم قطعیت، تأمین آب پایدار و نظارت و آموزش دولت با $p\text{-value}=0.0$ هستند. شکل‌های ۸ و ۹، اثر متقابل هریک از پارامترها را بر عوامل مؤثر بر مشارکت عوامل کشاورز در توسعه فناوری در مدیریت آبیاری نشان می‌دهد. ارتقای سامانه‌های آبیاری باید همراه با نظارت و آموزش کافی باشد تا امکان افزایش FAE و افزایش تولید فراهم شود. جایگزینی روش‌های نوین آبیاری به‌جای سنتی، به‌تنهایی تأثیر کمی بر کاهش مصرف آب دارد. موفقیت در افزایش FAE سامانه‌های نوین آبیاری و توسعه آن‌ها مستلزم اعمال

اقتصادی و فنی در مدیریت منابع آب تأثیر دارند (Feizabadi and Gorji, 2018). در پژوهشی تأثیر عامل اجتماعی و شرایط تسهیل‌کننده در پذیرش روش‌های نوین آبیاری مثبت ارزیابی شد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد (Rezaee et al. 2020).

مدیریت صحیح و نظارت کافی است (Shadkam, 2017). در پژوهشی مشابه نشان داده شد که حمایت دولتی، آموزش و عامل اقتصادی در نگرش کشاورزان نسبت به کاربرد روش‌های آبیاری جدید مؤثر است که با نتایج پژوهش حاضر در تطابق است (Chuchird et al. 2017). عوامل نهادی و قانونی، آموزشی و تبلیغاتی،

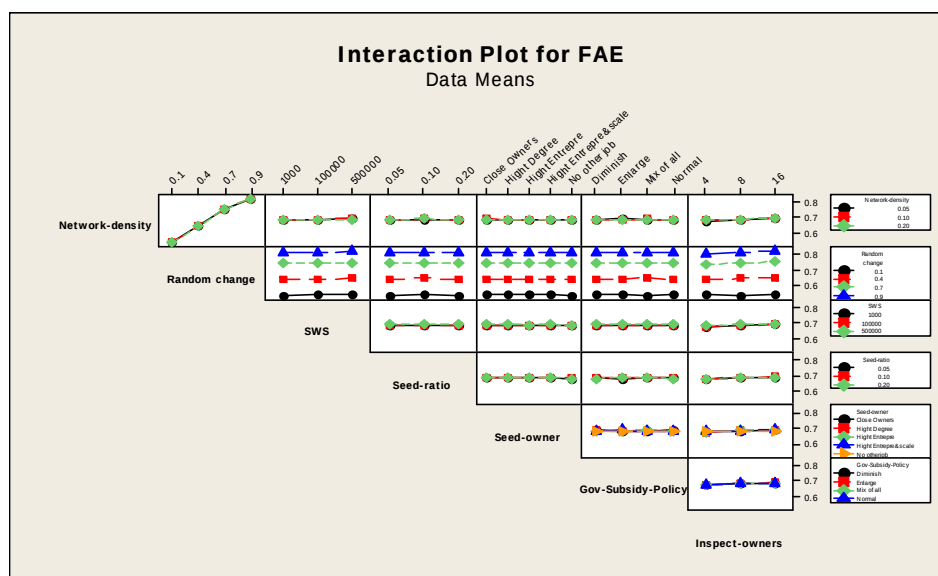


شکل ۷- فلوچارت مراحل انجام پژوهش

جدول ۵- آنالیز واریانس برای راندمان کاربرد آب در مزرعه

Source	DF	SS	MS	F	P
Network-density	۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۷	۰/۳۲	۰/۷۲۴
r	۳	۷۴۴/۵۶۸	۲۴۸/۱۸۹	۱۱۰۴۶/۷۲	۰/۰۰۰
SWS	۲	۰/۵۴۳	۰/۲۷۲	۱۲/۰۹	۰/۰۰۰
Seed-ratio	۲	۰/۱۷۷	۰/۰۸۸	۳/۹۴	۰/۰۲۰
Seed-owner	۴	۰/۱۳۲	۰/۰۳۳	۱/۴۷	۰/۲۰۹
Gov-Subsidy-Policy	۳	۰/۰۳۵	۰/۰۱۲	۰/۵۱	۰/۶۷۳
Inspect-owners	۲	۱/۹۷۲	۰/۹۸۶	۴۳/۸۸	۰/۰۰۰
Error	۶۴۷۸۱	۱۴۵۵/۴۵۱	۰/۰۲۲		
Total	۶۴۷۹۹	۲۲۰۲/۸۹۳			

$$S = ۰/۱۴۹۸۹۱ \quad R-Sq = \% ۳۳/۹۳ \quad R-Sq(adj) = \% ۳۳/۹۱$$



شکل ۸- تأثیر شاخص‌های ورودی بر میزان FAE

شاخص‌های SWS و نظارت و آموزش دولت به‌ترتیب با $F\text{-value}=1441.14$ و $F\text{-value}=1729.93$ تأثیر اساسی بر عملکرد زراعی و بهره‌وری آب دارند. نظارت و آموزش به‌دلیل تأثیر بر آستانه صداقت و تمایل کشاورزان نقش مهمی در تمایل آن‌ها به افزایش بهره‌وری آب و بهره‌مندی از تسهیلات دولتی ایفا می‌کند.

شاخص‌های تأثیر عدم قطعیت، SWS، سیاست‌های تسهیلاتی و نظارت و آموزش دولت با مقدار $p\text{-value} = 0.0$ در سطح اطمینان ۹۵ درصد، مؤثرترین پارامترها بر شاخص بهبود بهره‌وری آبیاری هستند. عامل‌های نوع ایجاد جمعیت اولیه شامل نسبت اولیه و نوع انتخاب آن‌ها و تراکم شبکه، تأثیری بر شاخص SWR ندارد (شکل ۹).

جدول ۶- آنالیز واریانس برای بهبود بهره‌وری آبیاری

Source	DF	SS	MS	F	P
Network-density	۲	۰/۰۰۱۱۱۳	۰/۰۰۰۵۵۶	۲/۲۳	۰/۱۰۷
r	۳	۰/۰۶۴۰۲۹	۰/۰۲۱۳۴۳	۸۵/۶۱	۰/۰۰۰
SWS	۲	۰/۸۶۲۵۵۸	۰/۴۳۱۲۷۹	۱۷۲۹/۹۳	۰/۰۰۰
Seed-ratio	۲	۰/۰۰۰۱۶۱	۰/۰۰۰۰۸۰	۰/۳۲	۰/۷۲۵
Seed-owner	۴	۰/۰۰۰۸۷۱	۰/۰۰۰۲۱۸	۰/۸۷	۰/۴۷۹
Gov-Subsidy-Policy	۳	۰/۰۰۲۰۴۴	۰/۰۰۰۶۸۱	۲/۷۳	۰/۰۴۲
Inspect-owners	۲	۰/۷۱۸۵۶۵	۰/۳۵۹۲۸۲	۱۴۴۱/۱۴	۰/۰۰۰
Error	۶۴۷۸۱	۱۶/۱۵۰۱۵۴	۰/۰۰۰۲۴۹		
Total	۶۴۷۹۹	۱۷/۷۹۹۴۹۴			

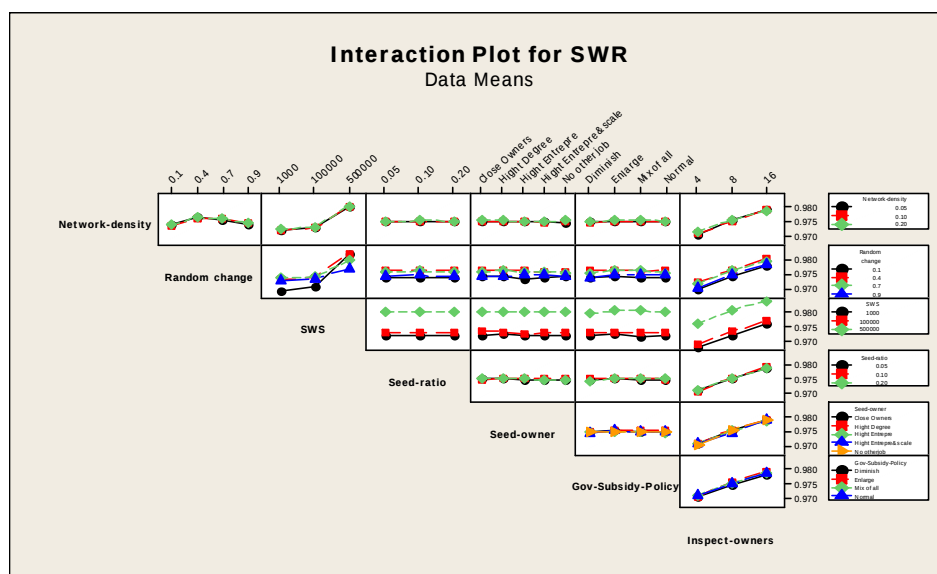
$$S = ۰/۰۱۵۷۸۹۴ \quad R\text{-Sq} = \% ۹/۲۷ \quad R\text{-Sq(adj)} = \% ۹/۲۴$$

عملکرد و به‌دنبال آن درآمد و سود خالص محصولات با انجام نظارت و آموزش بهره‌برداری افزایش می‌یابد (Yousefi and Safari, 2022; Lee et al. 2022). بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب با نظارت و آموزش افزایش یافته و موجب افزایش رضایت‌مندی و تمایل

ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که میزان حجم آب مصرفی در اثر نظارت و آموزش بهره‌برداری صحیح از سامانه‌های آبیاری در طول فصل زراعی، کاهش قابل‌ملاحظه‌ای دارد که منجر به تأمین آب پایدار می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد (Bwambale et al. 2022). میزان

و مدیریت صحیح آبیاری در استفاده از سامانه‌های آبیاری نوین، افزایش عملکرد محصول و ترویج آخرین یافته‌های علمی و کاربردی می‌تواند اثر مهمی در افزایش میزان بهره‌وری آب داشته باشد (Abioye et al. 2020). پژوهش‌ها نشان می‌دهد شاخص نظارت بر بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری اجرا شده در مزارع، افزایش تولید محصولات مختلف و ارزیابی اثرات آن‌ها در میزان صرفه‌جویی آب، از فرایندهای مهم در توسعه سامانه‌های آبیاری است که در تطابق با یافته‌های پژوهش حاضر است (Adeyemi et al. 2017; Abioye et al. 2020).

بهره‌برداران به ارتقای سامانه‌های آبیاری می‌شود که در تطابق با یافته‌های مطالعه حاضر است (Feder et al. 2004; Molden et al. 2007; Padhy and Jena, 2015). توجه به شرایط حاکم بر منابع آب و خاک حوضه آبریز دریاچه ارومیه، می‌توان با استفاده از اجرا و نظارت بر استفاده صحیح از سامانه‌های آبیاری، ضمن کاهش فشار بر منابع آب، زمینه ارتقای جهشی بهره‌وری آب کشاورزی را در حوضه فراهم کرد (Zhou et al. 2017; Emami et al. 2021; Dehghanisanij et al. 2024). آموزش‌های کاربردی دولت برای عامل‌های کشاورز، شامل بهره‌برداری



شکل ۹- تأثیر شاخص‌های ورودی بر SWR

خشکی درصد قابل‌توجهی از سطح دریاچه شده و بیش از ۲۰ میلیارد متر مکعب از حجم آب آن در اثر تبخیر و عدم ورود منابع آب کافی از بین رفته است. مشکلات یادشده در اثر پدیده تغییر اقلیم است که بر نوسانات حجم آب دریاچه ارومیه تأثیر بسزایی دارد. سه وجه مهم خشکسالی شامل: خشکسالی هواشناسی، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی هیدرولوژیکی در بروز خشکسالی مؤثرند که به عوامل اقلیمی و غیراقلیمی تقسیم می‌شوند. میزان منابع آبی از دست‌رفته در بخش انواع خشکسالی‌ها در رویدادهای تلفات کشاورزی و برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی اثر داده شده است. به‌منظور متعادل‌سازی بحران حوضه آبریز دریاچه ارومیه لازم است بین مصرف آب در بخش کشاورزی با مصرف آب در

خطر شکست زیر حوضه دریاچه ارومیه

در جدول ۷، احتمال شکست رویدادهای اساسی براساس آمارهای خاص زیرحوضه دریاچه ارومیه محاسبه و به‌عنوان ورودی در نرم‌افزار 4.1. Cara- FaultTree وارد شد. در شکل ۱۰ (الف تا د)، احتمال رخداد اصلی براساس احتمال تخصیص‌یافته به رویدادهای اساسی تعیین می‌شود. تغییرات اقلیمی (سیل و خشکسالی) از عوامل طبیعی مهم برای شکست حوضه دریاچه ارومیه است.

روند نوسانات نزولی دریاچه ارومیه در دو دهه اخیر شدیدتر بوده است. با توجه به آمار ثبت‌شده، به‌طور متوسط دریاچه در بیست سال اخیر، سالیانه با افت ۲۰ سانتی‌متر روبرو بوده است. این میزان افت تراز، منجر به

شرایط حفظ تعادل حوضه دریاچه برنامه‌ریزی شود. اجرای نامناسب روش‌های آبیاری تحت فشار، دستیابی به این برنامه را غیرممکن کرده است. آمارها نشان می‌دهد مدیریت نامطلوب آبیاری و استفاده نامناسب از روش‌های آبیاری تحت فشار منجر به اتلاف ۱۵ میلیارد متر مکعب آب در مصارف کشاورزی می‌شود (شکل ۱۰ الف). کاهش تلفات آب یکی از راهبردی‌ترین راه‌حل‌های مقابله با کم‌آبی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. نگهداری از آب موجود در شبکه‌های آبیاری یکی از راهکارهای ارزان‌قیمت در پروژه‌های آبی است؛ از این رو، ناسالم بودن سیستم انتقال آب می‌تواند منجر به کاهش بهره‌وری آب در حوضه دریاچه ارومیه شود. از مهم‌ترین موانع دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی در منطقه مطالعاتی، نامناسب بودن خاک اراضی کشاورزی است که موجب کاهش بهره‌وری آب شده و به شکست اقتصادی حوضه آبریز سرعت بخشیده است (شکل ۱۰ ب).

قیمت نامناسب آب به دلیل اثرگذاری بر مدیریت آب و رفتار بهره‌برداران، می‌تواند سبب تغییر رفتار تولیدی کشاورزان به صورت الگوی کشت مبنی بر محصولات با نیاز آبی بالا به جای محصولات با نیاز آبی پایین و عدم توسعه سرمایه‌گذاری برای گسترش روش‌های آبیاری با راندمان بالا در منطقه مطالعاتی شود. نداشتن دانش و اطلاعات کافی ساکنان منجر به حفظ نامناسب و برداشت بی‌رویه منابع آب در دشت میاندوآب شده است. همچنین یکی از عناصر اصلی مدیریت و کنترل حوضه آبریز که بدون آن موفقیت حاصل نخواهد شد، آگاهی بهره‌برداران در مورد ارزش‌های حوضه آبریز و تهدیدات پیش‌روی آن است (شکل ۱۰ ج).

برداشت بی‌رویه منابع آب موجب کاهش کیفیت و کمیت آب می‌شود. با افزایش برداشت از منابع آب و حفر چاه‌های غیرمجاز، پس از گذشت مدت کوتاهی، دبی چاه‌ها افت قابل توجهی خواهد یافت؛ بنابراین حفر چاه‌های غیرمجاز و برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی تعادل حجم استاتیک آبخوان دشت میاندوآب را متزلزل کرده و تهدیدی جدی برای حجم منابع آب تجدیدپذیر خواهد بود (شکل ۱۰ د).

رویدادهای پایه به ترتیب نزولی براساس بیشترین تأثیر بر رویداد رأس (عدم بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرحوضه دریاچه ارومیه، دشت میاندوآب)، مرتب شده‌اند. هرچه

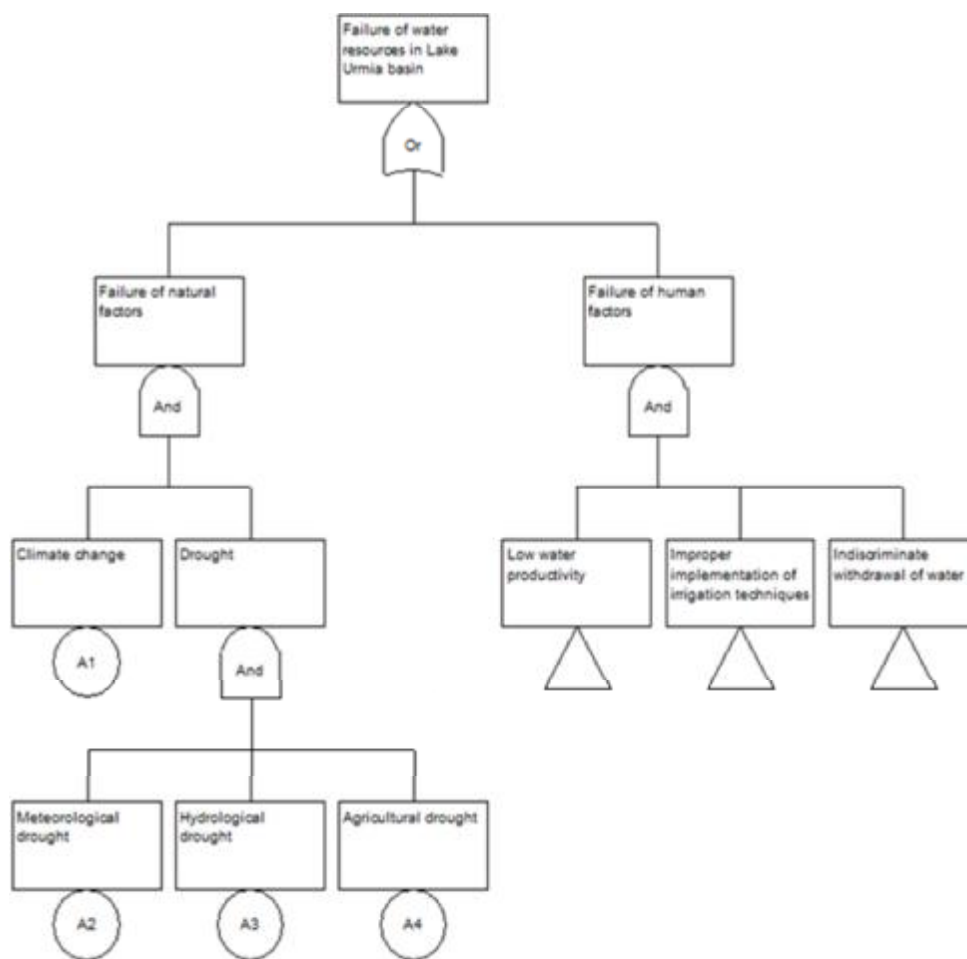
مقدار شاخص Ix بیشتر باشد، رویدادهای پایه تأثیر بیشتری بر رویداد رأس دارد. مطابق با نتایج، آگاهی پایین ساکنان حوضه و عدم مطالبه‌گری کشاورزان با احتمال شکست ۰/۸۶ و ۰/۹۰، به ترتیب تأثیرگذارترین عوامل شکست حوضه دریاچه ارومیه هستند. درنهایت، احتمال شکست رویداد اصلی (عدم استفاده بهینه از منابع آبی زیرحوضه دریاچه ارومیه) ۰/۵۰ حاصل شد. کمیت منابع آب دریاچه ارومیه تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی، به ویژه افزایش سطح زیر کشت و توسعه آبیاری در بخش‌های بالادست این حوضه است. رویدادهای آموزش ناکافی و مدیریت غیراصولی سامانه‌های آبیاری تأثیر بسزایی در عدم استفاده بهینه از منابع آبی زیرحوضه دریاچه ارومیه دارند. مشارکت تصمیم‌گیرندگان و هماهنگی بین سازمان‌های مختلف در مدیریت منابع آب، عوامل مهمی در مدیریت پایدار منابع آب در بخش کشاورزی هستند که با نتایج مطالعه حاضر در تطابق است (Pahl-Wostl et al. 2007; Galvez et al. 2020; Nabiafjadi et al. 2021). دولت نقش اساسی در تصمیم‌گیری و اجرای برنامه‌های احیای دریاچه ارومیه دارد. علاوه بر نظارت و آموزش دولت، ضروری است ذی‌نفعان برای اجرای طرح‌های مقرر دولت و احیای دریاچه ارومیه توانمند شوند. با این حال، این رویکرد در سطح محلی موفقیتی در الزامات اجرای برنامه‌های احیای دریاچه ارومیه به همراه نداشته است. به عبارت دیگر، احیای دریاچه ارومیه دغدغه ذی‌نفعان نیست و دولت در جلب رضایت و مشارکت بهره‌برداران، آگاهی و دانش آن‌ها در ارتقای سطح جامعه ناکام است. یکی از عوامل اصلی این ناکامی، اجتناب از دخالت دولت و ذی‌نفعان، مدیریت نامناسب داخلی و فرامرزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه ناشی از قوانین متمرکز، مراکز متعدد تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی نادرست عرضه و تقاضای آب است. مدیریت یکپارچه در چارچوب قانون و برنامه‌ریزی جامع، مؤثرترین راهبرد برای دستیابی به توسعه پایدار حوضه دریاچه ارومیه است. تقویت و توسعه رویکردهای آموزشی و ترویجی در حوضه دریاچه ارومیه برای ارتقای نگرش و خودکارآمدی کشاورزان و گسترش دانش آنان در استفاده از سامانه‌های آبیاری ضروری است (Hunecke et al. 2017; Ogola and Ouko, 2021). آگاهی‌بخشی و آموزش کشاورزان حوضه دریاچه ارومیه درباره پیامدهای خشک‌شدن دریاچه و مشارکت جوامع محلی در روند

احیای آن می‌تواند به مشارکت جوامع محلی نیز کمک کنند. مدیریت و کنترل حوضه دریاچه ارومیه به‌شدت به آگاهی ساکنان آن از ارزش‌های حوضه آبریز و تهدیدات توسعه بیشتر آن بستگی دارد (Bozorgzadeh, and Mousavi, 2021; Schmidt et al. 2021).

احیای آن، می‌تواند بسیار موفقیت‌آمیز باشد. طرح‌های احیای دریاچه ارومیه نشان‌دهنده اهمیت کشاورزان در احیا و ایجاد فرصتی برای توسعه و کشاورزی پایدار در حوضه دریاچه ارومیه است. کشاورزان با استفاده از ابزارهای آموزشی برای بهبود منابع آب دریاچه ارومیه و

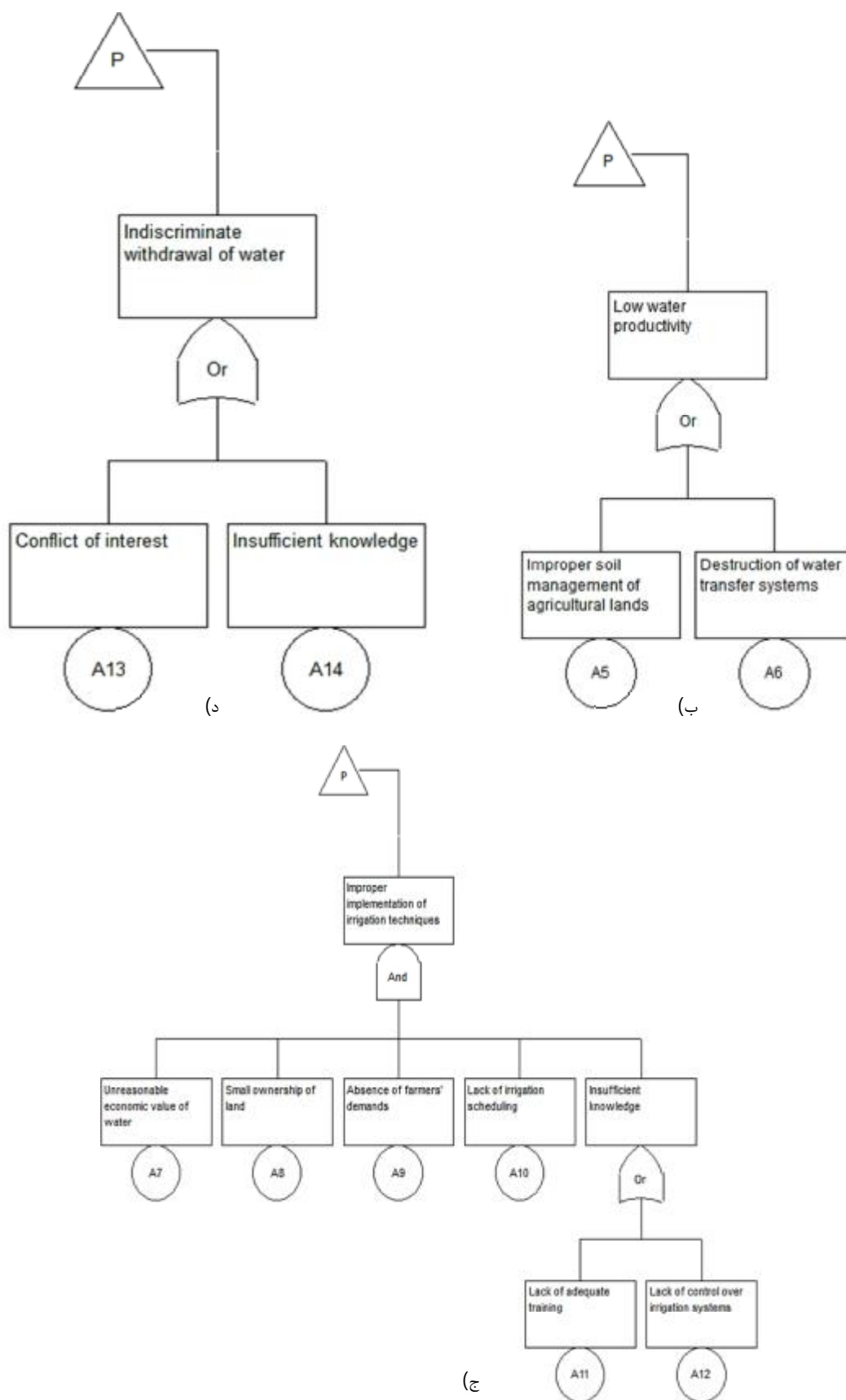
جدول ۷- رتبه‌بندی رویدادهای پایه مؤثر

رتبه‌بندی کمی	$I_x = \sum U_x / U_s$	مجموعه مسیرهای خطا (Cut Set: CS)
۲	۰/۰۳	CS1 = (A1)
۱	۰/۰۰۵	CS= (A2,A3,A4)
۵	۱/۰۴	CS3=A5
۳	۰/۷۴	CS4= A6
۹	۱/۲	CS5 = (A7, A8, A9, 10)
۷	۱/۱۳	CS6 = A11
۶	۱/۰۷	CS7 = A12
۴	۰/۷۴	CS8 = A13
۸	۱/۰۸	CS9 = A14



(الف)

شکل ۱۰- (الف) FTA دشت میاندوآب



ادامه شکل ۱۰ - (ب تا د). FTA دشت میاندوآب

نتیجه‌گیری

چالش‌های موجود در حوضه دریاچه ارومیه به عوامل پیچیده‌ای وابسته است که نیازمند رویکردی جامع برای شناسایی رویدادهای شکست در سطح حوضه است. استفاده از مدل‌های اجتماعی-اکولوژیکی برای شبیه‌سازی تعاملات اجتماعی کشاورزان و منافع مالی حاصل از تسهیلات دولتی به دانش و تسلط کافی بر حوضه آبریز منجر خواهد شد. در ادامه، با استفاده از آنالیز درخت خطا، رویدادهای خطایی که منجر به عدم بهره‌برداری بهینه از منابع آب در زیرحوضه دریاچه ارومیه (دشت میاندوآب) مشخص می‌شود، یافته‌ها نشان می‌دهد در سطح اطمینان ۹۵ درصد، عدم قطعیت، تأمین آب پایدار و نظارت و آموزش دولت با $p\text{-value}=0.0$ مؤثرترین شاخص‌ها بر راندمان کاربرد آب در مزرعه هستند. نظارت و آموزش به دلیل تأثیر بر انگیزه و تمایل کشاورزان نقش مهمی در تمایل آن‌ها به افزایش بهره‌وری آب و بهره‌مندی از تسهیلات دولتی ایفا می‌کند. مطابق با رتبه‌بندی کمی رویدادهای پایه، دلایل اصلی شکست در دشت میاندوآب، آگاهی پایین ساکنان حوضه و عدم ایجاد انگیزه و مطالبه‌گری در کشاورزان به ترتیب با احتمال شکست ۸۶٪ و ۹۰٪ هستند. ساختار اجتماعی نامناسب حوضه دریاچه ارومیه عامل اصلی وضعیت فاجعه‌بار آن است. برای توسعه چارچوب ارائه‌شده، می‌توان مدل بهره‌برداری یکپارچه از آب‌های سطحی و زیرزمینی را به عنوان محیط مدل شبیه‌سازی-اکولوژیکی در نظر گرفت. همچنین می‌توان تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم را در فرایند تغییر رفتار عوامل و سیاست‌گذاری با توجه به این تغییرات در نظر گرفت. اگرچه برای درک رفتار منابع آب و ارائه اطلاعات مفید در مورد وضعیت موجود به مدل‌های فنی نیاز است، اما برای داشتن رویکرد صحیح، توجه به فرایند حکمرانی آب، درک صحیح نگرش‌ها، باورها و رفتارهای ذی‌نفعان ضروری است. رویکردهای ABM و FTA به عنوان ابزارهای کارآمد برای مدیریت مشارکتی، طراحی راهبردهای مؤثر و سیاست‌های مدیریت منابع آب بوده و با استفاده از این رویکردها، ضمن الگوبرداری از رفتار ذی‌نفعان مختلف، روابط و تعاملات بین آن‌ها و با محیط، با مشارکت پویای ذی‌نفعان فردی، گروهی و نهادی در فرایند مدل‌سازی، می‌توان تصمیمات صحیح و مناسب اتخاذ کرد. پیاده‌سازی چارچوب توسعه‌یافته در پژوهش

حاضر در مطالعات موردی بیشتر با شرایط مختلف، می‌تواند منجر به تولید دستورالعمل‌های جامع‌تر برای موضوعاتی مانند مدیریت مشارکتی در سطح کشور شود. این موضوع در تعریف رویه‌های حکمرانی آب با توجه به شرایط مختلف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در گستره وسیع ایران مفید خواهد بود.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر مستخرج از طرح با کد ۴۰۱۵۲۲۷ و با حمایت مالی بنیاد ملی علم ایران (صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور) (Iran National Science Foundation: INSF)، وزارت عتف انجام شده است.

منابع

1. Abioye E. A. Abidin M. S. Z. Mahmud M. S. A. Buyamin S. Ishak M. H. I. Abd Rahman M. K. I. Otuoze A. O. Onotu P. and Ramli M. S. A. 2020. A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173: 05441.
2. Adeyemi O. Grove I. Peets S. and Norton T. 2017. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability*, 9(3): 353.
3. Anbari M. J. Zarghami M. and Nadiri A. A. 2021. An uncertain agent-based model for socio-ecological simulation of groundwater use in irrigation: A case study of Lake Urmia Basin, Iran. *Agricultural water management*, 249: 106796.
4. Afshar A. Jalali M. R. Qureisi S. M. and Saed B. 2014. Factor-based models are a solution for managing water resources with a sustainable development perspective. *International conference of new achievements in civil engineering, architecture, environment and urban management*, Tehran, Iran. (In Persian).
5. Andreas M. R. 2003. Validity and reliability tests in case study research: a literature review with hands-on applications for each research phase. *Qualitative Market Research*, 6(2): 75-86.
6. Bedford T. and Cooke R. 2001. *Probabilistic risk analysis: foundations and methods*. Cambridge University Press.

17. Delavar M. Babaei O. and Fattahi I. 2014. Evaluation of climate change impacts on Urmia lake water level fluctuations. *Journal of Climate Research*, 1393(19): 53-65.
18. Ejazi A. R. Shariat M. and Farshchi P. 2020. Recognition and ranking the causes of the outbreak crises in Uromieh Lake Using Delphi Technique. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(1): 101-108. (In Persian).
19. Emami S. Dehghanisani H. and Rezaie M. 2021. Application of artificial neural network models in estimating nectarine crop yield under two-sided furrow irrigation. *Water and Soil Management and Modelling*, 1(2): 47-59. (In Persian).
20. Feizabadi Y. and Gorji E. M. 2018. Analysis of effective factors on agricultural water management in Iran. *Journal of water and land development*, 38: 35-41.
21. Feder G. Murgai R. and Quizon J. B. 2004. Sending farmers back to school: The impact of farmer field schools in Indonesia. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 26(1): 45-62.
22. Galvez V. Rojas R. Bennison G. Prats C. and Claro, E. 2020. Collaborate or perish: Water resources management under contentious water use in a semiarid basin. *International Journal of River Basin Management*, 18(4): 421-437.
23. Grimm V. Berger U. Bastiansen F. Eliassen, S. Ginot V. Giske J. Goss-Custard J. Grand, T. Heinz S. K. Huse G. and Huth A. 2006. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological modelling*, 198(1-2): 115-126.
24. Habibi M. Babaeian I. and Schöner W. 2021. Changing causes of drought in the Urmia Lake Basin—increasing influence of evaporation and disappearing snow cover. *Water*, 13(22): 3273.
25. Harik G. Alameddine I. Zurayk R. and El-Fadel M. 2023. An integrated socio-economic agent-based modeling framework towards assessing farmers' decision making under water scarcity and varying utility functions. *Journal of environmental management*, 329: 117055.
26. Hunecke C. Engler A. Jara-Rojas R. and Poortvliet P. M. 2017. Understanding the role of social capital in adoption decisions: An application to irrigation technology. *Agricultural systems*, 153: 221-231.
27. Isanezhad A. Zarifian S. Raheli H. and Pourmasoumi Langarudi S. 2024. Participatory system dynamics modeling for groundwater resources management (Case study: Marand Plain, Iran). *Water and Soil*
7. Berglund E. Z. 2015. Using agent-based modeling for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(11): p.04015025.
8. Bonabeau E. Hunt C.W. and Gaudiano P. 2003. Agent-based modeling for testing and designing novel decentralized command and control system paradigms. In *Proceedings of the 8th International Command and Control Research and Technology Symposium*.
9. Bozorgzadeh E. and Mousavi S. J. 2021. A quantitative approach to resource effectiveness assessment: Application in the Urmia Lake Basin. *Journal of Environmental Management*, 289: 112559.
10. Bwambale E. Naangmenyele Z. Iradukunda, P. Agboka K. M. Houessou-Dossou E. A. Akansake D. A. Bisa M. E. Hamadou A. A. H. Hakizayezu J. Onofua O. E. and Chikabvumbwa S. R. 2022. Towards precision irrigation management: A review of GIS, remote sensing and emerging technologies. *Cogent Engineering*, 9(1): 2100573.
11. Castilla-Rho J. C. Mariethoz G. Rojas R. Andersen M. S. and Kelly B. F. 2015. An agent-based platform for simulating complex human-aquifer interactions in managed groundwater systems. *Environmental Modelling & Software*, 73: 305-323.
12. Chuchird R. Sasaki N. and Abe I. 2017. Influencing factors of the adoption of agricultural irrigation technologies and the economic returns: A case study in Chaiyaphum Province, Thailand. *Sustainability*, 9(9): 1524.
13. Crooks A. Heppenstall A. Malleson N. and Manley E. 2021. Agent-based modeling and the city: A gallery of applications. *Urban Informatics*, 2021: 885-910.
14. Darbandsari P. Kerachian R. and Malakpour-Estalaki S. 2017. An Agent-based behavioral simulation model for residential water demand management: The case-study of Tehran, Iran. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 78: 51-72.
15. Dehghanisani H. Emami H., Emami S. and Rezaverdinejad V. 2022. A hybrid machine learning approach for estimating the water-use efficiency and yield in agriculture. *Scientific Reports*, 12(1): p.6728.
16. Dehghanisani H. Emami S. Emami H. and Elbeltagi A. 2024. Evaluating performance indicators of irrigation systems using swarm intelligence methods in Lake Urmia basin, Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 26(2): 4175-4195.

- farming, Kenya. *Cogent Food & Agriculture*, 7(1): 1948257.
38. Padhy C. and Jena B. K. 2015. Effect of agricultural education on farmers efficiency. *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, 3(2): 247-258.
 39. Pahl-Wostl C. Craps M. Dewulf A. Mostert E. Tabara D. and Taillieu, T. 2007. Social learning and water resources management. *Ecology and society*, 12(2): 19 p.
 40. Pooralihosseini S. S. Delavar M. Ghorbani A. Van Derzaag P. Morid S. and Abbasi E. 2020. Development of an Agent-Based Model to simulate the behavior of Agricultural Users in Water and Land Management. *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(2): 421-435. (In Persian).
 41. Rezaei A. Joolaei R. and Keramatzadeh A. L. I. 2020. Effects of Water Pricing Policy and Water Quota on Water Resources Sustainability in Golestan Province. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(2): 269-285.
 42. Saffari N. and Zarghami M. 2013. Allocating the surface water resources of the Urmia lake basin to the stakeholder provinces by distance based decision making methods. *Water and Soil Science*, 23(1): 135-149. (In Persian).
 43. Shadkam S. 2017. Preserving Urmia Lake in a changing world: Reconciling anthropogenic and climate drivers by hydrological modelling and policy assessment (Doctoral dissertation, Wageningen University and Research). (In Persian).
 44. Sharif Nesab A. and Shourian M. 2016. Estimation of Inflow to Urmia Lake Using Time Series and Basin's Future Simulation Modeling in Two Long and Short Term Scenarios. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 5(4): 1-17. (In Persian).
 45. Schmidt M. Gonda R. and Transiskus S. 2021. Environmental degradation at Lake Urmia (Iran): exploring the causes and their impacts on rural livelihoods. *GeoJournal*, 86(5): 2149-2163.
 - Shoushtarian F. Negahban-Azar M. and Crooks A. 2022. Investigating the micro-level dynamics of water reuse adoption by farmers and the impacts on local water resources using an agent-based model. *Socio-Environmental Systems Modelling*, 4: 18148-18148.
 46. Sun, Y., Liu, N., Shang, J. and Zhang, J. 2017. Sustainable utilization of water resources in China: A system dynamics Management and Modeling, 4(1): pp.262-284. (In Persian).
 28. Jabbari R. Zarghami M. Anbari M. J. and Nadiri A. A. 2022. Development of Agent-Based Model with the Aim of Discussion Groundwater Resources Management Policies; Case Study of Damghan Aquifer. *Iran-Water Resources Research*, 17(4): 131-143. (In Persian).
 29. Kiani Ghalehsard S. Shahraki J. Akbari A. and Sardar Shahraki A. 2019. Planning and Studying the Effects of Climate Change on Iran's Agricultural Development; Application Techniques Positive Mathematical Programming (PMP). *Regional Planning*, 9(34): 15-26. (In Persian).
 30. Lang D. and Ertsen M. W. 2022. Conceptualising and implementing an agent-based model of an irrigation system. *Water*, 14(16): 2565.
 31. Lawlor J. A. and McGirr S. 2017. Agent-based modeling as a tool for program design and evaluation. *Evaluation and program Planning*, 65: 131-138.
 32. Lee S. Qi J. McCarty G. W. Anderson M. Yang Y. Zhang X. Moglen G. E. Kwak D. Kim H. Lakshmi V. and Kim S. 2022. Combined use of crop yield statistics and remotely sensed products for enhanced simulations of evapotranspiration within an agricultural watershed. *Agricultural Water Management*, 264: 107503.
 33. Lin Z. Lim S. H. Lin T. and Borders M. 2020. Using agent-based modeling for water resources management in the Bakken Region. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(1): p.05019020.
 34. Molden D. Oweis T. Y. Pasquale S. Kijne J. W. Hanjra M. A. Bindraban P. S. Bouman B. A. Cook S. Erenstein O. Farahani H. and Hachum A. 2007. Pathways for increasing agricultural water productivity.
 35. Nabiaffjadi S. Sharifzadeh M. and Ahmadvand M. 2021. Social network analysis for identifying actors engaged in water governance: An endorheic basin case in the Middle East. *Journal of Environmental Management*, 288:112376.
 36. Norouzi H. Moghaddam A. A. Celico F. and Shiri J. 2021. Assessment of groundwater vulnerability using genetic algorithm and random forest methods (case study: Miandoab plain, NW of Iran). *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 39598-39613.
 37. Ogola R. J. O. and Ouko K. O. 2021. Synergies and trade-offs of selected climate smart agriculture practices in Irish potato

- model. Journal of cleaner production, 142: 613-625.
47. Xiao Y. Fang L. and Hipel K. W. 2018. Agent-based modeling approach to investigating the impact of water demand management. Journal of water resources planning and management, 144(3): 04018006.
 48. Yousefi B. and Safari H. 2022. Evaluation of essential oil, morphological traits and crop yield in *Satureja mutica* Fisch. & CA Mey. in rainfed cultivation under different row spacing. Agrotechniques Ind Crops, 2(4): 187-197.
 49. Zhou Q. Deng X. Wu F. Li Z. and Song W. 2017. Participatory irrigation management and irrigation water use efficiency in maize production: evidence from Zhangye City, Northwestern China. Water, 9(11): 822.