پژوهش‌های مدیریت در ایران
دوره ۲۹، شماره ۱، بهار ۱٤۰٤، صص ٤٦-۲۳
نوع مقاله: پژوهشی

نوآوری در تدوین استراتژی پایدار مدیریت منابع آبی صنعت کشاورزی با رویکردی چندبعدی

سیامک نابغ وطن [۱]، محمود دهقان نیری [*۲]، خدیجه مصطفائی [۳]

۱. دانشجو دکتری استراتژی صنعتی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲. دانشیار ، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳. استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰۷/۱٤ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۱۱/۱۵

چکیده

در سال‌های اخیر، آب به‌عنوان یک منبع کم‌یاب در بسیاری از کشورها، به‌ویژه ایران، تبدیل شده است. این پژوهش به بررسی استراتژی‌های توسعه پایدار دربخش آب و صنعت کشاورزی می‌پردازد و هدف اصلی آن ارتقاء کارایی مصرف آب از طریق طراحی راهبردهای مؤثر است. برای دستیابی به این هدف، دو روش سناریو اکتشافی و پس‌نگری به‌کار گرفته شده‌اند .در مرحله اول، با استفاده از روش سناریونویسی اکتشافی، سناریوهای اصلی شناسایی و تصمیمات کلیدی استخراج شدند. سپس، با بهره‌گیری از تحلیل استواری، اولویت این تصمیمات مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعدی، با استفاده از روش پس‌نگری، آینده مطلوب ترسیم و مسیرهای رسیدن به آن مشخص شد. این مسیرها با استفاده از تکنیک دلفی مورد ارزیابی قرار گرفتند تا مهم‌ترین آن‌ها شناسایی شوند.نتایج حاصل از هر دو روش نشان‌دهنده استواری گزینه‌های اهمیت سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آبی، توسعه کشت‌های مقاوم به خشکی و شوری و افزایش بازچرخانی و استفاده مجدد از آب است. همچنین مشخص شد که این دو روش به‌نوعی تمام کننده یکدیگر بوده و مسیرها و تصمیمات مکملی را ارائه می‌دهند .این پژوهش می‌تواند مبنای مناسبی برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان درجهت مدیریت پایدار منابع آب در بخش کشاورزی باشد.

کلیدواژه‌ها: آب، صنعت کشاورزی، سناریو، استراتژی، پسنگری

---

*نویسنده مسئول مقاله : Email: mdnayeri@modares.ac.ir

۱- مقدمه و بیان مسئله

آب به‌عنوان منبع حیاتی نه‌تنها برای بقا و تداوم زندگی انسان، بلکه برای توسعه پایدار و فعالیت‌های کشاورزی نقش کلیدی دارد. مدیریت صحیح منابع آبی برای دستیابی به توسعه اجتماعی، اقتصادی و حفظ محیط‌زیست سالم ضروری است. با این حال، درحال حاضر بیش از ۱.۷ میلیارد نفر در حوضه‌های رودخانه‌ها و دریاچه‌ها زندگی می‌کنند که بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع تجدیدپذیر آب دارند. در ایران، بررسی‌ها نشان می‌دهد که در دو دهه گذشته، بیشترین سهم مصرف آب مربوط به بخش کشاورزی بوده است. در این زمینه، نرخ اشتغال در بخش کشاورزی به‌طور مداوم کاهش یافته و در سال‌های اخیر به ٤٠ درصد رسیده است. این وضعیت نامناسب منابع آبی در ایران، ارتقاء کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی را به یکی از مهم‌ترین سیاست‌های کنترل مصرف آب تبدیل کرده است [1].

کشاورزی همواره نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی و حفظ زندگی انسان‌ها داشته است. بنابراین، توسعه پایدار این بخش به‌عنوان یکی از اولویت‌های کلیدی برای سیاست‌گذاران مطرح می‌شود. فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا و هوش مصنوعی می‌توانند به بهبود کارایی و توسعه کشاورزی کمک کنند. این فناوری‌ها با ارائه داده‌های دقیق و به‌روز، به کشاورزان امکان افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها را می‌دهند. از کاربردهای اینترنت اشیا می‌توان به نظارت بر محصولات، توسعه سیستم‌های آبیاری هوشمند و بهینه‌سازی مصرف آب اشاره کرد. این فناوری‌ها به کشاورزان کمک می‌کنند تا با استفاده از داده‌های دقیق و به‌روز، بهره‌وری خود را افزایش داده و هزینه‌ها را کاهش دهند [۲].

یکی از ابزارهای استراتژیک که می‌تواند در راستای مدیریت منابع آب مفید باشد، سناریونویسی است. این فرایند خلاقانه به کشاورزان و تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا ریسک‌ها و فرصت‌های احتمالی آینده را بهتر درک کرده و تصمیمات مؤثرتری اتخاذ کنند. ترکیب این شاخص‌ها می‌تواند ابزار مفیدی برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان باشد تا نقاط قوت و ضعف کشاورزی را شناسایی کرده، وضعیت پایداری آن را در مناطق مختلف مقایسه و از این طریق به هدایت سیاست‌های کشاورزی در مسیر توسعه پایدار کمک کنند [۳]. سناریوهای مبتنی بر مدل‌های توسعه می‌توانند به پیش‌بینی حجم تولید و فروش محصولات مختلف کشاورزی کمک کنند و به این ترتیب، سیاست‌گذاران را در اتخاذ تصمیمات بهتر یاری دهند [٤].

یکی از چالش‌های مهم دریاچه ارومیه کاهش سطح آب آن به‌دلیل بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آبی این حوضه است. این دریاچه که یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های شور جهان محسوب می‌شود، نیازمند مدیریت پایدار و یکپارچه است؛ زیرا کاهش سطح آب آن نه‌تنها پیامدهای زیست‌محیطی بلکه پیامدهای اقتصادی و اجتماعی گسترده‌ای مانند مهاجرت و رکود صنعت گردشگری منطقه را نیز به‌دنبال دارد. با توجه به این چالش‌ها، سناریوهای مختلفی برای آینده کشاورزی و اشتغال در این منطقه تدوین شده است که می‌تواند راهکاری برای مقابله با بحران‌های پیش‌رو باشد. محدوده زمانی پژوهش شامل یک افق ۲۰ ساله تا سال ۱٤۲۳ با شرایط توسعه پایدار صنعت کشاورزی در بخش آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه است.

هدف اصلی این پژوهش پیشنهاد چارچوب استراتژی استوار برای توسعه بخش آب صنعت کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه است تا پایداری و انعطاف‌پذیری این بخش را در برابر چالش‌هایی مانند خشکسالی و کمبود منابع آب افزایش دهد. اهداف فرعی شامل شناسایی سناریوهای محتمل آینده، ارزیابی آسیب‌پذیری بخش آب کشاورزی و طراحی مسیرهای تصمیم مناسب برای مقابله با آن‌ها است. درنهایت هدف این است که با پیاده‌سازی استراتژی استوار، پایداری و انعطاف‌پذیری بخش آب صنعت کشاورزی در منطقه افزایش یابد.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در صنعت کشاورزی، مدیریت مصرف آب به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی شناخته می‌شود. بخش قابل توجهی از آب مصرفی در سطح جهانی به فعالیت‌های کشاورزی اختصاص دارد و با افزایش جمعیت، نیاز به تولید غذا نیز به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. با این حال، هنوز ۱۰ درصد از جمعیت جهان در وضعیت نامناسبی از نظر امنیت غذایی قرار دارند. پژوهش حاضر بر روی توسعه پایدار منابع آب در بخش کشاورزی متمرکز است و هدف اصلی آن طراحی و ارائه استراتژی‌های مؤثر در این زمینه است. این اهداف با بهره‌گیری از روش‌های پس‌نگری و تحلیل سناریوهای اکتشافی دنبال می‌شود.

۲-۱- توسعه پایدار آب در کشاورزی

آب در اکثر کشورها با سرعت زیادی تبدیل به یک عامل حساس گشته است. این امر از یک طرف به‌دلیل رشد جمعیت و از طرف دیگر به‌علت رشد سریع فعالیت‌های توسعه‌ای، اقتصادی

و تجاری می‌باشد. کریموف[1] و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که با افزایش جمعیت و توجه به مسائل محیطی، مدیریت منابع آب اهمیت بیشتری پیدا کرده است. راهکارهای ارائه‌شده در پاسخ به نیازها و محدودیت‌های توسعه کشاورزی تحت تأثیر شرایط کم‌آبی و یا پرآبی قرار دارند [۵]. شارما[2] و همکاران (۲۰۲۳) متوجه شدند اتوماسیون کشاورزی یک پدیده نسبتا جدید در سراسر جهان است. جمعیت جهان به سرعت در حال رشد و در نتیجه تقاضا برای غذا و نیروی کار افزایش یافته است. تکنیکهای مرسوم کشاورزان برای دستیابی به این اهداف ناکافی است. آنها دریافتند که کشاورزی در نتیجه هوش مصنوعی تغییر کرده است [٦]. مندوزا[3] و همکاران (۲۰۲۳)، سناریوهای نوظهور برای مدیریت آب و زیرساخت‌های مرتبط را مورد بررسی قرار دادند [۷]. یکه‌زارع و رضایی (۲۰۲۱) در پژوهش خود به بسط مفهوم توسعه پایدار پرداخته و آن را در محدوده معنایی مدیریت روابط سیستم‌های انسانی و اکوسیستم‌ها به‌منظور استفاده پایدار از منابع درجهت تأمین رفاه حال و آینده انسان‌ها و اکوسیستم‌ها تعریف کردند [۸]. در مطالعه بهروزه و همکاران (۲۰۲۲) مشخص شد هدف توسعه پایدار آب در صنعت کشاورزی، دستیابی به حداکثر انرژی تولیدی برای هر واحد انرژی مصرفی در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی است [۹]. سریدهار[4] و همکاران (۲۰۲۳) به اهمیت شیوه‌های کشاورزی پایدار با تمرکز بر تکنیک‌هایی مانند کشاورزی شهری و هیدروپونیک اشاره کردند [۱۰]. احمدعالی و همکاران (۲۰۱۸)، شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی و کشاورزی را با استفاده از معیارهای عملکردی متاثر از تغییر اقلیم و استراتژی‌های مدیریت آب برای حوضه‌های رودخانه‌های زرینه‌رود و سیمینه‌رود به‌عنوان بزرگ‌ترین زیرحوضه دریاچه ارومیه مورد ارزیابی قرار دادند. [۱۱]. احمدی کرد و همکاران (۲۰۱۶) با درنظر گرفتن کیفیت‌های متفاوت پساب، به ارائه رویکرد جدید در استفاده از پساب در کشاورزی برای افزایش سلامت محصول و افزایش بهره‌وری آب پرداختند [۱۲]. دوکوتا[5] و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر فناوری‌های حفاظت از منابع در بهبود پایداری آب پرداختند [۱۳]. لو[6] و همکاران (۲۰۲۲) با تحلیل تاب‌آوری سیستم‌های منابع آب کشاورزی از سه بعد

[1] Karimov
[2] Sharma
[3] Mendoza
[4] Sridhar
[5] Devkota
[6] Lu

اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی، به بررسی این سیستم‌ها پرداختند [۱٤]. اوباالدین[۱] و همکاران (۲۰۲۲) پژوهشی را با هدف برجسته کردن سهم آبیاری هوشمند با استفاده از اینترنت اشیا و سیستم‌های مرتبط با حس‌گرها بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که سیستم‌های آبیاری خودکار برای حفظ آب ضروری هستند و این بهبود می‌تواند نقش حیاتی در به حداقل رساندن مصرف آب داشته باشد [۱۵]. داناراجو[۲] و همکاران (۲۰۲۲) کشاورزی هوشمند را بر مبنای فناوری اطلاعات و حس‌گرها معرفی کردند [۱٦]. داهال[۳] و همکاران (۲۰۲۳) نیز با استفاده از تکنیک نظرسنجی دلفی به تعریف پایداری در مدیریت آب کشاورزی پرداختند [۱۷].

۲-۲- استراتژی صنعت کشاورزی

استراتژی‌های مناسب برای مدیریت آب در صنعت کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردارند و به تأمین آب مورد نیاز کشاورزان و تولید محصولات کمک می‌کنند. طراحی اکوسیستم‌های کشاورزی چندمنظوره می‌تواند به پایداری این سیستم‌ها کمک کند. ژانگ[٤] و همکاران (۲۰۲۳) مدل برنامه‌ریزی چندهدفه‌ای را برای بهینه‌سازی استراتژی‌های آبیاری و کاهش اثرات خشکسالی پیشنهاد کردند [۱۸]. سناریونویسی، به‌عنوان یک فرایند خلاقانه، می‌تواند در طراحی استراتژی‌های توسعه کشاورزی موثر باشد. مک‌فرسون[۵] و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی سناریوهای مختلف، به بررسی تأثیر دیجیتالی شدن و پایداری کشاورزی پرداختند [۱۹]. مزروعی نصرآبادی و صادقی آرانی (۲۰۲۳) در پژوهش خود از روش سناریوهای رو به جلو و رو به عقب بهره برده تا متغیرهای وابسته و مستقل پژوهش درجهت ترکیب با روش مدل‌سازی و ایجاد استراتژی موردنظر را بیابند [۲۰]. در پژوهش سونگ[٦] و همکاران (۲۰۲۳) که از روش سناریونویسی برای استراتژی بخش کشاورزی چین استفاده کرده بودند مشخص شد باید توجه بیشتری به سناریوهای توسعه هم‌افزایی انرژی کشاورزی داشت [۲۱]. همچنین جیرن[۷] و همکاران (۲۰۲۳) نیز به چگونگی ادغام پس‌نگری در برنامه‌ریزی نهایی استراتژی پرداخته‌اند [۲۲]. جعفرپور و همکاران (۲۰۲۳) با روش سناریونویسی شبکه تجارت جهانی، استواری استراتژی کسب و کارهای فعال در بخش کشاورزی هوشمند را بررسی کردند [۲۳].

[۱] Obaideen
[۲] Dhanaraju
[۳] Dahal
[٤] Zhang
[۵] MacPherson
[٦] Song
[۷] Jiren

۲-۳- ترکیب استراتژی استوار و روش‌های پژوهش عملیاتی نرم

در پژوهش دی‌رویتر[۱] (۲۰۱۶) مشخص شد که سه نوع گزینه در برنامه‌ریزی استراتژیک وجود دارد: گزینه‌های استوار که در همه سناریوها اجرا می‌شوند، گزینه‌های حذف‌پذیر و گزینه‌های اقدام که فقط در برخی سناریوها مطرح می‌شوند [۲٤]. گاسوامی[۲] و همکاران (۲۰۲۱)، در بررسی تأثیرات اپیدمی کرونا بر سیستم‌های کشاورزی، از تحقیقات کیفی و نقشه‌برداری شناختی فازی برای شناسایی استراتژی‌های استوار استفاده کردند [۲٥]. واکر[۳] و همکاران (۲۰۲۲) روش ارزیابی استوار بودن استراتژی مبتنی بر سناریو را برای بررسی اثرات پیشرفت‌های آتی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای پیشنهاد کردند [۲٦]. همچنین، کومار[٤] و پانت (۲۰۲۳) به بررسی فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی در زمینه کشاورزی پایدار پرداختند [۲۷]. گائو[٥] و همکاران (۲۰۲۳) جامع‌ترین استراتژی توسعه شهری و روستایی را تحت هجده سناریوی اکتشافی از رشد جمعیت و سیاست‌های کاربری زمین‌های زراعی در تولید غذا انجام دادند [۲۸].

۲-۴- جمع‌بندی پیشینه پژوهش

پیشینه پژوهش حاضر نشان‌دهنده اهمیت و ضرورت مدیریت منابع آب در صنعت کشاورزی به‌عنوان یک چالش اساسی برای دستیابی به توسعه پایدار است. با توجه به افزایش جمعیت جهانی و نیاز فزاینده به تولید غذا، مصرف آب در کشاورزی به یک موضوع حیاتی تبدیل شده است. مطالعات متعدد نشان می‌دهد که علی‌رغم پیشرفت‌های فناوری و راهکارهای نوین، درصد مهمی از جمعیت جهان هنوز در وضعیت نامناسبی از نظر امنیت غذایی قرار دارند.

تحقیقات اخیر بر اهمیت توسعه پایدار آب در کشاورزی تأکید دارند و نشان می‌دهند که مدیریت بهینه منابع آب، تحت تأثیر شرایط اقلیمی و اقتصادی، ضروری است. به‌ویژه، فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا و هوش مصنوعی می‌توانند نقش مؤثری در بهبود کارایی مصرف آب و افزایش بهره‌وری کشاورزی ایفا کنند. همچنین، استفاده از سناریونویسی به‌عنوان یک ابزار تحلیلی می‌تواند به کشاورزان و سیاست‌گذاران کمک کند تا ریسک‌ها و فرصت‌های آینده را شناسایی و مدیریت کنند.

[۱] De Ruijter
[۲] Goswami
[۳] Walker
[٤] Kumar
[٥] Gao

علاوه بر این، طراحی اکوسیستم‌های چندمنظوره و اتخاذ استراتژی‌های استوار در مدیریت منابع آب می‌تواند به پایداری این سیستم‌ها کمک کند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ترکیب روش‌های عملیاتی نرم با استراتژی‌های سناریونویسی، ابزارهای کارآمدی برای مقابله با عدم قطعیت‌ها و چالش‌های موجود در صنعت کشاورزی فراهم می‌آورد. در نهایت، این پیشینه پژوهش بر لزوم توجه بیشتر به جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی در مدیریت منابع آب تأکید دارد و ضرورت توسعه رویکردهای نوین و یکپارچه را برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار در صنعت کشاورزی برجسته می‌کند.

۳- روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش، در گام نخست از روش‌های کیفی استفاده شده است. این روش‌ها شامل تحلیل محتوای متون تخصصی از قبیل کتاب‌ها و مقالات علمی هستند که به شناسایی مقوله‌های زیربنایی پدیده مورد مطالعه کمک می‌کنند. داده‌های به‌دست‌آمده از این تحلیل، اطلاعات پایه‌ای را برای آغاز روش‌های پس‌نگری و سناریونویسی اکتشافی فراهم می‌آورند. با استفاده از این داده‌ها، پیش‌بینی‌های مختلفی از آینده از طریق سناریونویسی ارائه می‌شود و در نهایت، با بهره‌گیری از روش‌های پژوهش عملیاتی نرم، سناریوها بررسی شده و تصمیمات و گزینه‌های استوار با اولویت‌های مشخص تعیین می‌گردند.

۳-۱- جامعه و نمونه پژوهش

جامعه تحقیق شامل افراد و سازمان‌های فعال در زمینه آب و صنعت کشاورزی است. این جامعه شامل ۱۵ نفر از خبرگان، از جمله کارشناسان آب، متخصصان کشاورزی و مدیران سازمان‌های مرتبط می‌باشد. همچنین، وزارتخانه‌های آب و منابع طبیعی، سازمان‌های تحقیقاتی و دانشگاه‌ها نیز در این جامعه قرار دارند. نمونه تحقیق براساس روش سناریونویسی اکتشافی و پس‌نگری انتخاب می‌شود و شامل چند شهر یا استان با مسائل مرتبط با آب و صنعت کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه است. هدف از این مطالعه، بهبود استراتژی‌های مدیریتی و استفاده بهینه از منابع آب در صنعت کشاورزی است.

۳-۲- سناریونویسی

برنامه‌ریزی سناریو به‌عنوان چارچوبی برای توسعه سیاست‌های انعطاف‌پذیر در مواجهه با عدم اطمینان‌های غیرقابل کنترل مطرح می‌شود. سناریوها به‌عنوان روایاتی از آینده، از ترکیب

چند سناریوی متضاد برای بررسی عدم قطعیت‌های مرتبط با پیامدهای تصمیمات طراحی می‌شوند. سناریوهای اکتشافی به تجزیه و تحلیل عدم قطعیت در فرآیند برنامه‌ریزی کمک می‌کنند و می‌توانند در اشکال مختلفی، از کارگاه‌های آموزشی تا پروژه‌های پیچیده، گنجانده شوند. برای انجام این روش محدوده پژوهش باید مشخص شود. محدوده پژوهش شامل سه نوع محدوده موضوعی، جغرافیایی و زمانی می‌شود. محدوده موضوعی مربوط به صنعت کشاورزی و به‌ویژه بخش آب آن است که در عین‌حال به‌دلیل بررسی پایداری به محیط‌زیست نیز مربوط می‌شود. محدوده جغرافیایی پژوهش مربوط به محدوده‌های مرتبط با صنعت کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. همچنین محدوده زمانی نیز شامل یک افق ۲۰ ساله تا سال ۱٤۲۳ و شرایط توسعه پایدار صنعت کشاورزی در بخش آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه است.

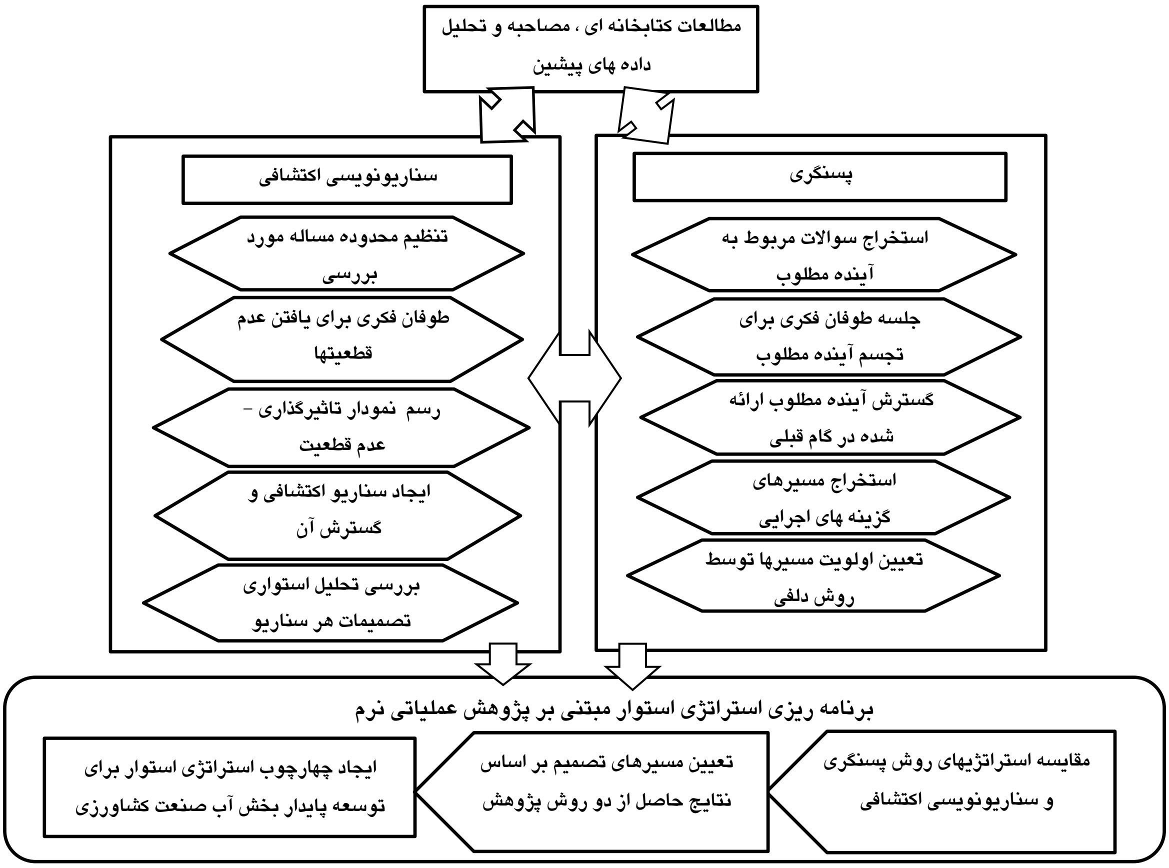
در ادامه، جامعه مورد بررسی درباره سوال محوری و پیشران‌های احتمالی بحث می‌کند. این کار با بررسی سوالات پژوهش و استخراج پیشران‌ها برای سناریونویسی آغاز شده که از طریق مطالعه ادبیات پژوهش و کمک از خبرگان، ۲٤ سوال محوری مطرح می‌شود. شناسایی پیشران‌ها به معنای شناسایی عواملی است که تأثیر مستقیم یا غیرمستقیم بر پاسخ‌های سوالات پژوهشی دارند. این بررسی‌ها به‌کمک روش پستل[1] صورت گرفته که در آن توسط عوامل اجتماعی، عوامل اقتصادی، عوامل سیاسی، عوامل فناوری، عوامل قانونی و عوامل زیست‌محیطی پیشران‌های تاثیرگذار مربوطه به دست می‌آیند. سپس طوفان فکری به‌کمک ۱۰ تا ۱۵ نفر از خبرگان که از بین متخصصان صنعت کشاورزی، آب و منابع طبیعی به‌همراه یک تسهیل‌گر و یک منشی برگزار می‌شود. طی این مرحله پیشران‌های اصلی مشخص می‌شوند. به‌کمک نمودار اهمیت-عدم قطعیت مهم‌ترین پیشران‌های اساسی مساله کشف شده تا در گام بعدی سناریوها توسط آن‌ها ایجاد شوند. سپس سناریوهای اکتشافی به‌کمک پیشران‌های اصلی مشخص شده در گام قبلی ایجاد می‌شوند. این سناریوها همگی در سال ۱٤۲۳رخ می‌دهند. درنهایت باز هم توسط اعضای جلسه طوفان فکری سناریوهای مشخص شده مورد بررسی قرار می‌گیرند. هدف از این جلسه بررسی مقبولیت سناریوها می‌باشد به‌طوری که در حقیقت، امکان پذیر بودن، خلاقانه بودن و مرتبط بودن آن‌ها مورد بحث قرار گیرد.

[1] PESTEL

پس‌نگری روش پژوهشی سناریوسازی است که از آینده هنجاری پیش‌بینی‌شده بهره می‌برد. ترکیب پس‌نگری با ارزیابی تأثیر کمی مدل‌سازی سناریو اکتشافی، روشی مناسب بوده و از تخمین پارامترهای تحلیل چرخه عمر اکتشافی بهره می‌برد. پس‌نگری با تصور آینده مطلوب آغاز می‌شود و با تعیین مراحل لازم برای افزایش شانس رسیدن به آن ادامه می‌یابد. در این پژوهش، هدف ترسیم آینده‌ای با توسعه پایدار صنعت کشاورزی است که در آن منابع آبی حفظ شده و اکوسیستم منطقه، به‌ویژه دریاچه ارومیه، بهره‌مند شود. در این مرحله، تعداد دقیق خبرگان با تکنیک نمونه‌گیری گلوله‌برفی مشخص شده و نیاز به یک تیم پروژه ۱۰ نفره تأیید می‌شود. این مرحله شامل ٤ گام بوده که توسط تیم پروژه تکمیل و مهم‌ترین آن، طوفان فکری برای تجسم آینده مطلوب توسط گروه قبلی و ٥ نفر از خبرگان محیط‌زیست است.

۳-۳- روش‌های پژوهش عملیاتی نرم

روش‌های پژوهش عملیاتی نرم مجموعه‌ای از روش‌شناسی‌ها برای ساختاردهی به مسئله هستند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌شناسی سیستم‌های نرم، دلفی، نگاشت شناختی، تحلیل و توسعه گزینه استراتژیک، رویکرد گزینه استراتژیک، تحلیل استواری و مدل‌سازی ساختاری تفسیری اشاره کرد. روش دلفی فرایندی ساختاریافته برای جمع‌آوری و طبقه‌بندی دانش گروهی از کارشناسان است که با توزیع پرسشنامه‌ها و بازخورد کنترل شده انجام می‌شود. این تکنیک برای شناسایی و غربال مهم‌ترین شاخص‌های تصمیم‌گیری استفاده می‌شود و در این پژوهش به یافتن اولویت‌ها کمک می‌کند. تحلیل استواری روشی برای ساختاردهی به مسائل در شرایط عدم اطمینان زیاد است. زمانی که تصمیم‌گیری در فضای عدم قطعیت انجام می‌شود، تحلیل استواری روشی قابل اتکا برای ارزیابی پیامدهای یک تصمیم اولیه در طول زمان است و معیار ارزیابی از بهینگی به استواری تغییر می‌کند. در این پژوهش، رویکردهای تحلیل استواری برای رسیدن به تصمیمات استوار کمک کرده تا در پی آن استراتژی استوار ایجاد شود. در نهایت می‌توان گفت مدل نهایی روش پژوهش و مراحل انجام آن به ترتیبی که در شکل ۱ نشان داده شده، می‌باشد.



شکل ۱ . مدل نهایی روش پژوهش و مراحل انجام آن

۴- یافته‌های پژوهش

برای ایجاد استراتژی استوار از ترکیب روش‌های سناریو و پژوهش‌های عملیاتی نرم در بخش آب صنعت کشاورزی، مطالعه بر روی یک منطقه خاص و در شرایط بحرانی ضرورت دارد. با توجه به خطر خشک شدن دریاچه ارومیه و تأثیر آن بر محیط و صنعت کشاورزی حوضه، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بخش آب این منطقه به یک استراتژی استوار نیاز دارد.

۴-۱- سناریوهای اکتشافی

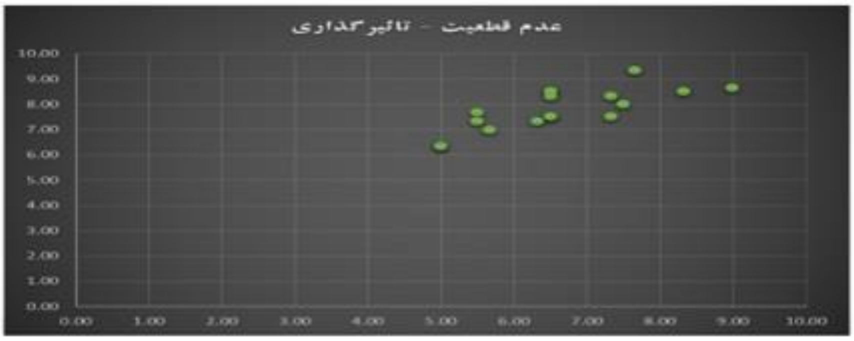
برای رسیدن به سناریوهای اکتشافی، ۳۵ پیشران تأثیرگذار بر آینده بخش آب صنعت کشاورزی با استفاده از سوالات محوری و روش پستل شناسایی شد. این پیشران‌ها برای تسهیل بررسی، به ۸ گروه مرتبط دسته‌بندی گردیدند. در ادامه، پیشران‌هایی که به‌دلایل مختلف قابل حذف بودند، کنار گذاشته شدند. به‌عنوان مثال، پیشران‌های "مدیریت تلفیقی آفات" و "تدوین قوانین مناسب" به دلیل تکراری بودن حذف شدند. همچنین، پیشران‌هایی مانند "پیشرفت‌های فناورانه در زیردریایی‌های هسته‌ای" ، "توسعه گردشگری کشاورزی" و "ایجاد صندوق‌های بیمه" نیز به دلیل کم‌اهمیت بودن کنار گذاشته شدند. در نهایت، ۱۷ پیشران نهایی انتخاب شدند. سپس با استفاده از خبرگان، نمودار عدم قطعیت و تأثیرگذاری پیشران‌های اصلی ترسیم شد. خبرگان امتیازاتی از ۱ تا ۱۰ برای بررسی پیشران‌ها از دو منظر عدم قطعیت و تأثیرگذاری ارائه کردند. میانگین امتیازها در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس این ارزیابی، پیشران‌هایی نظیر "مدیریت یکپارچه منابع آب"، "تغییرات آب و هوا" و "استفاده از هوش مصنوعی و داده‌کاوی در مدیریت آب و کشاورزی" بالاترین تأثیرگذاری را داشتند. همچنین، پیشران‌هایی نظیر "تغییرات آب و هوا" و "گرمایش جهانی" بالاترین عدم قطعیت را نشان دادند. با توجه به نمودار نهایی در شکل ۲، پیشران‌های " تغییرات آب و هوا" و "استفاده از هوش مصنوعی و داده‌کاوی" به‌عنوان پیشران‌های اصلی پژوهش در راستای تدوین سناریوهای اکتشافی انتخاب شدند.

جدول ۱. میانگین امتیاز خبرگان برای بررسی میزان عدم قطعیت و تاثیرگذاری پیشران‌ها

پیشران	تاثیرگذاری	عدم قطعیت
مدیریت یکپارچه منابع آب	۸.۵	۶.۵
بهره‌وری آب در بخش کشاورزی	۷.۶	۵.۵
بازیافت و استفاده مجدد از آب	۷.۳	۶.۳
مدیریت تقاضای آب در بخش کشاورزی	۷.۵	۷.۳
توسعه زیرساخت‌های آبی مانند سدها و شبکه‌های آبیاری	۷.۲	۵.۵
تغییرات آب و هوا	۸.۷	۹
گرمایش جهانی	۸.۵	۸.۳
خشک شدن دریاچه ارومیه و طوفان‌های نمکی	۸.۳	۶.۴

پیشران	تاثیرگذاری	عدم قطعیت
آلودگی‌های حاصل از صنعت کشاورزی	۷	۵.۶
تکنولوژی در صنعت کشاورزی	۸.۳	۷.۳
روش‌های نوین آبیاری	۷.۴	۶.۵
کشت گلخانه‌ای و هیدروپونیک	۶.۲	۵
استفاده از هوش مصنوعی و داده‌کاوی در مدیریت آب	۹.۳	۷.۶
توسعه کشاورزی هوشمند	۸.۲	۷.۵
تغییر الگوی کشت	۸.۳	۶.۵
استفاده از ارقام مقاوم به خشکی و شوری	۷.۴	۶.۵
توسعه کشاورزی ارگانیک و کاهش مصرف سموم شیمیایی	۶.۳	۵

مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تغییرات آب و هوا شامل میزان بارش‌ها و تغییرات دما هستند. هر دو عامل دارای دو حالت (دمای بالا و پایین، بارش بالا و پایین) هستند که بر تولید محصولات تأثیر می‌گذارد، اما تأثیرات در بین محصولات متفاوت است [۲۹]. استفاده از هوش مصنوعی در صنعت کشاورزی در حال افزایش است. این فناوری می‌تواند کشاورزان را قادر سازد تا ماشین‌آلات کشاورزی مستقل را به‌کار گیرند و پیش‌بینی‌های بهتری از وضعیت محصولات داشته باشند. همچنین، پیشرفت‌های اخیر در هوش مصنوعی می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا بیماری‌های محصول و آلودگی آفات را کاهش دهند [۳۰].



شکل۲ . نمودار عدم قطعیت و تاثیرگذاری

پیشران "استفاده از هوش مصنوعی"، دارای ٤ حالت است. با ترکیب ٤ حالت پیشران اول و ٤ حالت پیشران دوم، ١٦ سناریو به‌دست آمد که به‌صورت مقدماتی بررسی شدند.

جدول ۲. ١٦ سناریو به دست آمده در مرحله اول

سناریو	میانگین دما	میانگین بارش	پیشرفت هوش مصنوعی	کاربرد هوش مصنوعی
سناریو ۱	↑	↑	↑	↑
سناریو ۲	↑	↑	↑	↓
سناریو ۳	↑	↑	↓	↑
سناریو ٤	↑	↑	↓	↓
سناریو ٥	↑	↓	↑	↑
سناریو ٦	↑	↓	↑	↓
سناریو ۷	↑	↓	↓	↑
سناریو ۸	↑	↓	↓	↓
سناریو ۹	↓	↑	↑	↑
سناریو ۱۰	↓	↑	↑	↓
سناریو ۱۱	↓	↑	↓	↑
سناریو ۱۲	↓	↑	↓	↓
سناریو ۱۳	↓	↓	↑	↑
سناریو ١٤	↓	↓	↑	↓
سناریو ١٥	↓	↓	↓	↑
سناریو ١٦	↓	↓	↓	↓

این بررسی شامل ارزیابی سناریوها بر اساس معیارهای اهمیت، احتمال وقوع و معقول بودن بود. سناریوهایی که احتمال وقوع بیشتری دارند براساس روندهای بارش و تغییرات دما در حوضه دریاچه ارومیه مشخص شدند. جدول ۲ پیش‌بینی روندهای مذکور در بازه زمانی سناریوها را تحلیل و ارائه می‌دهد. این یافته‌ها نشان‌دهنده اهمیت توجه به پیشران‌های اصلی و تأثیر آن‌ها بر آینده صنعت کشاورزی و مدیریت منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه هستند. با شناسایی پیشران‌های کلیدی و سناریوهای محتمل، می‌توان استراتژی‌های مؤثری برای مقابله با چالش‌های موجود و بهبود مدیریت منابع آب طراحی کرد. این استراتژی‌ها می‌توانند به حفظ و توسعه پایدار کشاورزی در این منطقه کمک کنند و در نهایت به حفظ اکوسیستم دریاچه ارومیه منجر شوند.

با توجه به روندهای به‌دست‌آمده محتمل‌ترین و بحرانی‌ترین سناریوها شناسایی و تحلیل شدند. وضعیت دما و بارش نشان می‌دهد که در افق ۲۰ ساله، با افزایش میانگین دما و کاهش میزان بارش‌ها مواجه خواهیم بود. همچنین، با توجه به رشد کاربرد هوش مصنوعی در کشاورزی و مدیریت آب، سناریو پنجم به‌عنوان محتمل‌ترین سناریو در نظر گرفته می‌شود. در مقابل، سناریو اول با احتمال وقوع کمتری نسبت به سناریو پنجم، به وضعیت سال‌هایی با بارش‌های افزایشی اشاره دارد که بررسی آن نیز واجد اهمیت است. برای تحلیل سناریوهای مهم، سناریوهای هشتم و نهم نیز مورد توجه قرار گرفتند. سناریو هشتم به وضعیت بحرانی و خطرات حیاتی پرداخته و سناریو ۹ هم آرمانی ترین شرایط ممکن را نشان می‌دهد.

۴-۱-۱- سناریو اول: چالش‌های افزایش دما در شرایط مساعد بارش و پیشرفت تکنولوژی

در این سناریو، میانگین دما و میزان بارش بالا و پیشرفت هوش مصنوعی در مدیریت آب در سطح بالایی قرار دارد. افزایش دما باعث تبخیر بیشتر و چالش‌های مدیریتی در منابع آب می‌شود. با وجود بارندگی بالا، مدیریت صحیح منابع آب برای جلوگیری از اتلاف آن ضروری است. این سناریو با افق زمانی ۲۰ سال در نظر گرفته شده و انتظار می‌رود پیشرفت‌های قابل توجهی در تکنولوژی و هوش مصنوعی در این مدت صورت گیرد. مشکل اصلی، افزایش تبخیر ناشی از گرمایش جهانی و چالش‌های مربوط به مدیریت منابع آب است. برخی از راهکارهای پیشنهادی شامل مدیریت یکپارچه منابع آب، افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی، بازیافت پساب‌ها و توسعه زیرساخت‌های آبی نوین هستند. همچنین، تغییر الگوی کشت به سمت محصولات کم‌آب‌بر و مقاوم به گرما و استفاده از ارقام مقاوم به خشکی نیز از دیگر راهکارها می‌باشد.

۴-۱-۲- سناریو پنجم: مدیریت آب در شرایط خشکسالی با استفاده از هوش مصنوعی

این سناریو به شرایطی اشاره دارد که در آن میانگین دما به‌دلیل گرمایش جهانی افزایش یافته و بارش‌ها کاهش می‌یابند. این وضعیت می‌تواند به خشکسالی‌های شدید و خشک شدن دریاچه ارومیه منجر شود و طوفان‌های نمکی ایجاد کند. با این حال، پیشرفت هوش مصنوعی و کاربرد آن در مدیریت آب و کشاورزی در سطح بالایی قرار دارد. مشکل اصلی در این سناریو کمبود منابع آب و تأثیرات تغییرات اقلیمی بر کشاورزی و دریاچه ارومیه است. انتظار می‌رود با اجرای رویکرد بهره‌گیری از هوش مصنوعی و داده‌کاوی، شرایط توسعه پایدار در حوضه

آبریز دریاچه ارومیه پس از ۲۰ سال بهبود یابد. همچنین، تداوم تحقیق و توسعه در زمینه مهندسی ژنتیک گیاهان و سیستم‌های هشدار زودهنگام برای مدیریت بحران خشکسالی از جمله پیشنهادات آینده خواهد بود. گسترش همکاری‌های منطقه‌ای و بین‌المللی برای مدیریت یکپارچه حوضه‌های آبریز نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

۴-۱-۳- سناریو هشتم: چالش‌های مدیریت آب در آینده‌ای خشک با محدودیت‌های فناوری

این سناریو وضعیتی را ترسیم می‌کند که در آن افزایش دما و کاهش بارندگی، منابع آب را با چالش‌های جدی مواجه می‌سازد. در این شرایط، پیشرفت‌های فناوری در حوزه هوش مصنوعی محدود است و مدیریت منابع آب با مشکلات عدیده‌ای روبرو خواهد شد. تغییر الگوی کشت به سمت محصولات کم‌آب‌بر و استفاده از ارقام مقاوم به خشکی ضروری خواهد بود. کمبود آب و محدودیت‌های فناوری می‌تواند بحران‌های غذایی، مهاجرت‌های گسترده، تنش‌های اجتماعی و تخریب محیط‌زیست را به‌دنبال داشته باشد. راهکارهای پیشنهادی شامل سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه برای فناوری‌های پیشرفته در زمینه تصفیه و مدیریت آب، اجرای برنامه‌های آموزشی برای افزایش آگاهی عمومی درباره ارزش آب و بازنگری قوانین مربوط به حفاظت از منابع آب است. همچنین، اختصاص بودجه کافی برای نوسازی زیرساخت‌های آبی نیز از جمله اقداماتی هستند که می‌توانند به بهبود وضعیت کمک کنند.

۴-۱-۴- سناریو نهم: پیشرفت فناورانه در میان شرایط آب و هوایی مطلوب

این سناریو که آرمانی‌ترین شرایط ممکن را در خود دارد، نمایان‌گر آینده‌ای است که در آن شرایط آب و هوایی مطلوب با پیشرفت‌های قابل توجه در هوش مصنوعی و کاربرد گسترده آن در مدیریت منابع آب همراه است. در این سناریو، میانگین دما پایین و میزان بارش بالا بوده و هوش مصنوعی به‌طور گسترده به‌کار گرفته می‌شود. اگرچه شرایط آب و هوایی مطلوب است، مدیریت بهینه منابع آب همچنان چالشی مهم باقی می‌ماند. در افق ۲۰ ساله این سناریو، شاهد بازگشت حیات به دریاچه ارومیه و رونق فعالیت‌های اقتصادی وابسته خواهیم بود. توسعه پایدار در این حوضه ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را دربرمی‌گیرد. پیشنهادات شامل تدوین برنامه جامع ملی برای توسعه هوش مصنوعی در مدیریت آب و افزایش سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و ایجاد مراکز تخصصی است.

۴-۲- تحلیل استواری

در این مرحله، تصمیمات قابل اجرایی از هر سناریو با توجه به شرایط، نیازها و گزینه‌های عملیاتی انتخاب و به کمک روش تحلیل استواری بررسی و اولویت‌بندی می‌شوند. تصمیمات عملی از این سناریوها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. تصمیم‌ها و پیامدهای سناریوها

تصمیم ۱	توسعه و بهبود سامانه‌های پیش‌بینی هوشمند بارش و مدیریت سیلاب‌ها
تصمیم ۲	ایجاد سیستم‌های هوشمند هشدار سریع سیل
تصمیم ۳	ایجاد سامانه‌های هوشمند پایش و کنترل سیلاب‌ها
تصمیم ۴	اجرای پروژه‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری هوشمند
تصمیم ۵	استفاده از هوش مصنوعی در پایش و ارزیابی پروژه‌ها
تصمیم ۶	توسعه سامانه‌های هوشمند پایش و ارزیابی منابع آب
تصمیم ۷	توسعه کشت‌های گلخانه‌ای و هیدروپونیک
تصمیم ۸	اجرای پروژه‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری هوشمند
تصمیم ۹	استفاده از روش‌های سنتی پایش و ارزیابی
تصمیم ۱۰	اجرای طرح‌های بازچرخانی و استفاده مجدد از آب
تصمیم ۱۱	استفاده از روش‌های سنتی تصفیه و بازچرخانی
تصمیم ۱۲	حمایت از توسعه کشت‌های مقاوم به خشکی و شوری

جدول ٤. امتیازهای ماتریس استواری و ماتریس ضعف پذیری

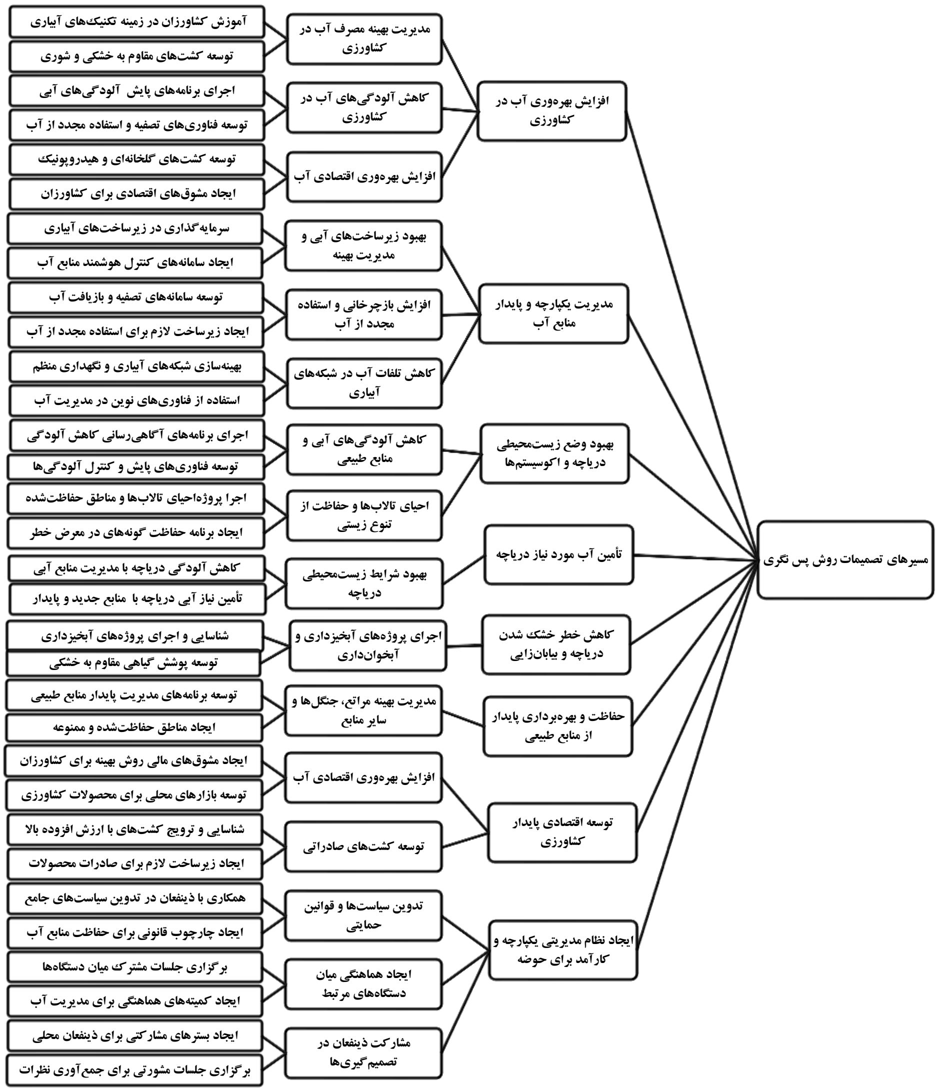
تصمیم	ماتریس استواری سناریوها					ماتریس ضعف پذیری سناریوها				
	۱	۵	۸	۹	**میانگین**	۱	۵	۸	۹	**میانگین**
سامانه پیش‌بینی هوشمند بارش	٥	٤	٣	٢	٣.٥	٢	٣	٣	٤	٣
سیستم هوشمند هشدار سریع سیل	٤	٤	٣	٢	٣.٢٥	٢	٣	٣	٤	٣
سامانه هوشمند پایش سیلاب‌ها	٥	٣	٤	٢	٣.٥	٢	٤	٣	٤	٣.٢٥
پروژه‌های آبخیزداری هوشمند	٤	٥	٤	٣	٤	٣	٢	٣	٣	٢.٧٥
هوش مصنوعی در پایش و ارزیابی	٣	٥	٤	٣	٣.٧٥	٣	٢	٣	٣	٢.٧٥
سامانه هوشمند ارزیابی منابع آب	٤	٤	٤	٣	٣.٧٥	٣	٢	٢	٣	٢.٥
کشت‌های گلخانه‌ای و هیدروپونیک	٣	٤	٥	٣	٣.٧٥	٣	٣	٢	٣	٢.٧٥
پروژه‌های آبخیزداری هوشمند	٤	٥	٤	٣	٤	٣	٢	٣	٣	٢.٧٥
روش‌های سنتی پایش و ارزیابی	٢	٢	٣	٤	٢.٧٥	٤	٤	٣	٢	٣.٢٥
طرح بازچرخانی واستفاده مجدد آب	٣	٤	٤	٥	٤	٢	٢	٢	٢	٢
استفاده از روش‌های سنتی تصفیه	٢	٢	٣	٣	٢.٥	٤	٤	٣	٣	٣.٥
حمایت کشت مقاوم خشکی و شوری	٤	٤	٥	٤	٤.٢٥	٢	٢	٢	٣	٢.٢٥

۴-۲-۱- آینده‌های محتمل

چندین آینده محتمل برای صنعت کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه شناسایی شد. در سناریو اول، افزایش بارش و دما می‌تواند به کشت‌های متنوع و پایدار منجر شود که به افزایش تولید محصولات و درآمد کشاورزان کمک می‌کند. سناریو پنجم، با وجود بارش کم، به پیشرفت فناوری و کاربرد هوش مصنوعی اشاره دارد که می‌تواند به بهینه‌سازی مصرف آب کمک کند. در سناریو هشتم، با وجود دما و بارش بالا، عدم پیشرفت در فناوری ممکن است منجر به کاهش بهره‌وری کشاورزی شود. سناریو نهم، با وجود دما و بارش پایین، نشان می‌دهد که پیشرفت فناوری می‌تواند به کشاورزی پایدار کمک کند. آینده‌های مشترک سناریوهای اول و نهم نشان‌دهنده این است که پیشرفت فناوری و هوش مصنوعی می‌تواند به بهینه‌سازی مصرف آب کمک کند. این آینده‌ها روی نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت هوشمند منابع آب برای مقابله با چالش‌های آتی تأکید می‌کنند. برای شبیه‌سازی مراحل تحلیل استواری، از نظرات خبرگان در زمینه‌های کشاورزی، آب و هوش مصنوعی استفاده شد. ماتریس‌های استواری و ضعف‌پذیری طبق جدول ۴ با امتیازات از ۱ تا ٥ تکمیل و تحلیل استواری انجام شد. به کمک فرمول حاصل از ماتریس‌های استواری و ضعف‌پذیری مشخص شد که تصمیم‌های شماره ۱۰ یعنی اجرای طرح‌های بازچرخانی و استفاده مجدد از آب و شماره ۱۲ حمایت از توسعه کشت‌های مقاوم به خشکی و شوری با امتیاز استواری ۲ و همچنین تصمیم‌های شماره ٤ اجرای پروژه‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری هوشمند و شماره ٦ توسعه سامانه‌های هوشمند پایش و ارزیابی منابع آب با امتیاز استواری ۱.۲٥ دارای بیشترین مقدار و احتمال وقوع هستند.

۴-۳- روش پس‌نگری

برای شروع فرآیند پس‌نگری، ابتدا جلسه‌ای با خبرگان برای انجام روش طوفان فکری صورت گرفت. در این جلسه، خبرگان در مورد ویژگی‌های آینده مطلوب ایده‌هایی مطرح کردند. بعد از بحث و بررسی این ویژگی‌ها، اولویت‌ها مشخص شدند. پس از انتخاب ویژگی‌های اولویت‌دار که هر یک به هدفی مشخص در آینده مطلوب نهایی مورد نظر خبرگان منتهی می‌شد، مسیرهایی شامل تعدادی گزینه اجرایی طراحی شدند. شکل ۳ نمودار این ویژگی‌ها و مسیر گزینه‌های اجرایی آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل۳. نمودار مسیر گزینه‌های اجرایی روش پس‌نگری

سپس خبرگان با روش دلفی مسیر تصمیمات را اولویت‌بندی کردند. آن‌ها امتیازهای هر خبره به مسیرها و سپس میانگین آن محاسبه و برای جلوگیری از خطای پراکندگی نظرات از انحراف معیار کمک گرفته شد. جدول ۵ میانگین امتیازات و انحراف معیار مسیرها را نشان می‌دهند.

جدول ۵. میانگین امتیازات و انحراف معیار هر مسیر از نظر خبرگان

مسیرها	میانگین امتیازات	انحراف معیار
افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی	۴.۴۳	۰.۸۳
تأمین آب مورد نیاز دریاچه	۳.۵۷	۰.۵۲
بهبود زیست‌محیطی دریاچه و اکوسیستم‌ها	۴	۰.۷۵
کاهش خطر خشک شدن دریاچه و بیابان‌زایی	۳.۵۷	۰.۸۳
مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب	۴.۴۳	۰.۵۲
حفاظت و بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی	۴	۱.۰۶
توسعه اقتصادی پایدار کشاورزی	۳.۱۴	۰.۷۵
ایجاد نظام مدیریتی کارآمد برای حوضه	۴	۰.۷۵

با توجه به میانگین امتیازات، مسیرهایی که دارای مقدار بیشتری هستند نشان از اولویت بالاتری دارند، اما به‌کمک جدول انحراف معیار می‌توان متوجه شد که مسیری مانند "مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب" دارای کمترین انحراف معیار بوده که حاکی از توافق بالای خبرگان روی آن است. در نهایت، بعد از محاسبات پایانی با در نظر گرفتن میانگین امتیازات و انحراف معیار هر مسیر، اولویت‌بندی آن‌ها مشخص شد. اول، "مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب" که شامل بهبود زیرساخت‌های آبی و مدیریت بهینه، افزایش بازچرخانی و استفاده مجدد از آب و کاهش تلفات آب در شبکه‌های آبیاری می‌شود. دوم، "افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی" که بر مدیریت بهینه مصرف آب، کاهش آلودگی‌های آب و افزایش بهره‌وری اقتصادی آب تمرکز دارد. گزینه سوم، "تأمین آب مورد نیاز دریاچه" با کمک بهبود شرایط زیست‌محیطی آن است. چهارم، "ایجاد نظام مدیریتی یکپارچه و کارآمد برای حوضه" که شامل تدوین سیاست‌ها و قوانین حمایتی، ایجاد هماهنگی میان دستگاه‌های مرتبط و مشارکت ذینفعان در تصمیم‌گیری‌ها می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج به‌دست‌آمده از دو روش سناریو اکتشافی و پس‌نگری نشان می‌دهد که این دو رویکرد در برخی جنبه‌ها مکمل یکدیگر هستند و ترکیب آن‌ها در ایجاد چارچوب استراتژی استوار موثر است. بررسی‌ها نشان داد که تأکید این دو روش بر اهمیت فناوری‌هایی چون هوش مصنوعی با پژوهش‌های پیشین هم‌خوانی دارد [۷][۱۰][۱۵]. همچنین، ترکیب این دو روش به‌عنوان پایه‌های راهبردی برای مدیریت منابع آب کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گرفته است. بیشترین تأثیر هم‌افزایی این دو روش در تعیین گزینه‌های استوار توسعه پایدار منابع آب کشاورزی شامل مواردی چون تأکید بر سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آبی و توسعه کشت‌های مقاوم به خشکی به‌عنوان راهکار کلیدی است. همچنین، ایجاد هماهنگی میان دستگاه‌های مرتبط، مشارکت ذینفعان در تصمیم‌گیری، اولویت‌بندی کاهش آلودگی‌های آبی و احیای تالاب‌ها و افزایش بهره‌وری آب با آموزش کشاورزان و مشوق‌های اقتصادی نیز از اهمیت بالایی برخوردارند. بنابراین، ترکیب سناریو اکتشافی و پس‌نگری به‌کمک روش‌های پژوهش عملیاتی نرم در این مطالعه نشان داد گزینه‌های استوار چون استفاده از فناوری‌های نوین ، افزایش بازچرخانی آب و تدوین سیاست‌های حمایتی از جمله پایه‌های راهبردی کلیدی با بالاترین اولویت برای مدیریت منابع آب و کشاورزی در این حوضه هستند. ترکیب این پایه‌ها در یک راهبرد جامع می‌تواند به بهبود وضعیت منابع آب و کشاورزی کمک کند.

پژوهش حاضر با تأکید بر مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب، بهبود زیرساخت‌ها و افزایش بازچرخانی آب، نوآوری‌های قابل توجهی را نسبت به کارهای قبلی ارائه می‌دهد. به همین ترتیب نتایج ارائه شده با پژوهش‌های احمدعالی (۲۰۰۶) و داناراجو (۲۰۲۲) با تاکید بر اهمیت تأمین آب مورد نیاز دریاچه‌ها و بهبود شرایط زیست‌محیطی هم‌خوانی دارد [۱۲][۱۶]. اما در عین حال این پژوهش با ترکیب روش‌های سناریونویسی اکتشافی و پس‌نگری به‌عنوان رویکردی نوین در تعیین گزینه‌های استوار و قابل اجرا تحت هر سناریویی برای مدیریت منابع آب در کشاورزی عمل کرده است. نتایج به دست آمده در زمینه کاهش تلفات آب در شبکه‌های آبیاری و افزایش بهره‌وری آب از طریق آموزش کشاورزان و ایجاد مشوق‌های اقتصادی، با یافته‌های پژوهش دوکوتا (۲۰۲۲) هم‌خوانی دارد [۱۳]. اما در پژوهش کنونی بر اهمیت فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی و اینترنت اشیا تأکید بیشتری شده است. نتایج به دست

آمده، بر ایجاد نظام مدیریتی یکپارچه و کارآمد برای حوضه با تدوین سیاست‌ها و قوانین حمایتی تمرکز دارد که این جنبه در پژوهش‌های قبلی نیز بررسی شده است [۱۵][۲۸]. البته توجه پژوهش حاضر به جنبه‌های اجتماعی و مشارکت ذینفعان نشان‌دهنده یک رویکرد جامع‌تر است و استراتژی نوآورانه‌ای برای مدیریت منابع آب کشاورزی ارائه می‌دهد که می‌تواند الگویی برای سایر مناطق مشابه باشد. نوآوری این پژوهش در استفاده از ترکیب روش‌های سناریونویسی اکتشافی و پس‌نگری برای شناسایی گزینه‌های استوار در مدیریت منابع آب کشاورزی، مدلی عملی است که با روش‌های پژوهش عملیاتی نرم اعتبار بیشتری یافته و می‌تواند به عنوان الگویی برای مواجهه با چالش‌های جهانی مانند تغییرات اقلیمی و کمبود منابع آب مورد استفاده قرار گیرد. این ویژگی‌ها می‌توانند مبنایی برای تحقیقات آینده فراهم کنند.

۵-۱- پیشنهادات آتی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌گران در آینده به بررسی عمیق‌تر روش‌های عملیاتی نرم در مدیریت منابع آب و کشاورزی بپردازند. توسعه مدل‌های پیشرفته‌تر که شامل شبیه‌سازی‌های پیچیده و تحلیل‌های چندمعیاره باشد، می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های کارآمدتر کمک کند. پژوهشگران باید بر ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی و سیاست‌های دولتی بر منابع آب و کشاورزی تمرکز کنند و سناریوهای مختلف را برای پیش‌بینی چالش‌های آینده بررسی نمایند. همچنین، توجه ویژه به تأثیرات اجتماعی و اقتصادی مدیریت منابع آب بر جوامع محلی ضروری است. تحلیل چگونگی تعامل بین سیاست‌های آب و رفتارهای کشاورزان می‌تواند به شناسایی راهکارهای مؤثرتر برای بهبود بهره‌وری و پایداری کمک کند. ایجاد شبکه‌های همکاری بین دانشگاه‌ها، نهادهای دولتی و بخش خصوصی می‌تواند به تبادل دانش و تجربیات در این حوزه یاری رساند. نتایج پژوهش‌های آینده باید به‌صورت منظم منتشر شود تا تبادل دانش میان پژوهشگران و تصمیم‌گیران تسهیل گردد و به توسعه پایدار بخش آب و کشاورزی کمک کند. موارد پیشنهادی شامل توجه به نوآوری در مدیریت منابع آب، طراحی برنامه‌های آموزشی برای افزایش آگاهی ذینفعان محلی و تقویت همکاری بین سازمان‌های مختلف مانند جهاد کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست، اقتصاد و علوم اجتماعی است.

۶- منابع

[١]. Ghanian, M., & Mohaamdzadeh, L. (٢٠١٩). Analyzing the farmers' professional competencies needed against climate change; the case study of Southern Basin of Urmia Lake. Geography and Environmental Planning, ٣٠(٣), ١١٥-١٣٦. DOI: https://doi.org/١٠,٢٢١٠٨/gep.٢٠٢٠,١١٨٩٢٣,١١٩٨

[٢]. Tao, W., Zhao, L., Wang, G., & Liang, R. (٢٠٢١). Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges. Computers and Electronics in Agriculture, ١٨٩, ١٠٦٣٥٢. DOI: https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.compag.٢٠٢١,١٠٦٣٥٢

[٣]. Abdar, Z. K., Amirtaimoori, S., Mehrjerdi, M. R. Z., & Boshrabadi, H. M. (٢٠٢٢). A composite index for assessment of agricultural sustainability: The case of Iran. Environmental Science and Pollution Research, ٢٩(٣١), ٤٧٣٣٧-٤٧٣٤٩. DOI: https://doi.org/١٠,١٠٠٧/s١١٣٥٦-٠٢٢-١٩١٥٤-٦

[٤]. Andreotti, F., Speelman, E. N., Van den Meersche, K., & Allinne, C. (٢٠٢٠). Combining participatory games and backcasting to support collective scenario evaluation: an action research approach for sustainable agroforestry landscape management. Sustainability Science, ١٥(٥), ١٣٨٣-١٣٩٩. DOI: https://doi.org/١٠,١٠٠٧/s١١٦٢٥-٠٢٠-٠٠٨٢٩-٣

[٥]. Karimov, A. K., Smakhtin, V., Mavlonov, A., Borisov, V., Gracheva, I., Miryusupov, F., ... & Karimov, A. A. (٢٠١٥). Managed aquifer recharge: potential component of water management in the Syrdarya River Basin. Journal of Hydrologic Engineering, ٢٠(٣), B٥٠١٤٠٠٤. DOI: https://doi.org/١٠,١٠٦١/(ASCE)HE.١٩٤٣-٥٥٨٤,٠٠٠١٠٤٦

[٦]. Sharma, S., Verma, K., & Hardaha, P. (٢٠٢٣). Implementation of artificial intelligence in agriculture. Journal of Computational and Cognitive Engineering, ٢(٢), ١٥٥-١٦٢. DOI: https://doi.org/١٠,٤٧٨٥٢/bonviewJCCE٢٢٠٢١٧٤

[٧]. Mendoza, H. D., & Cruz, S. O. (٢٠٢٣). From Power to Foresight: Reimagining Pathways of Land Use and Water Governance Futures. Journal of Futures Studies, ٢٧(٣), ١٣٧-١٤٦.. DOI: https://doi.org/١٠,٦٥٣١/JFS.٢٠٢٣٠٣_٢٧(٣).٠٠١٠

[٨]. Yeke Zare, Mohsen, Rezaei Pendari, & Abbas. (٢٠٢١). Designing a structural-interpretive model of successful technology transfer factors towards achieving sustainable development. Management Research in Iran, ٢٠(١), ٦١-٨٠. Short link: https://mri.modares.ac.ir/article_٣٨٥.html. [In Persian]

[٩]. Behroozeh, S., Hayati, D., & Karami, E. (٢٠٢٢). Determining and validating criteria to measure energy consumption sustainability in agricultural greenhouses. Technological Forecasting and Social Change, ١٨٥, ١٢٢٠٧٧. DOI: https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.techfore.٢٠٢٢,١٢٢٠٧٧

[١٠]. Sridhar, A., Balakrishnan, A., Jacob, M. M., Sillanpää, M., & Dayanandan, N. (٢٠٢٣). Global impact of COVID-١٩ on agriculture: role of sustainable

agriculture and digital farming. Environmental Science and Pollution Research, ۳۰(۱۵), ٤۲۵۰۹-٤۲۵۲۵. DOI: https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/s۱۱۳۵٦-۰۲۲-۱۹۳۵۸-w

[۱۱]. Ahmadaali, J., Barani, G. A., Qaderi, K., & Hessari, B. (۲۰۱۸). Analysis of the effects of water management strategies and climate change on the environmental and agricultural sustainability of Urmia Lake Basin, Iran. Water, ۱۰(۲), ۱٦۰. DOI: https://doi.org/۱۰.۳۳۹۰/w۱۰۰۲۰۱٦۰

[۱۲]. Ahmadikord, Hojat, Yaghoubi, & Mohammadi. (۲۰۱٦). Presenting a fuzzy optimization model for sustainable design of urban wastewater collection and transportation network for agricultural use under uncertainty (Case study: Tehran province). Modern Research in Decision Making, ٤(۱), ۱-۲٤. Short link: http://noo.rs/Soz۳k. [In Persian].

[۱۳]. Devkota, K. P., Devkota, M., Rezaei, M., & Oosterbaan, R. (۲۰۲۲). Managing salinity for sustainable agricultural production in salt-affected soils of irrigated drylands. Agricultural Systems, ۱۹۸, ۱۰۳۳۹۰. DOI: https://doi.org/۱۰.۱۰۱٦/j.agsy.۲۰۲۲.۱۰۳۳۹۰

[۱٤]. Lu, C., Ji, W., Hou, M., Ma, T., & Mao, J. (۲۰۲۲). Evaluation of efficiency and resilience of agricultural water resources system in the Yellow River Basin, China. Agricultural Water Management, ۲٦٦, ۱۰۷٦۰۵. DOI: https://doi.org/۱۰.۱۰۱٦/j.agwat.۲۰۲۲.۱۰۷٦۰۵

[۱۵]. Obaideen, K., Yousef, B. A., AlMallahi, M. N., Tan, Y. C., Mahmoud, M., Jaber, H., & Ramadan, M. (۲۰۲۲). An overview of smart irrigation systems using IoT. Energy Nexus, ۷, ۱۰۰۱۲٤. DOI: https://doi.org/۱۰.۱۰۱٦/j.nexus.۲۰۲۲.۱۰۰۱۲٤

[۱٦]. Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., & Kaliaperumal, R. (۲۰۲۲). Smart farming: Internet of Things (IoT)-based sustainable agriculture. Agriculture, ۱۲(۱۰), ۱۷٤۵. DOI: https://doi.org/۱۰.۳۳۹۰/agriculture۱۲۱۰۱۷٤۵

[۱۷]. Dahal, B., Avellán, T., Haghighi, A. T., & Kløve, B. (۲۰۲۳). Defining sustainability in agricultural water management using a Delphi survey technique. Water Policy, ۲۵(٦), ۵۹۷-٦۲۱. DOI: http://orcid.org/۰۰۰۰-۰۰۰۲-۱۰۲۲-۲۷٤۵

[۱۸]. Zhang, C. Y., & Oki, T. (۲۰۲۳). Water pricing reform for sustainable water resources management in China's agricultural sector. Agricultural Water Management, ۲۷۵, ۱۰۸۰٤۵. DOI: https://doi.org/۱۰.۱۰۱٦/j.agwat.۲۰۲۲.۱۰۸۰٤۵

[۱۹]. MacPherson, J., Voglhuber-Slavinsky, A., Olbrisch, M., Schöbel, P., Dönitz, E., Mouratiadou, I., & Helming, K. (۲۰۲۲). Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review. Agronomy for Sustainable Development, ٤۲(٤), ۷۰. DOI: https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/s۱۳۵۹۳-۰۲۲-۰۰۷۹۲-٦

[۲۰]. Mazrouei Nasrabadi, & Sadeghi Arani. (۲۰۲۳). Strategic analysis of factors influencing the adoption of Industry ٤.۰ in healthcare: A scenario analysis approach. Modern Research in Decision Making, ۸(۳), ۷۹-۱۰۲. :Short link https://journal.saim.ir/article_۷۱۱۲٤٤.html. [In Persian].

[۲۱]. Song, S., Zhang, L., & Ma, Y. (۲۰۲۳). Evaluating the impacts of technological progress on agricultural energy consumption and carbon emissions based on multi-scenario analysis. Environmental Science and Pollution Research, ۳۰(٦), ١٦٦٧۳-١٦٦٨٦. DOI: https://doi.org/١٠,١٠٠٧/s١١٣٥٦-٠٢٢-٢٣٣٧٦-z
[۲۲]. Jiren, T. S., Abson, D. J., Schultner, J., Riechers, M., & Fischer, J. (۲۰۲۳). Bridging scenario planning and backcasting: AQ-analysis of divergent stakeholder priorities for future landscapes. People and Nature, ٥(۲), ٥٧٢-٥٩٠. DOI: https://doi.org/١٠,١٠٠٢/pan٣,١٠٤٤١
[۲۳]. Jafarpour, Sepehr, Khodadad Hosseini, & Kardanaij. (۲۰۲۳). Analyzing the strategic robustness of businesses active in the smart agriculture sector of Iran. Management Research in Iran, ۲۷(۱), ۹۲-۱۱٦. Short link: https://mri.modares.ac.ir/article_٦١٨.html. [In Persian].
[۲٤]. De Ruijter, P. (۲۰۱٦). Scenario based strategy: navigate the future. Routledge. DOI: https://doi.org/١٠,٤٣٢٤/٩٧٨١٣١٥٦٠٧٦٨٩
[۲٥]. Goswami, R., Roy, K., Dutta, S., Ray, K., Sarkar, S., Brahmachari, K., ... & Majumdar, K. (۲۰۲۱). Multi-faceted impact and outcome of COVID-۱۹ on smallholder agricultural systems: Integrating qualitative research and fuzzy cognitive mapping to explore resilient strategies. Agricultural Systems, ۱۸۹, ۱۰۳۰٥۱. DOI: https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.agsy.٢٠٢١,١٠٣٠٥١
[۲٦]. Walker, L., Hischier, I., & Schlueter, A. (۲۰۲۲). Scenario-based robustness assessment of building system life cycle performance. Applied Energy, ۳۱۱, ۱۱۸٦۰٦. DOI: https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.apenergy.٢٠٢٢,١١٨٦٠٦
[۲۷]. Kumar, A., & Pant, S. (۲۰۲۳). Analytical hierarchy process for sustainable agriculture: An overview. *MethodsX*, *10*, ۱۰۱۹٥٤. DOI: https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.mex.٢٠٢٢,١٠١٩٥٤
[۲۸]. Gao, P., Xie, Y., Song, C., Cheng, C., & Ye, S. (۲۰۲۳). Exploring detailed urban-rural development under intersecting population growth and food production scenarios: Trajectories for China's most populous agricultural province to ۲۰۳۰. Journal of Geographical Sciences, ۳۳(۲), ۲۲۲-۲٤٤. DOI: https://doi.org/١٠,١٠٠٧/s١١٤٤٢-٠٢٣-٢٠٨٠-٣
[۲۹]. Javaid, M., Haleem, A., Khan, I. H., & Suman, R. (۲۰۲۳). Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. Advanced Agrochem, ۲(۱), ۱٥-۳۰. DOI: https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.aac.٢٠٢٢,١٠,٠٠١
[۳۰]. Gadedjisso-Tossou, A., Adjegan, K. I., & Kablan, A. K. M. (۲۰۲۱). Rainfall and temperature trend analysis by Mann–Kendall test and significance for Rainfed Cereal Yields in Northern Togo. *Sci*, *3*(۱), ۱۷. DOI: https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/sci٣٠١٠٠١٧