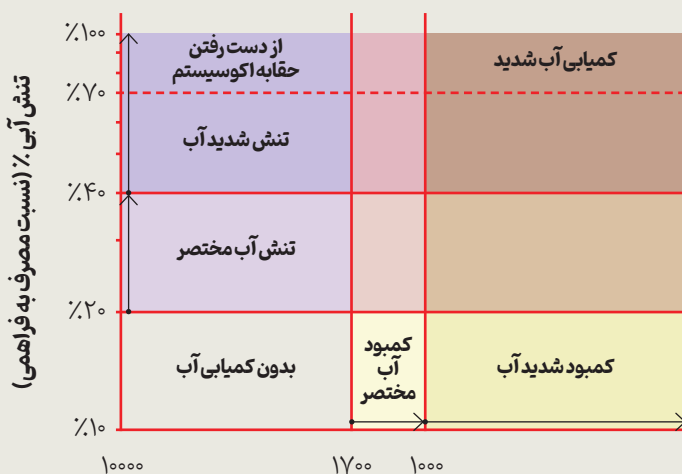


# آب و توسعه پایدار

سال دهم . شماره چهارم (پیاپی ۳۰) . اسفندماه ۱۴۰۲

## کم آبی و پایایی (کمبود ، تنش ، کمیابی)

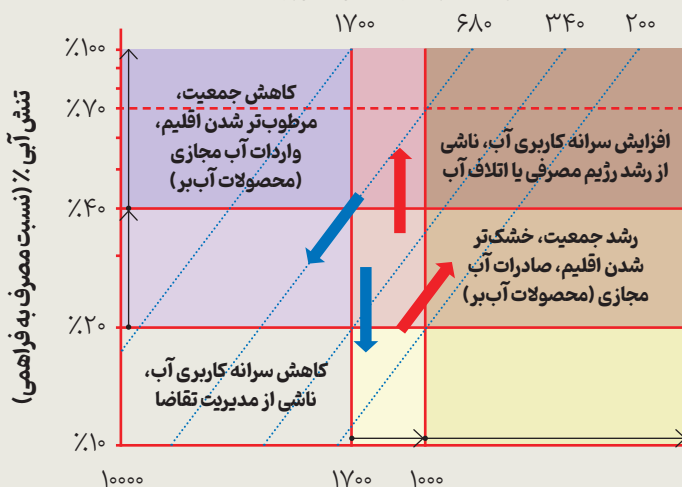
ماتریس کمیابی آب فالکن مارک



سرانه فراهمی آب (m³/cap/yr)

الف: انواع کمیابی آب

سرانه مصرف آب (خطوط مورب) (m³/cap/yr)



سرانه فراهمی آب (m³/cap/yr)

ب: موارد «تشدید» و «کاهش» کمیابی آب (پیش‌رانه‌ها و راهبردها)

توضیح: مقصود از فراهمی آب، همان آب قابل برنامه ریزی است؛ که معادل «آب تجدید پذیر تحت مدیریت ± آب‌های انتقالی» می‌باشد.

## فهرست مقالات

- راهکارهای اجرایی و تحلیل اقتصادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمانی  
سجاد سعدی، مهرداد پورحسین قادی
- مدیریت جامع منابع آب برای آینده‌ای پایدار با استفاده از مدل SWOT (مطالعه موردی: شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی)  
راضیه شیرین حصار، امیر گواهی
- توسعه سامانه فازی پشتیبانی از تصمیم برای بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری در شرایط کم‌آبی هدی هدایتی، عاطفه پرورش ریزی، آرزو نازی قمشلو
- بررسی میزان آب برداشتی از منابع سطحی و مصرف مفید آب در بخش کشاورزی استان خوزستان  
محمد خرمیان، پیمان ورجاوند
- اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (رقم تیتیکاکا)  
حسین بیرامی، رستم یزدانی بیوکی، معصومه صالحی
- ارائه مدل ارزیابی و مدیریت ریسک زیرساخت‌های حوزه آب و فاضلاب با رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: استان مرزی)  
سیداحسان ابطی، علی اصغر امیرکاردوست، داوود صداقت شایگان
- تحلیل تغییرات مکانی- زمانی جریان پایه رودخانه‌های ایران طی ۳۰ سال اخیر  
اسماعیل پاریزی، عماد حسینی‌زاده، سید موسی حسینی
- مدیریت کیفی منابع آب در اقلیم گرم و خشک با استفاده از شاخص کیفیت آب WQI  
ایمان همایون نژاد، پریا امیریان
- بررسی پیش‌بینی میزان تزیق ماده منعقدکننده در فرآیند تصفیه آب شرب با استفاده از تحلیل رگرسیون فازی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه شماره سه آب مشهد)  
زینب وکیلی، ابراهیم علامتیان، محمد زنگوئی
- بررسی عملکرد تکنولوژی غشایی همراه با سیستم UV جهت تصفیه فاضلاب خاکستری و آب باران  
احسان ساداتی سیدمحل، ناصر مهرداد، غلامرضا نبی بیده‌ندی، محمدجواد امیری



# آب و توسعه پایدار

سال دهم- شماره چهارم (پیاپی ۳۰)- اسفند ۱۴۰۲

این نشریه طبق نامه شماره ۳/۱۸/۱۲۶۶۳۱ مورخ ۱۳۹۴/۰۶/۲۹ از کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، اعتبار علمی دریافت نموده است. همچنین در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۰۵ موفق به دریافت پروانه انتشار نشریه از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی به شماره ثبت ۷۶۷۶۶ شده است. این نشریه حاصل فعالیت علمی مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن هیدرولیک ایران است.

## دانشگاه فردوسی مشهد

ناصر شاهنوشی فروشانی / استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
کامران داوری / استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سردبیر

اعضای هیئت تحریریه

کاظم اسماعیلی / دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد  
حسین انصاری / استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد  
علی باقری / دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس  
محمد جلیلی / دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی  
حسین علی دادی / استاد گروه مهندسی بهداشت محیط و حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی مشهد  
سعید مرید / استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس  
حمیدرضا ناصری / استاد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی

شورای سیاست‌گذاری

احمد سیاحی (ریاست شورا) / مدیر کل دفتر تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور  
حسین اسماعیلیان / مدیر عامل و رئیس هیأت مدیره شرکت آب و فاضلاب مشهد  
علیرضا طاهری / مدیر عامل شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی  
سیدیحیی موسوی / دبیر اندیشگاه آب شرکت مدیریت منابع آب ایران  
ناصر شاهنوشی فروشانی / مدیر مسئول نشریه  
کامران داوری / سردبیر نشریه

مشاوران هیئت تحریریه

انوش نوری اسفندیاری / اندیشکده تدبیر آب ایران  
سید حسین سجادی فر / شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور  
مهدی کلاهی / دانشگاه فردوسی مشهد  
غلامرضا کلائی / شرکت آب و فاضلاب مشهد  
فریبا قنبری / شرکت آب و فاضلاب مشهد  
سیدحمید میرقاسمی / شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی  
رضا براتی / شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

کارشناس اجرایی

ویراستاری

صفحه آرایی / طراحی

ترتیب انتشار / ناشر

شماره شاپاچاپی / الکترونیکی

تارنما / رایانامه

آدرس

حامی مالی

پایگاه‌های نمایه شده

مهری شاهدی، فاطمه طالبی حسین آباد  
مرجان قوچانیان، مهری شاهدی، فاطمه طالبی حسین آباد (فنی و ادبی) / مائده اسکوهی (لاتین)  
فاطمه طالبی حسین آباد / محمدرضا شیخی  
فصلنامه / انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

۲۷۱۷-۳۳۲۱ / ۲۴۲۳-۵۴۷۴

<https://jwsd.um.ac.ir> / Email: [jwsd@um.ac.ir](mailto:jwsd@um.ac.ir)

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب، دفتر نشریه، کد پستی ۹۱۷۷۵۱۱۶۳

شرکت آب و فاضلاب مشهد

پایگاه استنادی علوم ایران (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، بانک اطلاعات

نشریات کشور (Magiran)، google scholar، DOAJ، CABI، Agris



- ۱ سرمقاله: کم‌آبی و پایایی / کامران داوری (سردبیر نشریه)
- ت یادداشت کوتاه: کم‌آبی و توسعه پایدار / انوش نوری اسفندیاری (مشاور هیئت تحریریه)
- ۱ راهکارهای اجرایی و تحلیل اقتصادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمانی  
سجاد سعدی، مهرداد پورحسین قادی
- ۱۵ مدیریت جامع منابع آب برای آینده‌ای پایدار با استفاده از مدل SWOT (مطالعه موردی: شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی)  
راضیه شیرین حصار، امیر گواهی
- ۲۹ توسعه سامانه فازی پشتیبانی از تصمیم برای بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری در شرایط کم‌آبی  
هدی هدایتی، عاطفه پرورش‌ریزی، آرزو نازی قمشلو
- ۴۱ بررسی میزان آب برداشتی از منابع سطحی و مصرف مفید آب در بخش کشاورزی استان خوزستان  
محمد خرمیان، پیمان ورجاوند
- ۴۹ اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (رقم تیتیکاکا)  
حسین بیرامی، رستم یزدانی بیوکی، معصومه صالحی
- ۵۹ ارائه مدل ارزیابی و مدیریت ریسک زیرساخت‌های حوزه آب و فاضلاب با رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: استان مرزی)  
سیداحسان ابطحی، علی اصغر امیرکاردوست، داوود صداقت شایگان
- ۷۱ تحلیل تغییرات مکانی- زمانی جریان پایه رودخانه‌های ایران طی ۳۰ سال اخیر  
اسماعیل پاریزی، عماد حسینی‌زاده، سید موسی حسینی
- ۸۱ مدیریت کیفی منابع آب در اقلیم گرم و خشک با استفاده از شاخص کیفیت آب WQI  
ایمان همایون‌نژاد، پریا امیریان
- بررسی پیش‌بینی میزان تزریق ماده منعقدکننده در فرآیند تصفیه آب شرب با استفاده از تحلیل رگرسیون فازی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه  
شماره سه آب مشهد)  
۸۹ زینب وکیلی، ابراهیم علامتیان، محمد زنگوئی
- ۹۷ بررسی عملکرد تکنولوژی غشایی همراه با سیستم UV جهت تصفیه فاضلاب خاکستری و آب باران  
احسان ساداتی سیدمحله، ناصر مهرداد، غلامرضا نبی بیدهندی، محمدجواد امیری
- ۱۰۶ یادداشت تحلیلی: تحلیل تحول سیستم مدیریت آب بر مبنای نظریه دایننگ-کروگر  
هاشم درخشان



## کم آبی و پایایی

آب ماهیتی چندگانه دارد: ۱- بن‌مایه حیات و اکوسیستم است؛ ۲- برای شرب و بهداشت بشر (در حد ضرورت)، یک کالای عمومی محسوب می‌شود؛ ۳- یک کالای اقتصادی است؛ و در عین حال؛ ۴- آب منشاء مخاطراتی چون سیل و خشکسالی است. این ماهیت چندگانه، مدیریت آب را سخت کرده است. علاوه بر این، مدیریت آب به دلیل وجود ویژگی‌های زیر، نیازمند هوشمندی بسیار است.

- سیستم‌های منابع-مصارف آب، پیچیده تلقی می‌شوند؛ زیرا دارای گستردگی مکانی-زمانی و بازخورهای تأخیری هستند.
- عدم قطعیت تجدیدپذیری منابع آب (ناشی از نوسانات آب و هوایی)، چالشی جدی در برآورد آب قابل تخصیص است.
- منابع آب در پهنای کشور گسترده است؛ لذا، کنترل برداشت‌ها از آن و برگشت‌ها به آن، به آسانی ممکن نیست.
- منابع آب سطحی و زیرزمینی، منابعی مشترک هستند که بصورت جمعی بهره‌برداری شده و می‌شوند؛ با بهره‌برداران متنوع و متعدد. تعارض منافع میان ایشان و نقش آب در ساختار قدرت، موجب شده تا مدیریت آب درهم‌تنیدگی گسترده‌ای با مباحث اجتماعی و اقتصادی داشته باشد.

با این پیچیدگی و عدم قطعیت‌های بسیار، معیارهای اخذ تصمیم صحیح برای مدیران آب کدامند؟ پیش از پاسخ به این پرسش، باید معلوم شود که منظور از «تصمیم صحیح» چیست؟ برخی معتقدند که تصمیم صحیح «حفظ پایایی سرمایه‌ها» و در کنار آن «بهبود بهره‌وری» است. سرمایه اصلی برای مدیریت آب، «کمیت و کیفیت منابع آب» است (در کنار سایر سرمایه‌های طبیعی، اجتماعی و مالی). اما چالش عمده، تعریف و اندازه‌گیری پایایی است. پایایی مفهومی نسبی است که قابل تجزیه به سه مولفه «اکوسیستمی، اقتصادی، اجتماعی» است. علی‌رغم عدم قطعیت‌های بسیار و تغییرات زمانی و مکانی فراوان، مفهوم پایایی در پی ثبات و دوام توسعه در آینده است. بقاء توسعه و رفاه بشر در مقیاس‌های محلی/منطقه‌ای به سیستم‌های منابع آب وابسته است (اگرچه در مقیاس زمین، ذخایر آب جایگزین وجود دارد). بنابراین یک وظیفه مدیران آب، شناسایی اثرات/عواقب محتمل ناشی از هر تصمیم بر پایایی توسعه موجود، در آینده است. Simonovic (۲۰۰۸)، چهار معیار اصلی تصمیم‌گیری برای پایایی را «اجماع، انصاف، برگشت‌پذیری و کاهش ریسک»، قلمداد نموده است.

این نوع تصمیم‌گیری، بیش از آنکه فنی/عملیاتی باشد، از جنس سیاستگذاری و حکمرانی است. نقش مدیریت آب در این میان، جاری

نمودن این سیاست‌ها از طریق برنامه‌ها و سپس اقدامات است؛ البته، ضمن رعایت یکپارچگی آنها. مدیریت یکپارچه آب، برگردان پارادایم پایایی در حوزه مدیریت آب است، و تعریف آن به این شرح است: «فرآیندی که توسعه و مدیریت هماهنگ آب، زمین و منابع مرتبط را به منظور به حداکثر رساندن رفاه اقتصادی و اجتماعی به شیوه‌ای عادلانه و بدون به خطر انداختن پایداری اکوسیستم‌های حیاتی ارتقا می‌دهد». این تعریف مدیریت آب را یک گام به پیش راند، اگرچه عطف به شرایط محلی، همچنان ابعاد و جزئیات دیگری برای عملیاتی شدن مدیریت مطلوب آب مورد نیاز است. در هر حال، مطرح شدن مدیریت پایایی آب در سال ۱۹۹۲ (در دویلین، ایرلند؛ و سپس در ریودوژانیرو، برزیل)، منجر به اصلاح قوانین مدیریت آب در بسیاری از کشورها شده است. اما در ایران فقط در دو سال اخیر است که این عبارت در قوانین و مقررات جای یافته است؛ از جمله: در بند هفتم از «سیاست‌های کلی برنامه هفتم» (ابلاغ شده در ۲۰ شهریور ۱۴۰۱)، در مصوبه جلسه ۴۴ شورای عالی آب کشور (با عنوان: سند سازوکار هماهنگی مدیریت حوضه‌ای آب کشور، آبان ۱۴۰۱)، سند ملی آمایش سرزمین (بند ۱۰۷ ماده ۴ و ذیل ماده ۵، ۲۶ آذر ۱۴۰۱)، و در لایحه برنامه هفتم توسعه (عنوان فصل هشتم: نظام مدیریت یکپارچه منابع آب، ۱۴۰۲). در عمل اما، هنوز هیچ تغییری در مدیریت آب کشور رخ نداده است.

این عقب‌ماندگی سی ساله در عدم توجه به مفهوم پایایی، هزینه‌های گزافی را بر منابع آب کشور تحمیل نموده است. توجه به مفهوم پایایی در ایران به دلیل کم‌آبی کشور، ضرورت بیشتری می‌یابد؛ اما منظور از کم‌آبی چیست؟ و تناسب آن با خشکی و خشکسالی کدام است؟ خشکی یک سرزمین، نشانگر «کم‌آبی نسبی» آن در مقایسه با سایر سرزمین‌ها است (که باید به صورت ویژگی آن سرزمین پذیرفته شود)؛ و خشکسالی در یک سرزمین، نشانگر «کم‌آبی نسبی» آن طی یک دوره محدود در مقایسه با وضعیت آبی خود آن سرزمین در گذشته است. هر دو مفهوم گزارشی از واقعیت ایران هستند؛ که ایرانیان در گذشته به خوبی درک کرده و با آن سازگاری نموده بودند. آنان ضمن درک خشکی سرزمین ایران، با استفاده محدود از منابع آب، از خشکسالی‌ها پرهیز می‌نمودند (و با مشاهده چند ترسالی محدود، اغوا نمی‌شدند)؛ در واقع باید گفت که ریسک کم‌آبی را شناخته بودند و پروا می‌داشتند.

طی قرن بیستم میلادی، مصرف آب دنیا حدود چهار برابر افزایش یافته است؛ این وضعیت را می‌توان با ظهور تکنولوژی پمپاژ، رشد جمعیت، و افزایش رفاه بشر طی دوره مزبور مرتبط دانست. در نتیجه امروزه کمیابی آب یک نگرانی به سرعت در حال رشد در سراسر دنیا است؛ و متناظر با آن جمعیت تحت کمیابی آب از ۰/۲۴ میلیارد نفر (۱۴٪ جمعیت دنیا) در دهه اول ۱۹۰۰ به ۳/۸ میلیارد نفر (۵۸٪ جمعیت دنیا) در دهه اول ۲۰۰۰ افزایش یافته است (Kummu و همکاران، ۲۰۱۶). بسیاری از کشورها، رشد کمیابی آب

را با سیاستگذاری اثربخش، چاره نموده‌اند. اما برخی دیگر همچنان با کمیابی رشد یابنده آب مواجه هستند. غفلت ۳۰ ساله مورد اشاره در بالا، یک روی سکه‌ی «کمیابی آب در ایران» است. روی دیگر این سکه، «تمرکز بر تأمین آب بدون توجه به مدیریت تقاضا» است. به عبارت دیگر، در سرزمین کم‌آب ایران، به جای مدیریت منبع-محور و توجه به محدودیت منابع آب (ظرفیت بُرد)، با مدیریت تأمین-محور رفتار شده است و می‌شود. خاتمه دادن به این رویه مذموم، نیازمند جلب مشارکت جامعه محلی در سیاستگذاری و مدیریت آب است. لازم به یادآوری است که کمیابی آب به معنای عدم تناسب مصارف و منابع آب است، و اساساً با استفاده از دو مفهوم بنیادین بررسی می‌شود: ۱- کمبود: بر اساس «سرانه فراهمی آب» و ارزیابی عواقب ناشی از «ناآرامی در برآورده ساختن نیازهای جمعیت» می‌باشد؛ و ۲- تنش: بر اساس «مصرف نسبت به فراهمی آب» و ارزیابی عواقب ناشی از «استفاده بیش از حد از منابع آب» می‌باشد. در هر حال رشد کمیابی آب با کاهش امنیت آبی توأم است. بنا به تعریف سازمان ملل، امنیت آبی یعنی: توانمندی یک جامعه در حفظ دسترسی پایا (و با ثبات) به مقادیر کافی آب (با کیفیت مناسب) برای «حفظ معیشت، رفاه، و توسعه اجتماعی-اقتصادی»، برای تضمین حفاظت از جامعه در برابر «آلودگی‌های ناشی از آب و بلایای مربوط به آب (سیل و خشکسالی)»، و نیز برای حفظ «اکوسیستم‌ها» در فضای صلح و ثبات سیاسی (UN-Water، ۲۰۱۳).

هدف از طرح مسأله امنیت آبی، پیشینه نمودن مزایای آب برای انسان و اکوسیستم، ثبات این مزایا، و محدود کردن ریسک‌ها و عواقب ناشی از آب، به یک تراز قابل قبول است. هر جامعه دارای امنیت آبی، می‌تواند با اتکاء به این امنیت، استانداردهای زندگی مردم را بهبود بخشد. بدیهی است ثبات امنیت آبی، نیازمند درک کافی از پویایی سیستم، رصد این پویایی (درون و بیرون سیستم)، و چابکی سازگاران در مقابل آن می‌باشد. در مقابل، ناامنی آبی به عنوان نبود منبع آب مناسب و قابل اطمینان، برای رفع نیازهای جمعیت محلی و اکوسیستم تعریف می‌شود. ناامنی آبی، عمدتاً ناشی از کمیابی آب است (که در خشکسالی‌ها تشدید می‌شود)؛ و البته در مواردی ناشی از عدم مدیریت صحیح سیل است. کمیابی آب نتیجه رفتار انسان است، در مقیاس حوضه‌ای بررسی می‌شود، و می‌تواند فیزیکی یا اقتصادی باشد. در هر حال، ناامنی آبی به نوبه خود عواقب متعدد دیگری در پی دارد، مانند: منازعات سیاسی و تنش‌های اجتماعی، مخاطرات بهداشتی و سلامت عمومی و نیز کاهش امنیت غذا. به همین دلیل امنیت آبی، یک مسأله امنیت ملی تلقی می‌شود.

یک رویکرد عملی برای درک و نظارت بر پایایی (و امنیت آبی) در یک حوضه رودخانه به عنوان یک سیستم پیچیده اجتماعی-هیدرولوژیکی، استفاده از یک چارچوب ارزیابی مورد اجماع گروداران محلی، و مبتنی بر شاخص‌ها است. چنین چارچوبی برای حوضه پیچیده و بیش از حد بهره‌کشی شده مشهد، قبلاً پیشنهاد شده است (Shafiei و همکاران،

۲۰۲۲). این روش مبتنی بر رویکرد مشارکتی بوده و فرآیند آن شامل تشکیل جلسات مشترک با حضور متخصصان و گروداران حوضه، اجماع بر مقاصد و اهداف مشترک، شناسایی و غربالگری شاخص‌ها، و تدوین چارچوب نهایی ارزیابی می‌باشد. این چارچوب برای مشهد منتهی به ۲۵ شاخص ذیل چهار مؤلفه اصلی (فنی، زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی) شده است. در نهایت، با تحلیل سلسله مراتبی، شاخص‌ها وزن‌دهی شده و از ترکیب آنها یک «شاخص پایایی آبی» به دست آمده است. نتایج حاکی از آن است که شاخص پایایی آبی محدوده مطالعاتی مشهد با مقدار ۰/۳۴ از ۱، در شرایط بحرانی و ناپایا قرار دارد. ارزیابی مستمر (سالانه) پایایی آبی حوضه با چنین روشی، می‌تواند پایانی بر غفلت از این امر مهم سرزمینی باشد.

در انتها باید متذکر شوم که برای تأمین داده مورد نیاز این ارزیابی‌ها، برپایی یک حسابداری آب در حوضه ضروری است. حسابداری آب (هر چند ساده و تقریبی)، ابزاری کاربردی و ضروری برای مدیریت آب است؛ و حتی به کمک آن می‌توان گزینه‌های تصمیم‌گیری را قبل از نهایی شدن، ارزیابی نمود. برای مثال، حسابداری آب به آسانی نشان می‌دهد که در محدوده‌های با بیلان منفی، «واگذاری پساب» و یا «هرگونه افزایش بهره‌وری (بدون کاهش برداشت)» منجر به تشدید بیلان منفی می‌گردند. حتی در مقیاس‌های بزرگتر، اثر اقتصاد بر رژیم غذایی و لذا بر کاربرد آب برای تولید غذا را در بیلان آب نمایش می‌دهد. همچنین، با حسابداری آب، اثر تجارت آب مجازی با کاهش فعالیت‌های آب‌بر در حوضه و به جای آن واردات محصولات آب‌بر، به خوبی قابل ارزیابی است.

## منابع

- Kummu, M., Guillaume, J., Moel, H., Eisner, S., Flörke, M., Porkka, M., Siebert, S., Veldkamp, T.I.E., & Ward, P. (2016). The world's road to water scarcity: Shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability. *Scientific Reports*, 6(1), 38495. doi: [10.1038/srep38495](https://doi.org/10.1038/srep38495)
- Shafiei, M., Rahmani, M., Gharari, Sh., Davary, K., Abolhassani, L., Sabet Teimouri, M. & Ghareisifard, M. (2022). Sustainability assessment of water management at river basin level: Concept, methodology and application. *Journal of Environmental Management*, 316, 115201. doi: [10.1016/j.jenvman.2022.115201](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115201)
- Simonovic, S. P. (2008). *Managing Water Resources, Methods and Tools for a Systems Approach*. 1st Edition, P 236; London, Routledge.
- UN-Water. (2013). *Water Security and the Global Water Agenda*, A UN-Water Analytical Brief. P 7; United Nations.

## پی‌نوشت‌ها

- |                  |                     |       |
|------------------|---------------------|-------|
| 1-water scarcity | 2-carrying capacity |       |
| 3-shortage       | 4-stress            | 5-AHP |



## کم آبی و توسعه پایدار



توسعه پایدار (Sustainable development) مفهومی است که به واسطه‌ی پیامدهای منفی محیط‌زیستی و اجتماعی ناشی از رویکردهای توسعه‌ی یک جانبه‌ی اقتصادی پس از انقلاب صنعتی و تغییر نگرش بشر به مفهوم رشد و پیشرفت پدید آمده است. این مفهوم تلاش دارد که با نگاهی نو به توسعه، اشتباهات گذشته بشری را تکرار نکند و توسعه‌ای همه جانبه و متوازن را رقم بزند (فرهنگ آبادیس). تلاش‌ها در زیر چتر «توسعه پایدار» در نیم قرن اخیر درصدد آن بودند که مشخص کنند چگونه می‌توان منابع آب و سایر منابع طبیعی را به نحوی مورد بهره‌برداری و توسعه قرار داد تا نیازهای فعلی و آتی جوامع انسانی تأمین شود. در فرازی از گزارش کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه (کمیسیون برتلند، سال ۱۹۸۷) این جهت‌گیری اینگونه بیان شده است: «انسان توانایی برقراری توسعه پایدار را به نحوی که چنین توسعه‌ای بتواند نیازهای نسل حاضر را بدون ایجاد اختلال در توانایی نسل‌های بعدی تأمین کند، دارد».

توسعه پایدار، به نوعی واکنش بازاندیشانه جهانی است به فهم نادرست از توسعه‌ای که توسط پیش‌تازان «عصر جدید» رقم زده شد. رشد بی‌نظیر و چشمگیر اقتصاد جهانی در قرن بیستم میلادی، با احساس ناامنی عمیقی همراه بود. تشخیص و تحلیل کاستی‌های اساسی از نظر کارآیی، انصاف و محیط‌زیست، به این بی‌قراری دامن زد و این احساس سرمنشأ تلاش‌های جدیدی برای عملی کردن آن «توانایی» بالقوه شد. برای بهبود شرایط و اطمینان بخشی، حدود نیم قرن است که رویارویی جامعه انسانی با «بحران منابع طبیعی و آب» و مشاهده «پیامدهای آن»، گردونه‌های یادگیری، پژوهشی و آموزشی متعددی را برای مقابله با چالش‌ها و ارتقای مدیریت منابع، به گردش انداخته است. این تلاش‌ها، نشان می‌دهد که هرچند آتش بحران‌ها، خرمن همه‌ی منابع طبیعی را دربر گرفته اما در خصوص بحران آب -بدلیل ارتباط متقابل انسان با ذخایر و گردونه‌ی عظیم منابع آب- تعادل‌ها به طور گسترده‌تری نسبت به سایر منابع پایه در طبیعت به هم خورده و زوال و دگرگونی‌های پدیده‌ای را در طبیعت و جوامع انسانی ایجاد کرده است. به همین جهت رابطه بین اقتصاد جهانی و اکوسیستم زمین به‌طور فزاینده‌ای در حالت تنش قرار گرفته است که مظاهر آن با گستردگی رو به افزایشی به صورت آلودگی دریاها و پیکره‌های آبی، فرونشست گسترده

زمین، بیابان‌زایی، خشکی و فرسایش خاک، نابودی تپه‌های مرجانی، ذوب یخچال‌های طبیعی و افزایش سطح آب دریاها جلوه می‌کند. این روندها هشدار می‌دهند که تا پیش از آن جامعه انسانی هیچ‌گاه به این گستردگی با مشکلات عظیم عدم تطبیق و ناسازگاری با منابع طبیعی کره زمین و محیط‌زیست خود، روبه‌رو نشده بود. از این‌رو، برای تشخیص و بررسی ابعاد مختلف این تغییرات و سازوکارهای آن و رسیدن به تعادل‌های جدید، پنجره‌ها و چشم‌اندازهای متعددی برای تغییر شیوه‌های مدیریت و بهره‌برداری از منابع طبیعی با عبارت‌های مختلف «پیوستگی و یکپارچگی»، «تطبیق‌پذیری و سازگاری»، «اصلاحات ساختاری»، «حکمرانی» و نظایر آن گشوده شده است. هرچند که سرانجام مشخص شد با هر نامی، هر کشوری برای هر گوشه‌ای از سرزمین خود، باید در جستجوی راه‌حل‌های درونی، منحصر و ویژه خود باشد.

کشورهای کم آبی چون ایران - با بارش سالانه کمتر از یک سوم متوسط جهانی- پیش از اتخاذ برنامه‌های توسعه‌ای و نوسازی معاصر خود، در سازگاری نسبی با چرخه طبیعی آب و آب تجدیدپذیر، به سر می‌بردند. اما ایران، بعد از یک رشد اقتصادی بی‌نظیر در دهه ۴۰ شمسی، مدیریت متمرکز دولتی آب آن در ساختار و سازوکارهای مخربی گرفتار و در هزارتوی ناترازی مستمر و کمبود مزمن آب، سرگردان و در ناحیه ناامن مدیریتی زمین‌گیر شد. اکنون توسعه بی‌رویه شهری، تغییر ناهنجار کاربری اراضی و فرسایش خاک، کاهش تاب‌آوری و افزایش آسیب‌پذیری نسبت به خسارت‌های سیل و خشکسالی، برای جنبه‌های مختلف این مدیریت، چالش‌های پی‌درپی جدیدی را ایجاد می‌کنند. عبور از خط قرمز برداشت از منابع آب تجدیدپذیر از سه دهه پیش، دست‌اندازی گسترده و شتابان به ذخایر ثابت آب زیرزمینی، خشک شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها، زنگ خطر بلند استفاده بی‌رویه از منابع آبی بود و فرونشست زمین و گسترش بیابان‌ها و کاهش رطوبت خاک و ایجاد منبع‌های تولید گردوغبار و ریزگرد با منشأ داخلی، نشانه سرسختی گفتمان «توسعه آب محور» به شمار می‌رود. هرچند که نتیجه چنین گفتمانی ادامه دست‌اندازی به سهم طبیعت، حقاچه داران متقدم /بازتخصیص آب و نسل‌های آینده در چرخه و ذخایر آب بوده و خواهد بود. درخواست‌های رو به افزایشی برای اجرای طرح‌های بسیار پرهزینه انتقال بین‌حوضه‌ای یا از راه‌های دور، با دستاوردهای ناچیز و ناپایدار و تمکین دستگاه سیاسی و اجرایی کشور به درخواست‌های برآمده از این دستگاه گفتمانی، شاهد و هشدار برای فقدان چاره‌اندیشی اساسی و گسترش دامنه «ناتوانی‌ها» در آینده است. فاصله گرفتن گفتمان مسلط از گفتمان‌های نزدیک به واقعیت‌های طبیعی و اجتماعی کشور، قابل تأمل و بازاندیشی است. اعلام رسمی محدودیت برداشت از منابع آب توسط وزیر نیرو در

دولت یازدهم -حمیدچیت چیان- شاید از مهم‌ترین واکنش‌های رسمی مدیریت بخش آب برای کم‌کردن این فاصله تلقی شود. بدین ترتیب مقادیر «آب قابل برنامه‌ریزی» با هدف مرحله‌ای کاهش ۱۱ میلیارد از منابع آب در سال به تفکیک محدوده‌های مطالعاتی در هر یک از حوضه‌های آبریز درجه ۲ به پیوست نامه‌ای که تعاریف و توضیحاتی در متن خود داشت در تاریخ ۱۹ مهر سال ۱۳۹۴ به مراکز مختلف ذی‌ربط اعلام شد. در دی ماه همان سال شرکت مدیریت منابع آب ایران با انتشار آماری از بارندگی‌ها اعلام کرد که کشور در وضعیت «بحران شدید آب» قرار گرفته است. این گزارش، هشدار داده است که «کاهش بارندگی نسبت به روند بلندمدت، مدیریت ناکارآمد منابع آب و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب» باعث شدت یافتن کاهش منابع آب زیرزمینی در ایران شده است. براین اساس دستگاه اصلی مدیریتی آب کشور با جلوداری پرچم کاهش بارندگی -نه خصوصیات ثابت اقلیمی- درصددنشادادن تابلوی اصلاح وضعیت تقاضا و مصرف آب برآمد. واکنش مهم دیگر مدیریت بخشی آب پیشنهاد عبارت «سازگاری با کم آبی» در مقابل عبارت «مقابله با خشکسالی» توسط وزیر نیرو دولت دوازدهم -رضاردکانیان- در مواجهه با درخواست نمایندگان مجلس بود، تا شاید از این طریق به تصور «موقت بودن» و «گذرا بودن» شرایط کم آبی، مهر پایان زده شود. از آن زمان تا حدودی نگاه جامعه نسبت به این موضوعات و مسائل شروع به تغییر کرد، یعنی عناصر گفتمانی اصلاحات مصارف آب اندکی از سطح مصرف در منازل و مزرعه فراتر رفت و به سطح مدیریت شرکت‌های کارگزار و سیاست‌های رسمی و برنامه میان‌مدت رسید. مباحث محدودیت توسعه کشت، تغییر نوع کشت، رعایت حقابه‌های محیط‌زیستی نیز وارد چارچوب گفتمان‌های رسمی شد. گرچه این آغاز در کشور ما از طرف مدیران آب در لفافه احتمال تغییر شرایط اقلیمی اعلام شده اما چنانکه قبلاً اشاره شد، تشخیص موضوع «بحران آب» و ضرورت تطبیق نظام اجتماعی با امکانات پایدار طبیعی (از جمله کم آبی) موضوعات جدیدی در سطح جهانی نبودند و دهه‌ها قدمت دارند.

در مقابل چنین گفتمان مسلط سیاسی، واقعیت‌ها گویای شرایط روبه زوال نامطلوبی است. هم‌اکنون بر اساس پویایی‌شناسی پیشران‌های توسعه، شمار ساکنین کشور نسبت به میانه دهه‌ی ۴۰، سه و نیم برابر و جمعیت شهری شش برابر شده است. عمده افزایش جمعیت در مکان‌های محدودی متمرکز و از این بابت فشار زیادی به منابع طبیعی وارد می‌شود. در چارچوب این مدیریت توسعه، تغییرات خصوصیات جمعیتی و تحولات فناوری همراه با افزایش درآمد و تغییر در سبک زندگی، تقاضا برای آب و کالاهای خدمات متکی به منابع طبیعی را به گونه‌ای افزایش داده که بیش از ۸۰ درصد منابع آب تجدیدپذیر مورد

بهره‌برداری قرار می‌گیرند و ساکنین این سرزمین از نزدیک شاهد به خطر افتادن و نابودی زیستگاه‌ها و سرمایه‌های طبیعی و اقتصادی خود هستند. بخشی از درآمدهای نفتی در طرح‌های عمرانی از جمله طرح‌های آب و به صورت یارانه خدمات عمومی به جامعه تزریق می‌شوند و شیوه تحویل حجمی گروهی در نرخ‌گذاری آب شهری و روستایی، امکانات و انگیزه‌های لازم برای کاهش تلفات و صرفه‌جویی در مصرف آب و برداشت بی‌رویه از ذخایر ثابت آب زیرزمینی را فراهم نکرده است. گرچه سطح کشت آبی توسعه یافته، اما ریسک وقوع خسارت کمبود هر ساله آب بالاتر رفته و «کم‌آبیاری» اجباری در سطح وسیع کشت آبی به چشم می‌خورد. گره‌های متعدد برداشت اضافی از منابع آب زیرزمینی، ناتمام بودن شبکه‌های آبیاری، یکپارچه‌سازی و تجهیز مزارع و ساماندهی نظام بهره‌برداری از آب با همکاری جامعه محلی، بزرگ بودن رقم آب به حساب نیامده در شبکه توزیع آب شهری، مدیریت ناسازگار فضای سبز شهری، استفاده ناامن از فاضلاب‌های شهری، نامشخص بودن نحوه بهره‌برداری امن از «پساب‌ها»، ناگشوده ماندن معمای تحویل و کنترل موثر حجمی آب کشاورزی بعد از بیش از ۲۰ سال برگزاری جلسات و همایش‌ها، به نقطه امیدوارکننده‌ای نرسیده است.

با وجود چنین معضلات حل نشده و کهنه‌ی حکمرانی و مدیریتی، آیا درخواست‌های بی‌رویه به افزایش امکانات برای اجرای «ابرطرح»‌های پرهزینه انتقال آب در مسافت‌های طولانی، شاهد و هشدار برای نپرداختن به مشکلات روی میز و تأخیر و پنهان‌سازی علل اصلی و به نوعی دامن زدن به گسترش بحران‌های آبی نمی‌تواند باشد؟ آیا نمی‌توان نتیجه گرفت تقاضا و انتظارات مهارنشده در مکان‌های نامناسب، بجای پایداری منابع آب باعث پایداری مطالبات نابجا و رانت خواهانه خواهند بود؟ با چنین پیش‌زمینه‌ای، سوال اصلی مربوط را می‌توان به صورت دیگری نیز مطرح کرد: چگونه می‌توان تقاضاهای بی‌حساب و کتاب آب را قاعده‌مند و مدیریت کرد؟ البته به راحتی پاسخ/ پاسخ‌هایی را می‌توان به لحاظ فنی و اداری و با پیروی از سرمشق‌های دیگران، در تشریح بایدها و الزام‌های نظام اقتصادی سازگار با منابع طبیعی و محیط‌زیست فهرست کرد، اما بیشتر این فهرست‌ها تاکنون جدی نشده و اگر هم جدی شوند، راهگشا نخواهند بود. وضعیت حاکی از آن است که اگرچه در ساختار حکمرانی فعلی آب جهت‌گیری‌ها و سیاست‌هایی برای پایدارسازی منابع آب در فرایند توسعه تدوین و بروز شده است، اما موانع و مقاومت‌های سیاسی-اجتماعی مهمی در برابر اولویت اجرای این سیاست‌ها وجود دارند. هرچند برای غلبه بر این مقاومت‌ها، چه در داخل بخش آب و چه در سطح جامعه محلی، چاره‌اندیشی و تدابیری در حال شکل‌گیری و اقدام است؛ اما بطور عمده با رویکرد فناورانه و مهندسی در ساختار و فرایندهای حکمرانی تک‌ساحتی

متمرکز دولت‌محور به گردش در می‌آیند. ازجمله می‌توان به تدارک اقدامات جامع‌تر از گذشته در مهار تقاضا و برداشت آب زیرزمینی در دهه ۸۰ و ۹۰، بررسی و ممیزی سدهای ناکارآمد در مهار آب سطحی در اوایل دهه ۹۰ و تدارک برنامه فرابخشی سازگاری با کم آبی به شکل اقدامات از بالا به پایین از طرف دولت، اشاره کرد. اما برآیند همه آن‌ها تداوم ناتوانی‌های گذشته بوده است. در چنین شرایطی، از شروع دهه ۱۳۹۰ در رسانه‌های مختلف، شاهد آغاز شکل‌گیری و بروز نوعی گفت‌وگو و مطالبه اجتماعی در سطوح مختلف جامعه، برهم‌خوردن تعادل قدرت در سطح محلی حکمرانی آب و درخواست مشارکت بیشتر در تصمیمات و مدیریت منابع آب توسط جامعه بوده‌ایم. بویژه آنکه در مکان‌هایی که آب با معیشت و زندگی جوامع پیوند قوی می‌خورد، مناسبات و کردارهای اجتماعی به صورت مستمر به گونه‌ای تحول یافته‌اند که خواه ناخواه عمل و ذهنیت عاملان و سازوکار حکمرانی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. چنانکه از اواسط دهه ۹۰، شکل‌گیری و نمود تلاش‌های مستمر مستقل از دولت و از پایین به بالا در سطح نهادهای غیردولتی و جامعه محلی در مناطق مختلف کشور مانند ورزش، آبادان، رفسنجان و نیشابور را می‌توان شاهد بود. حق این جریانات نوظهور ایجاب می‌کند که پژوهش از رویکردهای ساده‌انگارانه مهندسی، فراتر روند تا کنش‌های اجتماعی و تعاملی، مورد توجه بیشتری قرار گیرد. براین اساس، با انجام مطالعات موردی متعدد و انباشت مستندات و یادگیری میدانی می‌توان برای تغییر و تحول وضعیت در حال شکل‌گیری، تحلیل‌های اجتماعی، اقتصاد سیاسی و حکمرانی در سطوح مختلف را با لحاظ شرایط واقعی، فراهم کرد. در این مسیر انتظار می‌رود تا به زودی موضوعات آسیب‌شناسی رویدادها، رصد تعامل‌ها و ائتلاف‌های آینده در فرایند تکوین حکمرانی آب و عوامل موثر بر ثبات و پایداری دستاوردها و پیش‌بینی تدابیر و ارزیابی آن‌ها، اهمیت بارزی پیدا کنند. حاصل پیام آنکه: اکنون برای آموزش و پژوهش کاربردی آب، توسعه ظرفیت‌های کشور در قلمرو دانش و علوم اجتماعی، ضرورت عاجل پیدا کرده است.



## Executive Solutions and Economic Analysis to Reduce Water Consumption in Different Construction Sectors

S. Sadi<sup>1</sup>, M. Pourhosein Qadi<sup>2\*</sup>, M. Faridouni<sup>3</sup>

1- MSc in Water and Energy, Faculty of Civil Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran. 2- Ph.D. in Water Engineering-Hydraulic Structures, Abfan Consulting Engineers Company, Tehran, Iran. 3- Ph.D., Faculty of Water Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

\*(Corresponding Author Email: poorhoseinm@yahoo.com)

Received: 14-05-2023

Revised: 19-11-2023

Accepted: 20-11-2023

Available Online: 03-03-2024

## راهکارهای اجرایی و تحلیل اقتصادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمانی

سجاد سعدی<sup>۱</sup>، مهرداد پورحسین قادی<sup>۲\*</sup>، مهدی فریدونی<sup>۳</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گرایش آب و انرژی، دانشکده عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. ۲- دانش‌آموخته دکتری مهندسی آب - سازه‌های هیدرولیکی، شرکت مهندسین مشاور آیفن، تهران، ایران. ۳- دانش‌آموخته دکتری، دانشکده مهندسی عمران آب، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

\*(نویسنده مسئول، E-Mail: poorhoseinm@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳

### Abstract

Optimizing water consumption requires four approaches: modifying laws and regulations, modifying facilities and equipment, promoting the use of consumption-reducing equipment, public education, and cultural measures, which are mainly behavioral reforms and instrumental reforms. In this research, implementation solutions and economic analysis of reducing water consumption in different parts of a building were evaluated. For the economic analysis of the amount of water consumption in buildings, first, a series of influential parameters and indicators were taken into account, and then based on that, relationships were extracted and the amount of water saving in different sectors and factors was determined based on the strategies to reduce water consumption in residential buildings. The savings of the proposed solutions to reduce water consumption in different parts of the building were evaluated based on the three prices of mineral water, export water, and government water. In this research, the investment return period based on the price of mineral water after 2.2 years, exported water after 2.7 years, and government water after 3.9 years is possible by applying the suggested solutions such as the use of modern faucets by the European EPA Association, the standards of minimum suitable dimensions in different parts of a building according to the fourth topic of the national building regulations and the elimination of old systems and the use of modern systems in the building. In this research, the solutions proposed in the sanitary and other sectors (including septic tanks, and toilets) have the greatest impact in reducing water consumption in the construction division with 62 and 16 percent, respectively, and as a result, higher savings.

**Keywords:** Return on Investment, Economic Analysis, Executive Solutions, Residential Building, Reducing Water Consumption.

### چکیده

بهینه‌کردن مصرف آب مستلزم چهار رویکرد اصلاح قوانین و مقررات، اصلاح تاسیسات و تجهیزات، ترویج استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف، آموزش همگانی و اقدامات فرهنگی است که در غالب اصلاحات رفتاری و اصلاحات ابزاری شکل می‌یابند. در این تحقیق راهکارهای اجرایی و تحلیل اقتصادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف یک ساختمان ارزیابی شد. برای تحلیل اقتصادی میزان مصرف آب در ساختمان‌ها ابتدا یکسری پارامترها و شاخص‌های تأثیرگذار لحاظ شد و براساس آن روابط استخراج شد و مقدار صرفه‌جویی آب در بخش‌ها و عامل‌های مختلف براساس راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان مسکونی تعیین شد. صرفه‌جویی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان بر مبنای سه قیمت آب معدنی، آب صادراتی و آب دولتی ارزیابی شد. در این تحقیق دوره بازگشت سرمایه بر مبنای قیمت آب معدنی پس از گذشت یک دوره دو سال و دو ماه، آب صادراتی پس از گذشت یک دوره دو سال و هفت ماه و آب دولتی پس از گذشت یک دوره ۳ سال و ۹ ماه با اعمال راهکارهای پیشنهادی همچون استفاده از شیرآلات مدرن توسط انجمن EPA اروپا، استانداردهای حداقل ابعاد مناسب در بخش‌های مختلف یک ساختمان براساس بخش چهارم مقررات ملی ساختمان و حذف سیستم‌های قدیمی و استفاده از سیستم‌های مدرن در ساختمان، امکان‌پذیر می‌باشد. در این تحقیق راهکارهای پیشنهاد شده در بخش‌های سرویس بهداشتی و سایر (شامل تی‌شورخانه، توالت فرنگی) به ترتیب با ۶۲ و ۱۶ درصد بیشترین تأثیر را در کاهش مصرف آب در تقسیم‌بندی ساختمانی و در نتیجه صرفه‌جویی بالاتر دارند.

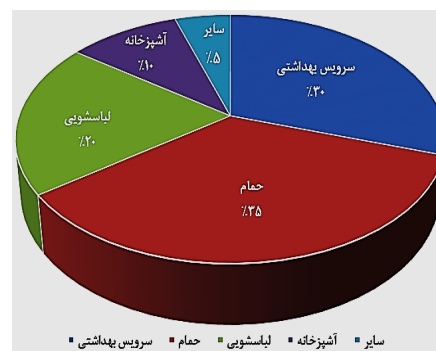
**واژه‌های کلیدی:** بازگشت سرمایه، تحلیل اقتصادی، راهکارهای اجرایی، ساختمان مسکونی، کاهش مصرف آب.

ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک است که با نرخ رشد جمعیت بالا در سه دهه اخیر و با جمعیتی نزدیک به ۸۰ میلیون نفر یکی از کشورهای پرجمعیت و پر اهمیت در منطقه خاورمیانه است. بروز خشکسالی در سال‌های اخیر و کاهش بارندگی در سطح کشور باعث شده از مقدار منابع آب تجدیدپذیر کشور به شدت کاسته شود و میزان آب قابل دسترس برای بخش‌های مختلف کشور از جمله کشاورزی، شرب و صنعت به شدت کاهش یابد. شدت بروز خشکسالی از آنجا نشأت می‌گیرد که جمعیت زیاد نیاز به آب دارد و بنابراین کمبود آب اثرات خود را سریع بر بخش زیادی از جامعه نشان می‌دهد و بروز تنش‌های وابسته به آب در مناطقی از کشور، حاکی از بحرانی شدن شرایط کمبود آب و تأثیر تبعات منفی آن است. تبعاتی که در میان‌مدت و درازمدت می‌تواند نشان دهنده ضعف کشور و آسیب‌پذیری تمامیت ارضی و ثبات سیاسی و اقتصادی آن در منطقه بحران زده خاورمیانه باشد و این شرایط می‌طلبد که از هم اکنون به‌طور جدی و عملی تدابیری اندیشیده شود تا از این بحران گذر شود. در چنین شرایطی لزوم به‌کارگیری پدافند غیرعامل در حوزه آب آشامیدنی و کشاورزی اهمیت زیادی دارد. در ایران آب شیرین به‌عنوان یک منبع نامحدود به‌شمار می‌آید که اصلاح نکردن این تفکر در جامعه و نبود زیرساخت‌های فیزیکی و فرهنگی مناسب برای اصلاح این نگرش، هزینه‌های سیاسی، اقتصادی و اجتماعی جبران ناپذیری در برخواهد داشت. مصرف آب در سطح جهان به‌طور مداوم در حال افزایش است و همچنان در سناریوی تجاری معمول خواهد بود. مصرف جهانی آب شیرین در قرن گذشته شش برابر شده است (Roser و Ritchie، ۲۰۲۱). طبق گزارش سازمان ملل متحد (UN)<sup>۱</sup>، توسعه جهانی آب (WWDR)<sup>۲</sup>، تقاضای آب شیرین از دهه ۱۹۸۰ تا کنون ۱ درصد رشد داشته است (Koncagül و همکاران، ۲۰۲۱). با این سرعت، بیش از نیمی از جمعیت جهان حداقل یک ماه در سال از نوعی کمبود آب رنج می‌برند (Rosa و Boretti، ۲۰۱۹). کم آبی می‌تواند از دو فرآیند بررسی شود، یکی کم آبی فیزیکی و دیگری کم آبی اقتصادی. کم آبی فیزیکی از ناکافی بودن منابع طبیعی برای تامین تقاضای یک ناحیه ناشی می‌شود و کم آبی اقتصادی نتیجه مدیریت ضعیف منابع آب کافی و موجود است (میثم پروازی، ۱۴۰۱). Chebaane و Hoffman (۲۰۱۷) در مورد مصرف آب در ساختمان‌های اداری تحقیق کردند. ایشان فضای سبز ساختمان‌های اداری را بزرگترین بخش مصرف‌کننده در خارج از محدوده ساختمان توصیف کردند و راهکارهایی از جمله انتخاب مناسب گیاهان برای هر اقلیم و انتخاب صحیح روش‌های آبیاری با استفاده از کودهای مناسب برای دستیابی به صرفه‌جویی در مصرف آب ارائه کردند. بخش بعدی تحقیق آنها مربوط به نوع خاک در مناطق است که نشان‌دهنده

تأثیر قوی بر میزان مصرف آب در فضای سبز است. پورحسین و سعدی (۱۴۰۲) تحلیل اقتصادی منابع تامین آب و رتبه‌بندی آن با رویکرد کاهش مصرف آب را بررسی کردند. آن‌ها سودآوری و دوره بازگشت سرمایه در صورت اجرا و بهره‌برداری هر یک از منابع تامین آب بر مبنای سه قیمت مختلف آب یعنی قیمت آب معدنی، قیمت آب صادراتی و قیمت آب دولتی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد بیشترین هزینه اجرایی و بهره‌برداری متعلق به روش‌های رطوبتی و کمترین هزینه مربوط به روش‌های تصفیه آب شور دریا و اقیانوس با روش‌های نوین بوده است. بیشترین سوددهی اقتصادی بر مبنای قیمت آب معدنی و آب صادراتی در روش‌های نوین تصفیه آب شور بوده و بر مبنای قیمت آب دولتی نیز در روش تامین آب از طریق آب‌سطحی و زیرسطحی است و کمترین سوددهی اقتصادی نیز در روش‌های تامین آب از طریق روش‌های رطوبتی بوده است فریدونی و همکاران (۱۳۹۷) شاخص‌های کاهش الگوی مصرف آب در ساختمان‌های اداری را معرفی کردند. آن‌ها در این تحقیق نحوه الگوی مصرف آب در یک ساختمان اداری را بررسی و شاخص‌های اساسی جهت بهبود الگوی مصرف آب را معرفی کردند. طبق مطالعات انجام شده می‌توان یک ساختمان اداری را به شیوه‌های مختلف به بخش‌های متعدد تقسیم‌بندی کرد. حمام، سرویس بهداشتی، آشپزخانه و فضای سبز تقسیم‌بندی انجام شده برای یک ساختمان اداری در این تحقیق است. برای طراحی و معرفی شاخص‌ها ابتدا بخش‌های تاثیرگذار در مصرف آب برای هر یک از تقسیمات ساختمانی، شناسایی شده و با توجه به ابزارهای کنترل مصرف و یا ابزارهای بهبود مصرف، به طراحی شاخص آن بخش پرداخته شده است. در نهایت ۲۲ شاخص مهم و کاربردی که نشان‌دهنده کل آب مصرفی در یک ساختمان اداری بوده تدوین شد. Sadi و همکاران (۲۰۲۲) توسعه شاخص‌های صرفه‌جویی در مصرف آب برای ساختمان‌های اداری با استفاده از روش دلفی را بررسی کردند. یکی از اهداف تحقیق آن‌ها شناسایی و تدوین شاخص‌های مناسب مصرف آب در یک ساختمان اداری می‌باشد. در مرحله اول یک ساختمان اداری به بخش‌های مختلفی از جمله دوش، حمام، آشپزخانه، فضای سبز تقسیم می‌شود. سپس از روش دلفی برای تهیه شاخص‌های موثر مصرف آب برای هر بخش استفاده می‌شود. با تعیین عوامل ذکر شده در هر بخش، ۳۸ شاخص تایید شده برای مصرف آب در یک ساختمان اداری ارائه شد. در پایان، ۳۶ شاخص که روایی و پایایی خوبی با مقادیر آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷۹ و همچنین نسبت روایی محتوا (CVR) بالاتر از ۰/۵۳ نشان دادند.

Zoghi Moghadam (۲۰۰۹) در دانشگاه Farmingdale در شهر نیویورک، منابع آب را به‌عنوان یک منبع محدود در زندگی انسان معرفی کرده است. وی با اشاره به اینکه از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ میلادی جمعیت در کشور آمریکا نزدیک به دو برابر شده و به‌طور

متوسط هر فرد ۵۰ گالن آب در روز استفاده می‌کند، به بررسی ساختمان سبز در آمریکا پرداخته است. وی با بررسی ضریب کارایی آب در حالات مختلف دریافتند که بخش‌های حمام، سرویس بهداشتی، آشپزخانه و خرابی‌های ناشی از آن‌ها در مجموع بیش از ۹۶ درصد از آب کل مصرفی در یک ساختمان را در بر می‌گیرد. لذا پژوهش آن‌ها این بخش‌ها نیز به‌عنوان بخش‌های اصلی جهت تعیین شاخص مناسب در نظر گرفته شدند.



شکل ۱- تقسیم‌بندی مختلف یک ساختمان مسکونی (Zoghi, Moghadam, ۲۰۰۹)

Hoffman (۲۰۱۶) میزان مصرف آب یک کشور در بخش‌های مختلف را بررسی و ساختمان‌های مسکونی را با مصرف بیش از ۳۸ درصد از آب مصرفی کل یک کشور به‌عنوان مهمترین بخش مصرف‌کننده آب معرفی کردند. طبق مطالعات صورت گرفته توسط ایشان، آشپزخانه، سرویس بهداشتی، حمام و فضای سبز بیش از ۹۷ درصد از آب‌های مصرفی یک ساختمان مسکونی را شامل می‌شود. Willis و همکاران (۲۰۱۱)، Athuraliya و همکاران (۲۰۱۲) و Hay و همکاران (۲۰۱۲) انواع استفاده از آب خانگی را به‌عنوان آب غیراختیاری یا اختیاری طبقه‌بندی کردند. طبق این تعریف، مصرف آب غیراختیاری ۴۰ تا ۷۰ LPCD<sup>۲</sup> است و هر مصرف‌آبی بالاتر از این مقدار صرف‌نظر از اینکه برای چه چیزی استفاده می‌شود، باید مصرف اختیاری آب در نظر گرفته شود. تعدادی از مطالعات مصرف آب خانگی را با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری، بررسی‌ها و روش‌های دیگر بررسی کردند و مقادیر معمولی را از ۹۳ LPCD تا ۴۳۰ LPCD به‌دست آوردند. Gangwa و Biswas (۲۰۲۰) گزارش دادند که عرضه آب در دهلی هند از ۲۹ LPCD در مناطق با خدمات ضعیف تا ۵۰۹ LPCD در مناطق مسکونی ممتاز متفاوت است.

Lauren Croucha و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی مصرف آب خانگی براساس فعالیت‌های مصرف شخصی آب را ارزیابی کردند. در این پژوهش یک مدل نظری برای توصیف تصادفی ۲۱ فعالیت شخصی مصرف آب ایجاد شد که مطابق با سطوح سبک زندگی براساس سلسله مراتب نیازهای فیزیولوژیکی هرم مزلو است. این

پژوهش مصرف پایه مطلق (ABC)<sup>۴</sup> یک فرد را، صرف‌نظر از مکان مصرف آب یا منبع آب، با تمرکز بر فعالیت‌های شخصی مصرف آب به‌جای مصرف خانگی اندازه‌گیری شده را کمی می‌کند. شهریار پناه (۱۳۹۰) شیرآلات و تجهیزات کاهنده مصرف آب و تاثیر آن جهت کاهش مصرف آب آشامیدنی را بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد نصب شیرآلات و تجهیزات جدید موجب کاهش ۱۵ تا ۵۰ درصدی در مصارف مربوطه و به‌طور متوسط موجب کاهش مصرف آب خانگی به میزان ۳۲ درصد در شهر می‌شود.

در این پژوهش برای بررسی راهکارهای اجرایی و تحلیل اقتصادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمانی پارامترها و شاخص‌های تاثیرگذار مصرف آب شناسایی شده و براساس آن روابطی برای میزان صرفه‌جویی مصرف آب استخراج شد. برای بررسی اقتصادی این پژوهش، راهکارهای ارائه شده برای صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش‌های مختلف باید پس از محاسبه مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب، آن را با معیار و مبنای مناسبی به واحد پولی تبدیل کرد تا باتوجه به هزینه‌ای که برای پیاده‌سازی راهکارها داده می‌شود، بتوان اقتصادی بودن راهکارها، مقدار سوددهی و دوره بازگشت سرمایه را محاسبه و راهکارهای بیان شده را از لحاظ اقتصادی تحلیل کرد. لذا فرآیند تحلیل اقتصادی درمحل، با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB بر مبنای سه قیمت آب معدنی (هر گونه آب طبیعی که حاوی حداقل ۲۵۰ واحد در میلیون، کل ماده جامد محلول (TDS)<sup>۵</sup> باشد و از طریق شرکت‌های مختلف در سطح یک کشور بسته‌بندی و به فروش برسد)، آب صادراتی (آبی که روش‌های مختلف شامل لوله‌های انتقال آب و یا آب مجازی در اختیار کشورهای دیگر قرار می‌گیرد) و آب دولتی (آبی تصفیه شده که به‌صورت لوله‌کشی، از طریق آب آشامیدنی در اختیار شهروندان قرار می‌گیرد) تحلیل و ارزیابی شد (پورحسین و سعدی، ۱۴۰۲). در این پژوهش این سه نوع دسته‌بندی جزء فرضیات تحقیق بوده و قیمت آن‌ها ملاک بررسی اقتصادی در تحقیق است.

## مواد و روش‌ها

### • دسته‌بندی درون ساختمانی

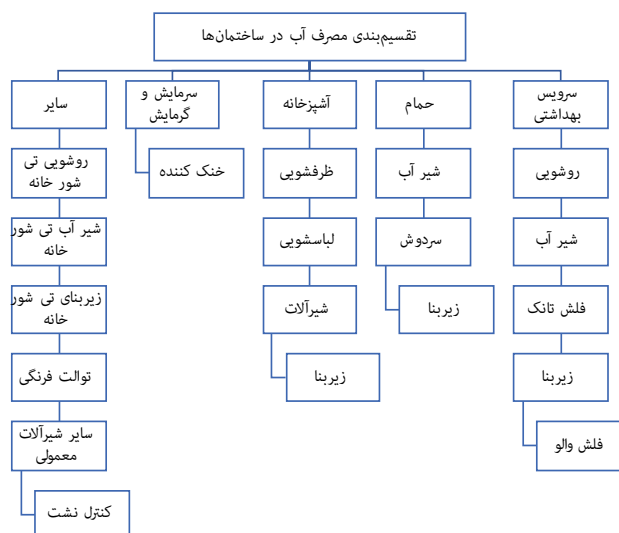
باتوجه به مطالعات صورت گرفته، مشاهده می‌شود در کشورهای زیادی بحران و نگرانی کاهش و کمبود آب به چشم خورده و هر کشور باتوجه به میزان بحران و نگرانی موجود به دنبال راه‌حلی برای جبران کمبود آب هستند. تمامی پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه به دنبال راهکارهایی برای صرفه‌جویی در مصرف آب آشامیدنی در ساختمان‌ها هستند. برای تقسیم‌بندی کامل یک ساختمان مسکونی باید عوامل مختلف مصرف آب در هر بخش شناسایی شده و شاخص‌های مناسب گردآوری و نگارش شود. در بخش حمام مواردی مانند شیرآلات، سردوش حمام، مترآز و تعداد حمام‌ها ازجمله مواردی

جدول ۱- بخش‌ها و عامل‌های مختلف اعمال راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان

| عامل مصرف در بخش    | بخش مصرف آب     | معادل انگلیسی           |
|---------------------|-----------------|-------------------------|
| روشویی              | سرویس بهداشتی   | Toilet_Toilet milk      |
| شیر آب              |                 | Toilet_Faucet           |
| فلش تانک            |                 | Toilet_Flush Tank       |
| فلش والو            |                 | Toilet_Flush Valve      |
| زیربنا              |                 | Toilet_Foundation       |
| شیر آب              | حمام            | Bathroom_Toilet milk    |
| سردوش               |                 | Bathroom_Shower         |
| زیربنا              |                 | Bathroom_Foundation     |
| شیرآلات             | آشپزخانه        | Kitchen_Toilet milk     |
| زیربنا              |                 | Kitchen_Foundation      |
| لباسشویی            |                 | Kitchen_Washing Machine |
| ظرفشویی             |                 | Kitchen_Dishwasher      |
| خنک کننده           | سرمایش و گرمایش | Cooling_Heating         |
| زیربنای تی شور خانه | سایر            | Other_WS Foundation     |
| روشویی تی شور خانه  |                 | Other_WS Toilet milk    |
| شیر آب تی شور خانه  |                 | Other_WS Faucet         |
| توالیت فرنگی        |                 | Other_Foreign Toilet    |
| سایر شیرآلات معمولی |                 | Other Faucet            |
| کنترل نشت           |                 | Other_Leakage Control   |

رسیدن به شاخص‌های نهایی در گرو داشتن مراجع اطلاعاتی و مجموعه‌ای کامل از اطلاعات خام است تا بتوان از میان اطلاعات موجود، باتوجه به ساختار نظری و تمرکز بر روی هدف اصلی شاخص‌سازی، متغیرها و شاخص‌ها را انتخاب کرد. برای اجرای فرآیند تحلیل اقتصادی در مدل، نیاز به برخی شاخص‌ها و پارامترهایی در زمینه‌های مصرف آب، تعداد وسایل، مدت استفاده از ابزار مصرف آب، دبی‌های خروجی، مساحت‌ها و مدت زمان شستشوی محیط و غیره می‌باشد که در شرایط مختلف قابل ویرایش توسط کاربر می‌باشد. در مورد روش و مراحل لازم برای ساخت یک شاخص از روش ارائه شده در پروژه تحقیقاتی مشترک میان سازمان توسعه و همکاری اقتصادی اداره علم آمار، تکنولوژی و صنعت و کمیسیون اروپایی واحد آمار کاربردی و اقتصادسنجی مرکز تحقیقات استفاده شد. پس از تعداد زیادی شاخص و پارامترها بهترین آنها که وزن بیشتری در کار دارند انتخاب شدند، شاخص‌های بیان شده براساس شرایط کشور ایران انتخاب شدند. جداول (۲) و (۳) مجموعه این شاخص‌ها و پارامترهای گفته شده به همراه مقادیر استاندارد را نشان می‌دهد.

هستند که نقش کلیدی در مصرف آب در این بخش دارند. در بخش سرویس بهداشتی مواردی مانند مخزن سیفون، فلاش والو، شیرآلات، مترآژ و تعداد از جمله مهمترین موارد مصرف آب در این بخش هستند. در تقسیم‌بندی آشپزخانه، بخش‌های عمده مصرف آب مربوط به شیرآلات و زیربنای آشپزخانه می‌باشد. سرمایش-گرمایش یکی دیگر از بخش‌های تقسیم شده یک ساختمان مسکونی است که باتوجه به نوع سیستم مورد استفاده از آب برای دستیابی به هدف خود استفاده می‌کنند. در این بخش میزان آب مصرفی هر دستگاه، در معرض آفتاب بودن کولرها و عایق بندی لوله‌ها از جمله مواردی هستند که می‌توانند بر میزان مصرف آب در این بخش تأثیرگذار باشند. علاوه بر موارد اشاره شده، عوامل متعدد دیگری هستند که در مجموع می‌توانند بر میزان مصرف آب در یک ساختمان مسکونی تأثیرگذار باشند. از جمله مهمترین این عوامل، می‌توان به فناوری به کار رفته در ساختمان، فشار آب، آب خاکستری، مخازن، مصرف آب کل ساختمان و تجهیزات به کار رفته در ساختمان اشاره کرد. در این پژوهش با بهره‌گیری از الگوهای مطالعات پیشین یک ساختمان مسکونی به بخش‌های مختلفی تقسیم‌بندی شد. در شکل (۲) فلوچارت تقسیم‌بندی مصرف آب در ساختمان‌ها نشان داده شده است.



شکل ۲- نمودار شماتیک تقسیم بندی مصرف آب در ساختمان‌ها (به عنوان نمونه ساختمان مسکونی)

#### • پارامترها، هزینه‌ها و شرایط شبیه‌سازی

برای تحلیل اقتصادی میزان مصرف آب در ساختمان‌ها ابتدا باید یکسری پارامترها و شاخص‌های تأثیرگذار را برای آن لحاظ کرده و براساس آن روابطی را استخراج کرد و مقدار صرفه‌جویی آب در بخش‌ها و عامل‌های مختلف براساس راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان تعیین شود. جدول (۱) بخش‌ها و عامل‌های مختلف اعمال راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان را که در مدل تحلیل و ارزیابی شده، نشان داده است.



جدول (۴) نیز بخشی از پژوهش‌های مورد استفاده برای شناسایی و معرفی شاخص‌های این پژوهش را نشان می‌دهد. در این جدول پژوهشگران به همراه سال انتشار و بخش‌های مورد نظر در ساختمان و معیارهای اندازه‌گیری هر شاخص ارائه شده است.

#### • استخراج روابط صرفه‌جویی مصرف آب در بخش‌های مختلف از ساختمان‌های مسکونی

برای بررسی مصرف آب درون یک ساختمان مسکونی باید عوامل مختلف مصرف آب در هر بخش شناسایی شده و سپس راهکارهای مناسب بررسی شود. همانطور که در بخش قبلی مهمترین بخش‌ها و عوامل یک ساختمان مسکونی ارائه شد اولین قدم برای شناسایی صرفه‌جویی‌های احتمالی آب، بررسی میزان جریان و حجم آب مصرفی هر وسیله در بخش‌های مختلف ساختمان است. محصولات قدیمی بیشترین تاثیر را در هدر رفت آب دارند و نسبت به محصولات جدید آب بیشتری مصرف می‌کنند، همچنین هزینه‌های نگهداری آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. با جایگزینی وسایل قدیمی با مدل‌های جدیدتر و دارای برچسب، هم در مصرف آب و هم در هزینه قبوض آب و هم در تعمیر و نگهداری صرفه‌جویی می‌شود. باتوجه به تقسیم‌بندی و همچنین مطالعات صورت گرفته در زمینه راهکارهای بهبود مصرف آب درون یک ساختمان مسکونی، مواردی که پژوهشگران کشورهای مختلف برای کاهش مصرف آب در ساختمان ارائه و پیشنهاد کرده‌اند جمع‌آوری شده و در این پژوهش ارائه شده تا میزان صرفه‌جویی در مصرف آب محاسبه شود. این روابط در بخش نتیجه و بحث آورده شده است. جدول (۵) قیمت انواع آب معدنی، دولتی و صادراتی به همراه قیمت وسایل قدیم و جدید در ساختمان براساس سال ۱۴۰۰ استفاده شده در این پژوهش ارائه شده است.

#### • استخراج روابط صرفه‌جویی آب

در بخش قبل نقاط مختلف یک ساختمان از دیدگاه صرفه‌جویی در مصرف آب بررسی شد. در این قسمت روابطی برای محاسبه این میزان صرفه‌جویی در حالت قدیمی و حالت جایگزینی ارائه می‌شود. که در بخش نتیجه و بحث این روابط ارائه شده است.

#### • تحلیل اقتصادی و دور بازگشت سرمایه

برای تحلیل اقتصادی راهکارهای ارائه شده برای صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش‌های مختلف باید پس از محاسبه مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب، آن را با معیار و مبنای مناسبی به واحد پولی تبدیل کرد تا باتوجه به هزینه‌ای که برای پیاده‌سازی راهکارها داده می‌شود، بتوان اقتصادی بودن راهکارها، مقدار سوددهی و دوره بازگشت سرمایه را محاسبه و راهکارهای بیان شده را از لحاظ اقتصادی تحلیل کرد. در این پروژه تمامی راهکارها بر مبنای سه قیمت آب معدنی، آب صادراتی و آب دولتی تحلیل و ارزیابی شد.

جدول ۲- پارامترهای تاثیرگذار در تحلیل اقتصادی راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان

| ردیف | شاخص                    | ردیف | شاخص                        |
|------|-------------------------|------|-----------------------------|
| ۱    | قیمت هر لیتر آب دولتی   | ۸    | تعداد استفاده یک نفر در روز |
| ۲    | قیمت هر لیتر آب صادراتی | ۹    | تعداد نفرات ساکن            |
| ۳    | قیمت هر لیتر آب معدنی   | ۱۰   | تعداد روز در سال            |
| ۴    | دقیقه بر حمام           | ۱۱   | مساحت کنونی                 |
| ۵    | دبی شیرآلات سابق        | ۱۲   | مساحت استاندارد             |
| ۶    | دبی شیرآلات جایگزین     | ۱۳   | دقیقه بر مترمربع شست‌وشو    |
| ۷    | مقدار نشت آب            | ۱۴   | تعداد شست‌وشو در روز        |

جدول ۴- پژوهش‌های مختلف برای شناسایی شاخص‌های کاربردی برای صرفه‌جویی آب در ساختمان‌ها

| معیارهای اندازه‌گیری (ایده‌هایی برای تعریف شاخص‌ها)  | بخش مورد نظر در ساختمان                 | منابع                      |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|
| دبی جریان، مخازن تخلیه                               | توالت، شیرآلات                          | Ghisi و Proença (۲۰۱۰)     |
| میزان بازیافت آب، نرخ مصرف تجهیزات                   | آب باران، آب خاکستری، تجهیزات، توالت‌ها | Ghisi و همکاران (۲۰۱۴)     |
| دبی جریان، تخلیه مخزن، نرخ مصرف تجهیزات              | تجهیزات لوله‌کشی، اتصالات، توالت        | Soares و همکاران (۲۰۲۱)    |
| مقدار بازیافت آب، دبی، تخلیه مخازن، نرخ مصرف تجهیزات | آب باران، سرویس بهداشتی، لوله‌کشی       | Themudu و Praveena (۲۰۲۱)  |
| میزان بازیافت آب، نرخ مصرف تجهیزات                   | آب باران، آب خاکستری، تجهیزات           | Marinoski و همکاران (۲۰۱۸) |
| مصرف در اقلیم‌های مختلف                              | فضای سبز                                | Kruger و Bennett (۲۰۱۵)    |
| مقدار آب بازیافت شده                                 | آب باران، آب خاکستری                    | Shikuku و همکاران (۲۰۲۱)   |
| مقدار بازیافت آب، دبی، تخلیه مخازن، نرخ مصرف تجهیزات | آب باران، توالت، حمام                   | Manioğlu و Şahin (۲۰۱۹)    |
| میزان بازیافت آب                                     | آب باران، آب خاکستری                    | Chu (۲۰۲۱)                 |
| میزان بازیافت آب                                     | آب خاکستری                              | Beithou و همکاران (۲۰۱۱)   |



جدول ۳- مقادیر شاخص‌های مورد استفاده در بخش‌های مختلف ساختمان‌های مسکونی

| بخش‌های مختلف ساختمان و اجرای آن |            |               |                    |                          |                           |                       |                  |                  |                             |                                                                |                                                              |                        |
|----------------------------------|------------|---------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------|
| میزان صرفه‌جویی<br>(لیتر بر سال) | تعداد مورد | دقیقه بر حمام | تعداد شستشو در روز | دقیقه بر مترمربع شست‌وشو | مساحت استاندارد (مترمربع) | مساحت کنونی (مترمربع) | تعداد روز در سال | تعداد نفرات ساکن | تعداد استفاده یک نفر در روز | دبی با شیرآلات جایگزین یا ماشین<br>جدید یا نشت (لیتر بر دقیقه) | دبی با شیرآلات سابق یا ماشین<br>قدیمی یا نشت (لیتر بر دقیقه) |                        |
| ۱۴۴۷۱/۵۵                         | ۱          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱۵               | ۵                | ۴/۹۲                        | ۹/۴۶                                                           | روشنی                                                        | Toilet_Toiletmilk      |
| ۹۳۰۰۲/۶۶                         | ۱          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱۵               | ۳                | ۵/۶۷                        | ۱۱/۳۵                                                          | شیر آب                                                       | Toilet_Faucet          |
| ۳۳۱۱۴۵/۰۸                        | ۱          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱۵               | ۳                | ۴/۸۴                        | ۱۸/۹۲                                                          | فلش‌تانک                                                     | Toilet_FlushTank       |
| ۱۱۸۰۵۷/۹۷                        | ۱          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱۵               | ۳                | ۴/۱۶                        | ۱۱/۳۵                                                          | فلش والو                                                     | Toilet_FlushValve      |
| ۲۸۱۶/۸۲                          | ۵          | ۱             | ۱                  | ۲                        | ۱/۳۲                      | ۳۶۵                   | ۱                | ۱                | ۵/۶۷                        | ۱۱/۳۵                                                          | زیرینا                                                       | Toilet_Foundation      |
| ۱۴۴۹۸/۳۵                         | ۱          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱۵               | ۱                | ۵/۶۷                        | ۸/۳۲                                                           | شیر آب                                                       | Bathroom_Toiletmilk    |
| ۷۹۱۶/۹۸                          | ۱          | ۷/۸           | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱۵               | ۰/۷۰             | ۶/۸۱                        | ۹/۴۶                                                           | سردوش                                                        | Bathroom_Shower        |
| ۳۳۱/۳۹                           | ۳          | ۱             | ۰/۲                | ۲                        | ۲/۴                       | ۳۶۵                   | ۱                | ۱                | ۷/۵۷                        | ۱۱/۳۵                                                          | زیرینا                                                       | Bathroom_Foundation    |
| ۹۹۴۱۷/۲۴                         | ۱          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱۵               | ۴                | ۴/۹۲                        | ۹/۴۶                                                           | شیرآلات                                                      | Kitchen_Toiletmilk     |
| ۳۴۸۵/۴۳                          | ۲          | ۱             | ۱                  | ۲                        | ۵/۶                       | ۳۶۵                   | ۱                | ۱                | ۷/۵۷                        | ۱۱/۳۵                                                          | زیرینا                                                       | Kitchen_Foundation     |
| ۱۳۸۰/۸۰                          | ۱          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱                | ۱                | ۱۳/۲۴                       | ۱۷/۰۲                                                          | لباسشویی                                                     | Kitchen_WashingMachine |
| ۱۳۸۰/۸۰                          | ۱          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱                | ۱                | ۱۳/۲۴                       | ۱۷/۰۲                                                          | ظرفشویی                                                      | Kitchen_Dishwasher     |
| ۵۴۴۷/۵۲                          | ۵          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۱۲۰                   | ۱                | ۱                | ۱۰۵/۹۲                      | ۱۵۱/۳۳                                                         | کولر                                                         | Cooling_Heating        |
| ۱۱۰۴/۶۴                          | ۲          | ۱             | ۱                  | ۲                        | ۵/۶                       | ۳۶۵                   | ۱                | ۱                | ۷/۵۷                        | ۱۱/۳۵                                                          | زیرینای تی شور خانه                                          | Other_WSFoundation     |
| ۸۲۸۴/۷۷                          | ۲          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱                | ۵                | ۴/۹۲                        | ۹/۴۶                                                           | روشنی تی شور خانه                                            | Other_WSToiletmilk     |
| ۱۰۳۵۵/۹۶                         | ۲          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱                | ۵                | ۵/۶۷                        | ۱۱/۳۵                                                          | شیر آب تی شور خانه                                           | Other_WSFaucet         |
| ۱۱۸۰۵۷/۹۷                        | ۱          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱۵               | ۳                | ۶/۰۵                        | ۱۳/۲۴                                                          | توالت فرنگی                                                  | Other_ForeignToilet    |
| ۱۰۳۵۵/۸۶                         | ۴          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱                | ۵                | ۵/۶۷                        | ۱۱/۳۵                                                          | سایر شیرآلات معمولی                                          | Other_Faucet           |
| ۳۳۰۵/۹۳                          | ۵          | ۱             | ۱                  | ۱                        | ۱                         | ۳۶۵                   | ۱                | ۱۶/۷             | ۰                           | ۰/۳۸                                                           | کنترل نشت                                                    | Other_LeakageControl   |

جدول ۵- قیمت انواع آب معدنی، دولتی و صادراتی به همراه قیمت وسایل قدیم و جدید در ساختمان (ریال)

| تعداد وسیله<br>برای بررسی<br>اقتصادی | قیمت وسیله<br>جدید (ریال) | قیمت وسیله<br>قدیمی (ریال) | قیمت هر لیتر<br>آب دولتی<br>(ریال) | قیمت هر لیتر<br>آب صادراتی<br>(ریال) | قیمت هر لیتر<br>آب معدنی<br>(ریال) | نام وسیله                                       |
|--------------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| ۵                                    | ۲۳۳۴۴۳۰۰                  | ۲۵۶۷۸۷۳                    | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Toilet_Toiletmilk<br>روشویی سرویس<br>بهداشتی    |
| ۵                                    | ۲۱۰۰۹۸۷۰                  | ۱۱۶۷۲۱۵                    | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Toilet_Faucet<br>شیر آب سرویس<br>بهداشتی        |
| ۵                                    | ۱۹۸۴۲۶۵۵                  | ۴۲۰۱۹۷۴                    | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Toilet_FlushTank<br>فلش تانک<br>سرویس بهداشتی   |
| ۵                                    | ۲۲۴۱۰۵۲۸                  | ۴۶۶۸۸۶۰                    | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Toilet_FlushValve<br>فلش والو<br>سرویس بهداشتی  |
| ۳                                    | ۲۵۶۷۸۷۳۰                  | ۲۸۰۱۳۱۶                    | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Bathroom_<br>Toiletmilk<br>شیر آب حمام          |
| ۳                                    | ۱۴۰۰۶۵۸۰                  | ۱۸۶۷۵۴۴                    | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Bathroom_<br>Shower<br>سردوش حمام               |
| ۲                                    | ۲۵۶۷۸۷۳۰                  | ۲۵۶۷۸۷۳                    | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Kitchen_<br>Toiletmilk<br>شیرآلات<br>آشپزخانه   |
| ۰/۵                                  | ۱۸۶۷۵۴۴۰۰                 | ۸۶۳۷۳۹۱۰                   | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Kitchen_<br>WashingMachine<br>لباسشویی          |
| ۰/۵                                  | ۲۲۱۷۷۰۸۵۰                 | ۱۲۸۳۹۳۶۵۰                  | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Kitchen_<br>Dishwasher<br>ظرفشویی               |
| ۵                                    | ۱۴۰۰۶۵۸۰                  | .                          | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Cooler_<br>Arrangements<br>تهییدات کولر         |
| ۲                                    | ۲۲۴۱۰۵۲۸                  | ۲۵۶۷۸۷۳                    | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Other_<br>WSToiletmilk<br>روشویی تی شور<br>خانه |
| ۲                                    | ۲۱۰۰۹۸۷۰                  | ۱۱۶۷۲۱۵                    | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Other_WS<br>Faucet<br>شیر آب تی شور<br>خانه     |
| ۱                                    | ۹۸۰۴۶۰۶۰                  | ۱۷۵۰۸۲۲۵                   | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Other_<br>ForeignToilet<br>توالت فرنگی          |
| ۴                                    | ۲۱۰۰۹۸۷۰                  | ۱۱۶۷۲۱۵                    | ۲۲۹۷۵                              | ۸۸۳۶۷۵                               | ۱۳۲۵۴۹                             | Other_Faucet<br>سایر شیرآلات<br>معمولی          |

## نتایج و بحث

### • بررسی مصرف آب در بخش‌های مختلف و شناسایی عوامل تاثیرگذار

برای بررسی مصرف آب درون یک ساختمان مسکونی باید عوامل مختلف مصرف آب در هر بخش شناسایی شده و سپس راهکارهای مناسب را بررسی کرد. در جدول (۶) تقسیم‌بندی

نهایی مصرف آب درون یک ساختمان مسکونی به همراه روابط استخراج شده برای بررسی بهبود مصرف آب نشان داده شده است.

در تمام روابط جدول (۶) برای تبدیل واحد گالن بر دقیقه به لیتر بر دقیقه عدد ۳/۷۸۳ در روابط ضرب می‌شود. روابط جدول (۶) منحصرأ در این پژوهش به‌دست آمده و از هیچ منبع دیگری گرفته نشده است.

جدول ۶- تقسیم‌بندی بخش‌های مصرف آب درون یک ساختمان مسکونی به همراه روابط استخراج شده برای کاهش مصرف آب

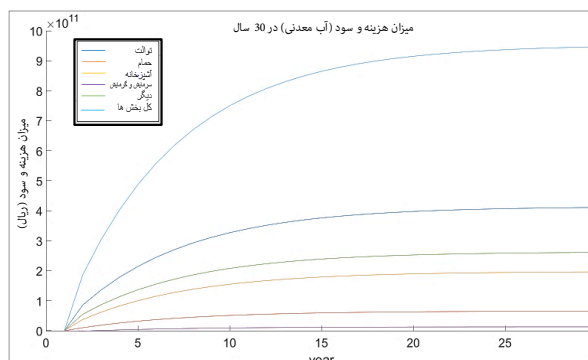
| ردیف | بخش ساختمان                                           | روابط محاسباتی الگوی مصرف                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | توضیحات                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | سرویس بهداشتی - شیرآلات (روشویی) Toilet_) (Toiletmilk | $TT = [U_o - U_n] \times N_1 \times N_2 \times 365$<br>$U_o (\text{gpm}) = \text{جریان آب شیرآلات قدیمی}$<br>$U_n (\text{gpm}) = \text{جریان آب شیرآلات جایگزین: gpm}$<br>$N_1 = \text{تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۵ مرتبه)}$<br>$N_2 = \text{تعداد نفرات ساکن}$<br>$۳۶۵ = \text{تعداد روز در سال}$                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک روشویی بهداشتی که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود.</li> <li>• یکی از بهترین روش‌های کاهش مصرف آب استفاده از شیرآلات مدرن توسط انجمن EPA اروپا است (شیرآلات جایگزین با جریان آب ۱/۲، ۱ و ۱/۵ gpm).</li> <li>• جریان آب شیرآلات قدیمی با ۲/۵ gpm یا بیشتر می‌باشد.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| ۲    | سرویس بهداشتی - شیرآلات (شیرآب) Toilet_) (Faucet      | $TFa = [U_o - U_n] \times N_1 \times N_2 \times 365$<br>$U_o (\text{gpm}) = \text{جریان آب شیرآلات قدیمی}$<br>$U_n (\text{gpm}) = \text{جریان آب شیرآلات جایگزین: gpm}$<br>$N_1 = \text{تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۳ مرتبه)}$<br>$N_2 = \text{تعداد نفرات ساکن}$<br>$۳۶۵ = \text{تعداد روز در سال}$                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک شیر آب سرویس بهداشتی که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود.</li> <li>• یکی از بهترین روش‌های کاهش مصرف آب استفاده از شیرآلات مدرن توسط انجمن EPA اروپا است (شیرآلات جایگزین با جریان آب ۱/۵ gpm).</li> <li>• جریان آب یک شیر معمولی بین ۲ تا ۴ گالن در دقیقه متغیر است.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| ۳    | سرویس بهداشتی-فلاش تانک Toilet_) (FlushTank           | $TFT = [U_o - U_n] \times N_1 \times N_2 \times 365$<br>$U_o (\text{gpf}) = \text{جریان آب در فلاش تانک قدیمی}$<br>$U_n (\text{gpf}) = \text{جریان آب در فلاش تانک جایگزین: gpf}$<br>$N_1 = \text{تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۳ مرتبه)}$<br>$N_2 = \text{تعداد نفرات ساکن}$<br>$۳۶۵ = \text{تعداد روز در سال}$                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک فلاش تانک سرویس بهداشتی که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود.</li> <li>• برای تخلیه ضایعات به فاضلاب است.</li> <li>• حجم فلاش‌تانک‌ها در نمونه‌های قدیمی‌تر حدود ۲۱ لیتر است.</li> <li>• حجم فلاش تانک‌ها در نمونه‌های جدیدتر حدود ۶ تا ۱۰ لیتر است.</li> <li>• توالت‌های مخزن‌دار با برچسب (نوع جدید) دارای مجوز مستقل هستند که جریان موثر فلاش ۱/۲۸ gpf یا کمتر دارد.</li> <li>• فلاش تانک‌های قدیمی جریان موثر ۴ gpf الی ۶ یا بیشتر دارد.</li> </ul>                                                                                                                                                              |
| ۴    | سرویس بهداشتی - فلاش والو Toilet_) (FlushValve        | $TFV = [U_o - U_n] \times N_1 \times N_2 \times 365$<br>$U_o (\text{gpm}) = \text{جریان آب در فلاش والو قدیمی}$<br>$U_n (\text{gpm}) = \text{جریان آب در فلاش والو جایگزین: gpm}$<br>$N_1 = \text{تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۳ مرتبه)}$<br>$N_2 = \text{تعداد نفرات ساکن}$<br>$۳۶۵ = \text{تعداد روز در سال}$                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه‌جویی آب ناشی از تعویض یک فلاش والو سرویس بهداشتی که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود.</li> <li>• فلاش والو، برخلاف فلاش تانک، فاقد مخزن ذخیره آب است و در زمان فعال شدن، با استفاده از یک لوله با قطر زیاد حجم مشخصی از آب را با دبی زیاد در کاسه سرویس بهداشتی تخلیه می‌کند.</li> <li>• مطابق بخش شانزدهم مقررات ملی ساختمان، در هر بار ریزش، فلاش تانک‌ها و فلاش والوها باید حداکثر ۱/۵ گالن (معادل ۶ لیتر) آب به داخل کاسه سرویس بهداشتی تخلیه کنند.</li> <li>• جایگزینی فلاش والوهای قدیمی با ۲ تا ۳ gpf یا بیشتر با مدل‌های دارای برچسب که با ۱/۱، ۱/۲ و ۱/۲۸ gpf شستشو می‌دهند، میتواند منجر به صرفه‌جویی قابل توجه آب شود.</li> </ul> |
| ۵    | سرویس بهداشتی-زیربنا Toilet_) (Foundation             | $TFO = [A_n - A_s] \times T \times [U_o - U_n] \times N \times 365$<br>$A_n = \text{مساحت کنونی (m}^2\text{)}$<br>$A_s = \text{مساحت استاندارد (m}^2\text{): } 1/2 \times 1/1$<br>$T = \text{مدت زمان شستشوی هر مترمربع (۲ دقیقه بر مترمربع)}$<br>$U_o (\text{gpm}) = \text{جریان آب در شیرآلات قدیمی}$<br>$U_n (\text{gpm}) = \text{جریان آب در شیرآلات مدرن: ۲ gpm}$<br>$N = \text{تعداد شستشو در یک روز (۱ مرتبه)}$<br>$۳۶۵ = \text{تعداد روز در سال}$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه‌جویی آب ناشی از شستشوی زیر بنای یک سرویس بهداشتی که بر حسب گالن در سال محاسبه می‌شود.</li> <li>• طبق مقررات ملی مبحث چهارم ساختمان حداقل ابعاد مناسب سرویس بهداشتی ۱/۱ در ۱/۲ است.</li> <li>• حداقل ۲ دقیقه از شیر آب برای شستشوی هر مترمربع استفاده می‌شود.</li> <li>• شیرآلات مدرن دارای جریان ۲ گالن بر دقیقه و شیرآلات قدیمی ۳ تا ۵ گالن بر دقیقه است.</li> <li>• در صورت استفاده از واترجت می‌توان مقدار محاسبه شده از معادله ردیف ۴ را در ۱/۳ ضرب کرد.</li> </ul>                                                                                                                                                                      |

| ردیف | بخش ساختمان                                    | روابط محاسباتی الگوی مصرف                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | توضیحات                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۶    | حمام-شیرآلات<br>(Bathroom_)<br>(Toiletmilk)    | $BT = V \times N \times 365$<br>$V =$ حجم آب صرفه جویی شده در یک روز برای یک نفر (گالن): $0/6$ گالن<br>$N =$ تعداد نفرات ساکن<br>$= 365$ = تعداد روز در سال                                                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه جویی آب ناشی از تعویض یک شیر حمام که بر حسب گالن در سال محاسبه می شود.</li> <li>• در شیرها و لوازم جانبی شیر آب ۲ گالن در دقیقه یا بیشتر در ۶۰ پوند بر اینچ مربع (psi) فشار آب جریان دارند.</li> <li>• تعویض شیرها یا هواده های شیر آب با جریان ۲ gpm یا بیشتر با مدل های دارای برچسب با جریان ۱/۵ gpm یا کمتر می تواند به کاهش مصرف آب کمک کند.</li> </ul>                                                                                                                              |
| ۷    | حمام-سردوش<br>(Bathroom_)<br>(Shower)          | $BSH = [U_{do} - U_{dn}] \times T \times N_1 \times N_2 \times 365$<br>$U_{do}$ (gpm) = جریان آب در شیرآلات قدیمی<br>$U_{dn}$ (gpm) = جریان آب در شیرآلات جایگزین:<br>$1/8$ یا کمتر gpm<br>$T =$ مدت زمان (دقیقه) حمام کردن: $7/5$ دقیقه<br>$N_1 =$ تعداد استفاده یک نفر در یک روز (مرتبه) $0/7$<br>$N_2 =$ تعداد نفرات ساکن<br>$= 365$ = تعداد روز در سال                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه جویی آب ناشی از تعویض یک شیر حمام که بر حسب گالن در سال محاسبه می می شود.</li> <li>• بیشتر دوش های معمولی ۲ تا ۳ gpm با فشار آب ۶۰ psi استفاده می کنند. که در استانداردهای جدید ملزم به استفاده از سر دوش جریان حدود ۲/۵ gpm است.</li> <li>• سردوش های دارای برچسب دارای حداکثر جریان ۲ gpm هستند.</li> <li>• برای برآورد صرفه جویی در مصرف آب از جایگزینی دوش های قدیمی و موجود با مدل های دارای برچسب که در ۱/۸، ۱/۵ و ۲ gpm جریان دارند، از این رابطه می توان استفاده کرد.</li> </ul> |
| ۸    | حمام-زیربنا<br>(Bathroom_)<br>(Foundation)     | $BFO = [A_n - A_s] \times T \times [U_o - U_n] \times N \times 365$<br>$A_n =$ مساحت کنونی ( $m^2$ )<br>$A_s =$ مساحت استاندارد ( $m^2$ ): $1/6 \times 1/5$<br>$T =$ مدت زمان شستشوی هر مترمربع (۲ دقیقه بر مترمربع)<br>$U_o$ (gpm) = جریان آب در شیرآلات قدیمی<br>$U_n$ (gpm) = جریان آب در شیرآلات مدرن: ۲ gpm<br>$N =$ تعداد شستشو در یک روز (مرتبه) $0/2$<br>$= 365$ = تعداد روز در سال | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه جویی آب ناشی از شستشوی زیر بنای یک حمام که بر حسب گالن در سال محاسبه می شود.</li> <li>• طبق مقررات ملی مبحث چهارم حداقل ابعاد مناسب حمام ۱/۶ در ۱/۵ بوده و حداقل ۲ دقیقه از شیر آب برای شستشوی هر متر مربع استفاده می شود.</li> <li>• شیرآلات مدرن دارای جریان آب ۲ گالن بر دقیقه و شیرآلات قدیمی دارای جریان آب ۳ تا ۵ گالن در دقیقه می باشند.</li> <li>• در صورت استفاده از واترجت می توان مقدار محاسبه شده فوق را در ۱/۳ ضرب کرد.</li> </ul>                                          |
| ۹    | آشپزخانه-شیرآلات<br>(Kitchen_)<br>(Toiletmilk) | $KT = [U_o - U_n] \times T \times N \times 365$<br>$U_o$ (gpm) = جریان آب با شیرآلات قدیمی<br>$U_n$ (gpm) = جریان آب با شیرآلات جایگزین:<br>$3/1$ یا کمتر gpm<br>$T =$ مدت زمان (دقیقه) استفاده یک نفر در روز (۴ دقیقه)<br>$N =$ تعداد نفرات ساکن<br>$= 365$ = تعداد روز در سال                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه جویی آب ناشی از تعویض یک شیر آشپزخانه که بر حسب گالن در سال محاسبه می شود.</li> <li>• یکی از بهترین روش های کاهش مصرف آب استفاده از شیرآلات مدرن توسط انجمن EPA اروپا است. (شیرآلات جایگزین با جریان آب ۱، ۱/۲ و ۲/۵ gpm) یا بیشتر می باشد.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                   |
| ۱۰   | آشپزخانه-زیربنا<br>(Kitchen_)<br>(Foundation)  | $KFO = [A_n - A_s] \times T \times [U_o - U_n] \times N \times 365$<br>$A_n =$ مساحت کنونی ( $m^2$ )<br>$A_s =$ مساحت پیشنهادی ( $m^2$ ): $5/6$<br>$T =$ مدت زمان شستشوی هر مترمربع (۲ دقیقه بر مترمربع)<br>$U_o$ (gpm) = جریان آب در شیرآلات قدیمی<br>$U_n$ (gpm) = جریان آب در شیرآلات مدرن: ۲ gpm<br>$N =$ تعداد شستشو در یک روز (مرتبه) (۱ مرتبه)<br>$= 365$ = تعداد روز در سال         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه جویی آب ناشی از شستشوی زیر بنای یک آشپزخانه که بر حسب گالن در سال محاسبه می شود.</li> <li>• حداقل ابعاد پیشنهادی برای آشپزخانه ۵/۶ متر مربع بوده و حداقل ۲ دقیقه از شیر آب برای شستشوی هر متر مربع استفاده می شود.</li> <li>• شیرآلات مدرن دارای جریان آب ۲ گالن بر دقیقه و شیرآلات قدیمی دارای جریان آب ۳ تا ۵ گالن در دقیقه می باشند.</li> </ul>                                                                                                                                       |

| ردیف | بخش ساختمان                                             | روابط محاسباتی الگوی مصرف                                                                                                                                                                                                                                                                                                | توضیحات                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۱   | سایر- تی شور خانه<br>(Other_)<br>(WSFaucet)             | $OW=[U_o-U_n] \times N_1 \times N_2 \times 365$<br>$U_o(\text{gpm}) = \text{جریان آب شیرآلات قدیمی}$<br>$U_n(\text{gpm}) = \text{جریان آب شیرآلات جایگزین}$<br>$1/\text{gpf}^3$ یا کمتر<br>$N_1 = \text{تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۵ مرتبه)}$<br>$N_2 = \text{تعداد نفرات ساکن}$<br>$365 = \text{تعداد روز در سال}$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه جویی آب ناشی از تعویض یک روشویی در تی شور خانه که بر حسب گالن در سال محاسبه می شود.</li> <li>• جایگزینی روشویی های قدیمی با جریان <math>1/6 \text{ gpf}</math> یا بیشتر با مدل های دارای برچسب EPA که با <math>1/28 \text{ gpf}</math> یا کمتر شستشو می دهند، می تواند منجر به صرفه جویی قابل توجه آب شود.</li> </ul>                                                                                                                                                                             |
| ۱۲   | سایر- توالت<br>فرنگی<br>(Other_)<br>Foreign<br>(Toilet) | $OFT=[U_o-U_n] \times N_1 \times N_2 \times 365$<br>$U_o(\text{gpf}) = \text{جریان آب در شیرآلات قدیمی}$<br>$U_n(\text{gpf}) = \text{جریان آب در شیرآلات جایگزین}$<br>$1/28$ یا کمتر<br>$N_1 = \text{تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۳ مرتبه)}$<br>$N_2 = \text{تعداد نفرات ساکن}$<br>$365 = \text{تعداد روز در سال}$    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه جویی آب ناشی از تعویض یک توالت فرنگی که بر حسب گالن در سال محاسبه می شود.</li> <li>• سه نوع عمده توالت فرنگی شامل فلاش گرانشی، شیر آب شویی و نوع مخزن تحت فشار است که توالت های فلاش گرانشی رایج ترین توالت ها هستند</li> <li>• جایگزینی روشویی های قدیمی با جریان <math>1/6 \text{ gpf}</math> یا بیشتر با مدل های دارای برچسب که با <math>1/28 \text{ gpf}</math> یا کمتر شستشو می دهند، می تواند منجر به صرفه جویی قابل توجه آب شود.</li> </ul>                                                |
| ۱۳   | کنترل نشت- حمام<br>(Other_ Leaks)<br>(Control)          | $OLC=Q \times T \times N_1 \times N_2 \times 365$<br>$Q = \text{نرخ نشت اندازه گیری شده در دقیقه}$<br>$T = \text{مدت زمان (دقیقه) حمام کردن: } 7/8 \text{ دقیقه}$<br>$N_1 = \text{تعداد استفاده یک نفر در یک روز (۰/۷ مرتبه)}$<br>$N_2 = \text{تعداد نفرات ساکن}$<br>$365 = \text{تعداد روز در سال}$                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• صرفه جویی آب ناشی از کنترل نشت آب در یک حمام بر حسب گالن در سال محاسبه می شود.</li> <li>• برای کنترل نشت آب حمام و دوش که برای شیرآلات معمولی با نرخ نشتی بیشتر از <math>0/1 \text{ gpm}</math> رخ می دهد را باید با مدل های جدیدتری که نشت نمی کنند جایگزین کنند.</li> <li>• با استفاده از سطل یا کیسه ای می توان میزان نشت حمام و دوش را برای جمع دستی آب در زیر دهانه شیر هنگام دوش گرفتن تعیین کرد. برای اینکار باید آب جمع آوری شده در سطل یا کیسه را در مدت یک دقیقه اندازه گیری کرد.</li> </ul> |

### • سوددهی بر مبنای آب معدنی

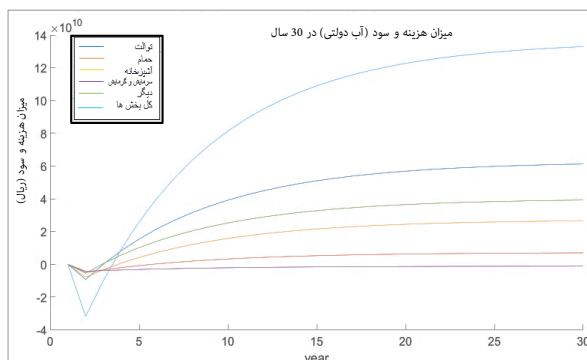
شکل (۳) نمودار سوددهی بر مبنای آب معدنی در بخش های مختلف: سرویس بهداشتی، حمام، آشپزخانه، سرمایش-گرمایش و سایر را در یک ساختمان مسکونی نشان می دهد. چنانچه در شکل (۳) مشاهده می شود، راهکارهای ارائه شده در بخش سرویس بهداشتی بیشترین سودآوری را به همراه داشته، در حالی که پژوهش ها نشان داده دو مصرف سرویس بهداشتی و حمام بیشترین مصرف کننده آب در بخش های مختلف ساختمانی هستند. پس از آن سایر مصارف که شامل توالت فرنگی، تی شورخانه، سایر شیرآلات و غیره می باشد راهکارهای مقرون به صرفه با سوددهی بالایی دارند. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان می دهد حتی اگر در چند سال نخست راهکارهای ارائه شده وارد مرحله سوددهی نشوند، پس از گذشت چند سال بخش ها با راهکارهای پیشنهادی وارد مرحله سوددهی می شوند. این راهکارها علاوه بر کاهش مصرف قابل توجهی آب، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه هستند. در شکل (۳) مجموع سوددهی کل بخش های ساختمان، نیز در صورت اعمال تمامی راهکارهای پیشنهادی بر مبنای قیمت آب معدنی نشان داده



شکل ۳- سوددهی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش های مختلف ساختمان بر مبنای قیمت آب معدنی



ارائه شده در بخش‌های مختلف بعد از گذشت یک بازه حدود ۳ الی ۴ ساله وارد مرحله سوددهی می‌شوند. برای بررسی بهتر این موضوع می‌توان در شکل (۵) نمودار کل بخش‌ها را در نظر گرفت. این شکل مقدار سوددهی به‌دست آمده از به‌کار بردن تمام راهکارها در تمام بخش‌های یک ساختمان بر مبنای آب دولتی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود با اعمال تمام راهکارها پس از گذشت یک دوره حدود ۳/۹ ساله می‌توان وارد مرحله سوددهی شد. نمودارهای نشان داده شده در این سه بخش (شکل‌های ۳ تا ۵) نشان می‌دهد که تحت هر شرایطی با روی آوردن به تکنولوژی‌های نوین با وجود هزینه اولیه بالایی که می‌توانند داشته باشند، علاوه بر کاهش قابل توجهی در مصرف آب، سودآوری اقتصادی قابل قبولی را برای مصرف‌کننده (شخصی، سازمانی و دولتی) و دولت می‌تواند به همراه داشته باشد.



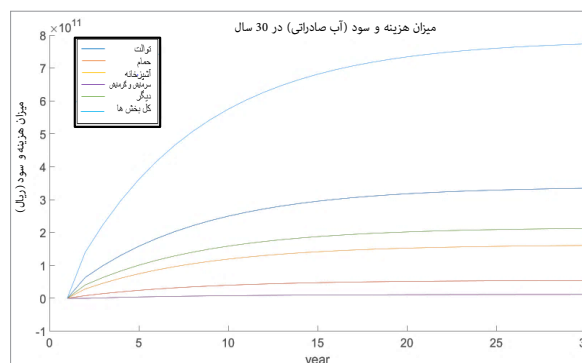
شکل ۵- سوددهی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان بر مبنای قیمت آب دولتی

#### • محاسبه و تحلیل دوره بازگشت سرمایه

همانطور که اشاره شد در زمینه صرفه‌جویی در مصرف آب، مردم برای اجرای راهکارها نگاه اقتصادی دارند، بنابراین باید راهکارهایی ارائه شود که از لحاظ اقتصادی برای مردم مقرون به‌صرفه باشد. هرچند دولت می‌تواند در اجرای این راهکارها با کمک به مردم در تامین اولیه تجهیزات پیشگام بوده و در نتیجه منجر به کاهش قابل توجهی در مصرف آب شده و خود را از هزینه‌های سرسام آور تامین آب به روش‌های مختلف و استفاده بیش از حد از منابع ارزشمند آب زیرزمینی رهایی دهد. ضمن آنکه با تغییر اندکی در بهاء آب دولتی در چند سال نخست می‌توان مقدار هزینه اولیه تجهیزات را جبران کرد. به‌رحال راهکارهای مدیریتی بسیاری برای اجرای این طرح وجود دارد که به شرایط و ضوابط تعریف شده در ارگان‌های دولتی بستگی دارد. به‌طور کلی چیزی که می‌تواند در اتخاذ این تصمیم برای دولت و مردم تاثیرگذار باشد، دانستن این موضوع است که در صورت هزینه کردن برای راهکارهای پیشنهادی در هر مجموعه یا ساختمان، پس از گذشت چند سال می‌توان هزینه تجهیزات اولیه را جبران کرد؟ برای پاسخ

#### • سوددهی بر مبنای آب صادراتی

یکی دیگر از قیمت‌هایی که بر مبنای آن می‌توان عملکرد راهکارهای پیشنهادی در صرفه‌جویی مصرف آب و در نتیجه برآورد مقدار سوددهی را ارزیابی کرد، قیمت آب صادراتی می‌باشد. شکل (۴) سوددهی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان بر مبنای قیمت آب صادراتی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، مانند نمودار نشان داده شده در شکل (۳) راهکارهای پیشنهاد شده در بخش‌های سرویس بهداشتی، سایر و آشپزخانه، بیشترین تاثیر را در کاهش مصرف آب و در نتیجه سوددهی بالاتر دارند. در شکل (۴) مجموع مقادیر سوددهی برای تمامی راهکارهای پیشنهادی در تمامی بخش‌های یک ساختمان مسکونی را نیز نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود، پس از گذشت یک دوره حدود ۲ سال و ۶ ماه با اعمال تمامی راهکارهای پیشنهادی می‌توان وارد مرحله سوددهی شود و از همه مهمتر گام بزرگی در صرفه‌جویی مصرف آب در بخش‌های مختلف یک ساختمان برداشت.

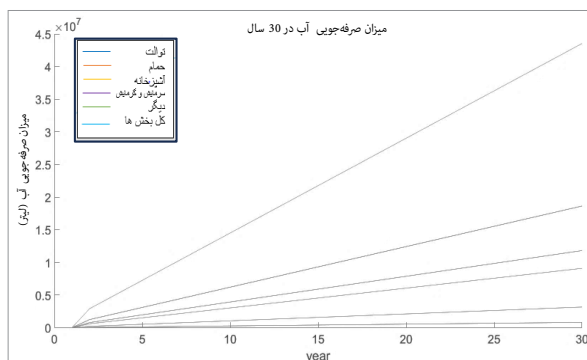


شکل ۴- سوددهی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان بر مبنای قیمت آب صادراتی

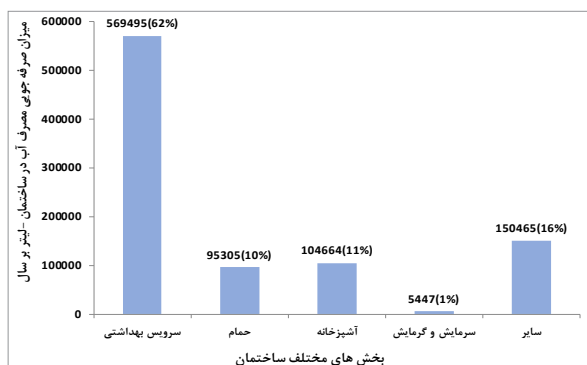
#### • سوددهی بر مبنای آب دولتی

مهمترین هدف دولت در تامین آب، رفع نیازهای مردم در کشور بوده، از این رو تصمیمات اتخاذی را بر مبنای همان بهاء آبی که مردم پرداخت می‌کنند لحاظ می‌کنند. مردم با نگاه بر همین قیمت آب هر تصمیمی در زمینه صرفه‌جویی مصرف آب پیشنهاد شود لحاظ می‌کنند زیرا نگاه مردم نگاه اقتصادی بوده و نگاه مدیریتی برای مصرف آب ندارند. راهکارهای پیشنهادی در مجموع باید منجر به سوددهی در یک بازه قابل قبول شود تا مردم و سازمان‌های مختلف تمایل به اجرای آن داشته باشند. تحلیل راهکارهای پیشنهادی بر مبنای قیمت دولتی می‌تواند در تحلیل راهکارها در بخش‌های مختلف بسیار مهم و تاثیرگذار باشد. شکل (۵) سوددهی راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان بر مبنای قیمت آب دولتی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود راهکارهای

قابل توجهی در این بخش می‌شود که برحسب درصد مقدار آب صرفه‌جویی شده حدود ۶۲ درصد می‌باشد. پس از آن بخش "سایر" (شامل: تولت فرنگی، تی‌شورخانه، سایر شیرآلات و کنترل نشت) با ۱۶ درصد و بخش آشپزخانه با ۱۱ درصد تاثیر قابل قبولی در کاهش مصرف آب دارند. پس از آن بخش حمام با ۱۰ درصد و در انتها بخش سرمایش و گرمایش با ۱ درصد قرار دارند.



شکل ۶- مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب در صورت اجرای راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان



شکل ۷- نمایی از میزان صرفه‌جویی مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان مسکونی (لیتر بر سال) براساس روابط استخراج شده جدول (۶)

## نتیجه‌گیری

مهمترین نتایج این پژوهش عبارتند از:  
- برای تحلیل اقتصادی میزان مصرف آب در ساختمان‌ها ابتدا یکسری پارامترها و شاخص‌های تاثیرگذار برای آن لحاظ شده، براساس آن روابطی استخراج شده و مقدار صرفه‌جویی آب در بخش‌ها و عامل‌های مختلف براساس راهکارهای کاهش مصرف آب در ساختمان مسکونی تعیین شد. پس از محاسبه مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب، آن را با معیار و مبنای مناسبی به واحد پولی تبدیل کرده تا باتوجه به هزینه‌ای که برای پیاده‌سازی راهکارها داده می‌شود، بتوان اقتصادی بودن راهکارها، مقدار سوددهی و دوره بازگشت سرمایه را محاسبه و راهکارهای بیان

به این سوال در جدول (۷) محاسبه دوره بازگشت سرمایه در صورت اجرای راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب بر مبنای هر سه قیمت آب معدنی، صادراتی و دولتی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، اجرای راهکارهای کاهش مصرف آب باتوجه به نرخ آب معدنی پس از گذشت ۲/۲ سال و با نرخ آب صادراتی پس از گذشت ۲/۷ سال وارد مرحله سوددهی می‌شوند. اما آنچه که می‌تواند مهم و تاثیرگذار باشد، بررسی سودآوری با نرخ آب معدنی می‌باشد. چنانچه مشاهده می‌شود، با در نظر گرفتن نرخ آب دولتی به‌طور کلی نهایتاً پس از گذشت ۳/۹ سال مجموعه یا ساختمان مورد نظر می‌تواند هزینه اولیه تجهیزات و اقدامات اولیه را جبران کرده و علاوه بر کاهش قابل توجهی در مصرف آب، وارد مرحله سودآوری شود. دوره بازگشت سرمایه در این تحقیق با نرخ بازده (ROR) ۱۵ درصد، تعداد سال مورد بررسی ۳۰ سال، ارزش خالص کنونی (NPW)، محاسبه شده است. این قسمت از پژوهش با کدنویسی در نرم‌افزار متلب انجام شد تا دوره بازگشت سرمایه استخراج شود.

جدول ۷- محاسبه دوره بازگشت سرمایه در صورت اجرای راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب (سال)

| بخش‌های مصرف آب                       | بر مبنای قیمت آب صادراتی | بر مبنای قیمت آب دولتی | بر مبنای قیمت آب معدنی |
|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| تولت (Toilet)                         | ۲                        | ۳/۵                    | ۲                      |
| حمام (Bathroom)                       | ۲/۵                      | ۳/۵                    | ۲                      |
| آشپزخانه (Kitchen)                    | ۲/۵                      | ۴                      | ۲                      |
| سرمایش و گرمایش (Cooling and heating) | ۲/۵                      | ۴/۵                    | ۳                      |
| سایر (Other)                          | ۴                        | ۴                      | ۲                      |
| همه (All) - میانگین همه بخش‌ها        | ۲/۷                      | ۳/۹                    | ۲/۲                    |

## • محاسبه مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب

پس از اتمام تحلیل اقتصادی باید به سوال «ارائه راهکارهای پیشنهادی برای کاهش مصرف آب تا چه اندازه می‌تواند موجب صرفه‌جویی در مصرف آب شود؟» پاسخ داده شود. برای پاسخ به این سوال نمودارهایی در شکل‌های (۶) و (۷) رسم شده که به تفکیک نشان می‌دهد، مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب در صورت اجرای راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان به چه میزان است و راهکارهای پیشنهادی در کدام بخش‌ها بیشترین تاثیر در کاهش مصرف آب را دارد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین تاثیر در بخش سرویس بهداشتی بوده که به نظر می‌رسد راهکارهای پیشنهادی باعث صرفه‌جویی

#### 4-Absolute Base Consumption

#### 5-Total dissolved solids

### منابع

پرواز، میثم. (۱۴۰۱). مروری بر بحران آب و اهمیت آب، کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در علوم مهندسی و علوم انسانی.

باکو، جمهوری آذربایجان. <https://civilica.com/doc/1562110>

پورحسین، مهرداد، و سعدی، سجاد. (۱۴۰۲). تحلیل اقتصادی منابع تأمین آب و رتبه‌بندی آن با رویکرد کاهش مصرف آب. اکوهیدرولوژی، ۱۰(۲)، ۲۴۲-۲۴۵. DOI: [10.22059/ije.2023.358230.1725](https://doi.org/10.22059/ije.2023.358230.1725)

شهریارپناه، رحیم. (۱۳۹۰). بررسی شیرآلات و تجهیزات کاهنده مصرف آب و تحقق در زمینه تأثیر آن جهت کاهش مصرف آب آشامیدنی. همایش ملی اصلاح الگوی تولید و مصرف. دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. <https://civilica.com/doc/126754>

فریدونی، مهدی، سعدی، سجاد، و غلامی، جواد. (۱۳۹۷). معرفی شاخص‌های کاهش الگوی مصرف آب در ساختمان‌های اداری، دوازدهمین همایش بین‌المللی انرژی، سازمان انرژی و محیط‌زیست. تهران. <https://civilica.com/doc/84837>

Athuraliya A., Roberts P., & Brown A. (2012). Residential Water Use Study. Yarra Valley Water, Mitcham, Australia. Australian Standards/New Zealand Standards (AS/NZS) 2016 Water Efficient Products – Rating and Labelling. Australia, AS/NZS 6400: 2016.

Beithou, N., Hilal, M. A., & Abu-Alshaikh, I. (2011). Thermal Analysis of Discrete Water supply in Domestic Hot Water Storage Tank. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 5(1), 29-32. ISSN 1995-6665.

Bennett, B., & Kruger, F. (2015). Forestry and water conservation in South Africa. ANU Press. World Forest History Series. South Africa. <http://doi.org/10.22459/FWC-SA.11.2015>

Biswas A., & Gangwar D. (2020). Studying the water crisis in Delhi due to rapid urbanisation and land use transformation. International Journal of Urban Sustainable Development. 199-213. doi: [10.1080/19463138.2020.1858423](https://doi.org/10.1080/19463138.2020.1858423)

Boretti A., & Rosa L. (2019). Reassessing the Projections of the World Water Development Report. NPJ Clean Water. npj Clean Water, 2(15), E3S Web of Conferences 489, 05002 (2024). DOI: [10.1038/s41545-019-0039-9](https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9)

Chebaane, M., & Hoffman, B. (2017). Office Buildings

شده را از لحاظ اقتصادی تحلیل کرد. در این پروژه تمام راهکارها بر مبنای سه قیمت آب معدنی، آب صادراتی و آب دولتی تحلیل و ارزیابی شد.

- تحلیل اقتصادی بر مبنای قیمت آب معدنی اینگونه بود که راهکارهای ارائه شده در بخش سرویس بهداشتی بیشترین سودآوری را به همراه داشته، درحالی‌که تحقیقات نشان داد سرویس بهداشتی و حمام بیشترین مصرف‌کننده آب در بخش‌های مختلف ساختمانی هستند. پس از آن بخش سایر که شامل توالت فرنگی، تی‌شورخانه، سایر شیرآلات و غیره می‌باشد، راهکارهای مقرون‌به‌صرفه سوددهی بالایی دارند. دوره بازگشت سرمایه در این بخش پس از گذشت ۲/۲ سال، می‌تواند هزینه اولیه را جبران کرده و پس از آن وارد مرحله سوددهی شوند.

- تحلیل اقتصادی بر مبنای قیمت آب صادراتی نشان داد راهکارهای پیشنهاد شده در بخش‌های سرویس بهداشتی، سایر و آشپزخانه، بیشترین تأثیر را در کاهش مصرف آب و در نتیجه سوددهی بالاتر دارند. دوره بازگشت سرمایه در این حالت پس از گذشت یک دوره ۲/۷ ساله با اعمال تمامی راهکارهای پیشنهادی می‌توان وارد مرحله سوددهی شود و از همه مهم‌تر گام بزرگی در صرفه‌جویی مصرف آب در بخش‌های مختلف یک ساختمان برداشت.

- تحلیل اقتصادی بر مبنای قیمت آب دولتی نشان داد راهکارهای ارائه شده در بخش‌های مختلف در تقسیم‌بندی ساختمانی در مجموع در یک بازه ۴ و ۳ ساله وارد مرحله سوددهی می‌شوند. دوره بازگشت سرمایه در این بخش پس از اعمال تمام راهکارها با گذشت یک دوره تقریباً ۳/۹ ساله می‌تواند وارد مرحله سوددهی شوند.

- در این پژوهش مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب در صورت اجرای راهکارهای پیشنهادی کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف ساختمان محاسبه شد که پیرو آن نشان داده شد که راهکارهای پیشنهادی در کدام بخش‌ها بیشترین تأثیر را در کاهش مصرف آب دارد. مطابق این بررسی بیشترین تأثیر در بخش سرویس بهداشتی بوده و به نظر می‌رسد راهکارهای پیشنهادی باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در این بخش می‌شود که این صرفه‌جویی آب برحسب درصد حدود ۶۲ درصد می‌باشد. پس از آن بخش "سایر" (شامل: تولت فرنگی، تی‌شورخانه، سایر شیرآلات و کنترل نشت) با ۱۶ درصد و بخش آشپزخانه با ۱۱ درصد تأثیر قابل قبولی در کاهش مصرف آب دارند. پس از آن بخش حمام با ۱۰ درصد و در انتها بخش سرمایش و گرمایش با ۱ درصد قرار دارند.

### پی‌نوشت‌ها

1-United Nations

2-Worldwide Developer Relations

3-litres per person capita per day

- search Square, 1-17. DOI: [10.21203/rs.3.rs-319748/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-319748/v1)
- Ritchie, H., & Roser, M. (2021). Water Use and Stress. Available online: <https://ourworldindata.org/water-use-stress> (accessed on 17 June 2021).
- Sadi, S., Gholami, J., Fereydooni, M., & Moshari, S. (2022). Development of Water Conservation Indicators for Office Buildings Using Delphi Method. *Jordan Journal of Mechanical & Industrial Engineering*, 16(2), 247 – 259. ISSN 1995-6665.
- Sahin, N. İ., & Manioğlu, G. (2019). Water conservation through rainwater harvesting using different building forms in different climatic regions. *Sustainable Cities and Society*, 44, 367-377. DOI: [10.1016/j.scs.2018.10.010](https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.010)
- Shikuku, J., Munala, G., Njuguna, M., Muhoro, T., Gremley, A., Nyakundi, V., & Ali, M. (2021). Cost-benefit analysis of water conservation systems installed in household buildings in Nairobi County. *Development in Practice*, 32(3), 1-16. DOI: [10.1080/09614524.2021.1937533](https://doi.org/10.1080/09614524.2021.1937533)
- Soares, A. E. P., Silva, J. K. D., Nunes, L. G. C. F., Rios Ribeiro, M. M., & Silva, S. R. D. (2021). Water conservation potential within higher education institutions: lessons from a Brazilian university. *Urban Water Journal*, 20(2), 1-9. DOI: [10.1080/1573062X.2021.2013903](https://doi.org/10.1080/1573062X.2021.2013903)
- Willis R. M., Stewart R. A., Panuwatwanich K., Williams P. R., & Hollingsworth A. L. (2011). Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption. *Journal of Environmental Management*, 92(8), 1996–2009. DOI: [10.1016/j.jenvman.2011.03.023](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.03.023)
- Zoghi Moghadam, B. Z. (2009). Introducing Water Efficiency of US Green Building Council's LEED Program to the Freshmen of the Technology College, Architecture and Construction Management Department, Farmingdale State College.
- Water Efficiency Guide. USAID water demand management program. USA.
- Chu, S. (2021). Study on Comprehensive Utilization of Water Resource Environment in Water-saving Design of Buildings. *Academic Journal of Environment & Earth Science*, 3(3), 47-50. doi: [10.25236/AJEE.2021.030310](https://doi.org/10.25236/AJEE.2021.030310)
- Ghisi, E., Rupp, R. F., & Triska, Y. (2014). Comparing indicators to rank strategies to save potable water in buildings. *Resources, conservation and recycling*, 87, 137-144. DOI: [10.1016/j.resconrec.2014.04.001](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.04.001)
- Hay E. R., Riemann K., & van Zyl G., Thompson I. (2012). Ensuring water supply for all towns and villages in the Eastern Cape and Western Cape Provinces of South Africa. *Water SA*, 38(3): 437–444. DOI: [10.4314/wsa.v38i3.9](https://doi.org/10.4314/wsa.v38i3.9)
- Hoffman, B. (2016). office buildings water efficiency guide. Mini City America. <https://csbe.squarespace.com>
- Koncagül E., Tran M., & Connor R. (2021). The United Nations World Water Development Report 2021. Valuing Water. ISBN :978-92-3-100434-6. 187 Page, Facts and Figures. UNESCO: Paris, France.
- Lauren Croucha, M., Erasmus Jacobs, H., Koncagül E., Tran M., & Connor R. (2021). The United Nations World Water Development Report 2021. Valuing Water. ISBN :978-92-3-100434-6. 187 Page, Facts and Figures. UNESCO: Paris, France.
- Speight, V. (2021). Defining domestic water consumption based on personal water use activities., *AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 70(7), 1002. doi: [10.2166/aqua.2021.05](https://doi.org/10.2166/aqua.2021.05)
- Marinoski, A. K., Rupp, R. F., & Ghisi, E. (2018). Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. *Journal of environmental management*, 206, 28-39. DOI: [10.1016/j.jenvman.2017.10.004](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.004)
- Proença, L. C., & Ghisi, E. (2010). Water end-uses in Brazilian office buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(8), 489-500. DOI: [10.1016/j.resconrec.2009.10.005](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.10.005)
- Praveena, S. M., & Themudu, S. (2021). Water Conservation Initiative in a Public School from Tropical Country: Performance and Sustainability Assessments. *Re-*



## Comprehensive Water Resources Management for a Sustainable Future Using the SWOT Model (Case Study: The Regional Water Company of North Khorasan)

R. Shirin Hesar<sup>1\*</sup>, A. Govahi<sup>2</sup>

1- Ph.D. in Curriculum Studies, lecturer in Bojnord University, Bojnord, Iran.  
2- MSc in Water Resources Management, Productivity and Management Systems  
Expert of North Khorasan Regional Water Company, Bojnord, Iran.

\*(Corresponding Author Email: shirinhesar.r@gmail.com)

Received: 09-07-2023

Revised: 28-09-2023

Accepted: 11-10-2023

Available Online: 24-02-2024

## مدیریت جامع منابع آب برای آینده‌ای پایدار با استفاده از مدل SWOT (مطالعه موردی: شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی)

راضیه شیرین حصار<sup>۱</sup>، امیر گواهی<sup>۲</sup>

۱- دکترای برنامه‌ریزی درسی، مدرس دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران. ۲- دانش‌آموخته  
کارشناس‌ارشد مدیریت منابع آب، کارشناس بهره‌وری و سیستم‌های مدیریتی شرکت آب  
منطقه‌ای خراسان شمالی، بجنورد، ایران.

\*(نویسنده مسئول، E-Mail: shirinhesar.r@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۹

### Abstract

In strategic planning, it is necessary to take steps with a strategic approach. One of the important steps in using water resource strategies is compiling them. There are different models for this purpose. The purpose of the current research is to identify the strengths, weaknesses, threats, and opportunities of the Regional Water Company of North Khorasan and to provide comprehensive management strategies for water resources with a sustainable development approach. By studying the internal and external environment, the most important strengths and weaknesses, opportunities, and threats were identified. Then, by SWOT analysis, IFE and EFE matrices were formulated. The findings showed that there are a total of 16 strengths and opportunities as advantages and 20 weaknesses and threats as limitations. After determining the final coefficient of the factors in the matrices, the WT strategy (defensive strategy) was determined as a reactive solution, and by using the QSPM method, the following strategies were implemented: implementation of drought adaptation programs with an emphasis on the Establishing a cooperative management model and water user association and increasing water productivity, providing new water resources by establishing water diplomacy for the maximum use of water resources shared with the country of Turkmenistan and other waters (formation waters, salt water, etc.), establishing an integrated and mechanized water resources management system in the province, implementing passive defense and crisis management strategies, preparing an action plan to deal with critical situations and cyber threats and unforeseen events, empowering human capital and defining sustainable financial and income resources were ranked.

**Keywords:** Sustainable Development, Strategic Planning, Comprehensive Water Resources Management, Productivity, SWOT Model.

### چکیده

در برنامه‌ریزی راهبردی، گام برداشتن با رویکرد راهبردی ضروری است. یکی از مراحل مهم در استفاده از راهبردهای مدیریت منابع آب، تعیین و تدوین آنها است. روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای این منظور وجود دارد که هر کدام مفهوم و بینش ویژه‌ای دارد. هدف از پژوهش حاضر شناسایی نقاط قوت، ضعف، تهدیدها و فرصت‌های شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی و ارائه راهبردهای مدیریت جامع منابع آب با رویکرد توسعه پایدار می‌باشد. در این راستا عوامل داخلی و خارجی موثر بر جایگاه شرکت مشخص شد. سپس در فرایند تحلیل SWOT ماتریس IFE و EFE تشکیل و تدوین راهبرد صورت پذیرفت. یافته‌های تحلیل SWOT نشان داد در مجموع ۱۶ نقطه قوت و فرصت به‌عنوان مزیت‌ها و ۲۰ نقطه ضعف و تهدید به‌عنوان محدودیت‌ها، وجود دارند. پس از تعیین ضریب نهایی عوامل در ماتریس‌ها، راهبرد WT (راهبرد تدافعی) به‌عنوان راه حل واکنشی تعیین شد و با استفاده از روش QSPM راهبردها به ترتیب: اجرای برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی با تاکید بر استقرار الگوی مدیریت مشارکتی و تشکیل‌های آب‌بران و افزایش بهره‌وری آب، تأمین منابع آبی جدید با استقرار دیپلماسی آب برای بهره‌برداری حداکثری از منابع آبی مشترک با کشور ترکمنستان و سایر آب‌ها (آب‌های سازندی، آب شور و...)، استقرار سامانه یکپارچه و مکانیزه مدیریت منابع آب استان، اجرای راهکارهای پدافند غیرعامل و مدیریت بحران برای شناسایی ریسک‌ها و تهیه برنامه عملیاتی اقدام برای مقابله با شرایط بحرانی و تهدیدها و حوادث پیش‌بینی‌نشده، توانمندسازی سرمایه انسانی، تعریف منابع مالی و درآمدی پایدار، رتبه‌بندی شدند.

**واژه‌های کلیدی:** توسعه پایدار، برنامه ریزی راهبردی، مدیریت جامع منابع آب، بهره‌وری، مدل SWOT.



امروزه حدود سه میلیارد نفر یعنی بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و تا سال ۲۰۵۰ پیش بینی می‌شود جمعیت شهری جهان به ۶ میلیارد نفر برسد. رشد شتابان شهرنشینی، هزینه‌ها و فوایدی دارد. تجمع این جمعیت بزرگ در شهرها در درجه اول، با کاهش جمعیت روستایی و با پیامدهایی برای رشد و توسعه اقتصادی همراه است. این امر همچنین تأثیرات قابل توجهی از دید محیط‌زیستی؛ شامل کاهش منابع طبیعی، وضع رو به وخامت اکوسیستم‌ها و تغییرات اقلیمی به‌عنوان معضلات جدی، بر توسعه پایدار می‌گذارد (Dixon و Dixon، ۲۰۱۱). در نشست سران در سال ۱۹۹۲ در ریو، "علت اصلی بدتر شدن شرایط محیط جهانی، الگوی مصرف و تولید ناپایدار منابع به ویژه در کشورهای صنعتی گزارش شد (Robins، ۱۹۹۹). منابع آبی به‌عنوان مهمترین فاکتور برای رشد اقتصادی، پیشرفت اجتماعی و یکپارچگی محیط‌زیستی محسوب می‌شوند (Sameh و همکاران، ۲۰۲۱). به‌گونه‌ای که مجمع جهانی اقتصاد در آخرین گزارش سالیانه خود بحران آب را به دلیل تأثیر بالقوه آن به‌عنوان بزرگترین خطر جهانی در نظر گرفته است (Hoekstra و Mekonnen، ۲۰۱۶). این خطر به ویژه در مناطق کم آب تهدید بزرگتری است زیرا در آینده نزدیک به دلیل تغییرات اقلیمی، مناطق خشک، خشک‌تر خواهند شد و کمبود آب در آینده نزدیک، به یک مساله بزرگ تبدیل خواهد شد (Dounghmanee، ۲۰۱۶). مدیریت صحیح از آب برای حفاظت از منابع آب در جهان ضروری است و باتوجه به نقش آب در فعالیت‌های انسانی و تأثیری که آب بر آنها دارد می‌توان دریافت بهترین گزینه برای حفاظت و پایداری منابع آبی در آینده، حفاظت و استفاده کارا از آب است، از این رو نیاز به یک برنامه‌ریزی آینده‌نگر، سازمانی و بلندمدت برای حفاظت از منابع آب ضروری به نظر می‌رسد (CEDPA، ۱۹۹۹).

کشور ایران در رده‌بندی انجام شده توسط موسسه بین‌المللی مدیریت آب، از جمله کشورهایی است که با وضعیت بحران آب مواجه است (فروزانی و کرمی، ۱۳۹۱). چرا که کشور ایران در کمربند خشک جهان واقع شده است و ۶۱ درصد از مساحت کشور در اقلیم خشک و فراخشک قرار دارد. این رقم در سطح دنیا ۶/۱۹ درصد است (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۳۹۷). به عبارت دیگر سهم مساحت مناطق خشک و فراخشک ایران ۱/۳ برابر میانگین درصد جهانی آن است. ایران با بیش از یک درصد جمعیت جهان تنها ۳۶ درصد منابع آب شیرین و تجدید شونده جهان را در اختیار دارد و به واسطه قرار گرفتن در ناحیه خشک و نیمه‌خشک جهان و به این دلیل که مجموعه‌ای از عوامل مختلف از جمله افزایش جمعیت و تغییرات اقلیمی با کمبود آب مواجه است (افروزه و همکاران، ۱۳۹۰). در داخل کشور طی سال‌های گذشته به دلایل متعددی مانند استحصال

بی‌رویه و غیر منطقی از منابع آب موجود به‌ویژه آب‌های زیرزمینی، بروز مشکلاتی مانند خشکسالی و عدم رعایت اصول حفاظت در بهره‌برداری از منابع آبی، برخی از منابع آبی کشور نابود شده و یا در معرض خطر نابودی قرار گرفته‌اند (بلالی و همکاران، ۱۳۸۹) و این مساله در حال تبدیل شدن به یک بحران ملی است و یکی از عوامل مؤثر بر بحران آب، مدیریت نابهینه منابع آب در کشور است (تاتار و همکاران، ۱۳۹۴). براین اساس، مدیریت منابع آب، در ایران اهمیت به سزایی دارد و از دیرباز، تأمین آب مورد نیاز، همواره یکی از مهمترین دغدغه‌های ایرانیان بوده است (فتح‌اللهی و همکاران، ۱۴۰۰). امروزه راهبردهای مدیریتی بسیار توسعه یافته، در بخش انرژی و آب ارائه شده‌اند که بر ساختار، مالکیت و راهبردهای نظارتی آن بخش تأثیر گذاشته است، یکی از این راهبردها، مدیریت راهبردی منابع آب است که نقش بلندمدتی در تخصیص منابع و تصمیم‌گیری دارد. رویکرد راهبردی مدیریت منابع آب بر اساس مجموع دیدگاه‌ها، سیاست‌ها، ساختارها و سیستم‌های موجود در این زمینه، از حوادث ناگهانی آینده و بروز شرایط بحرانی جلوگیری کرده و به توسعه پایدار منابع منجر می‌شود. توسعه پایدار یک قاعده اخلاقی و یک مفهوم علمی است که ارتباط نزدیکی به صلح، حقوق بشر، عدالت، محیط‌زیست، اقتصاد، سیاست و فرهنگ دارد. توسعه پایدار متکی به ارزش‌ها و محدود به یک جامعه خاص نیست و نشان دهنده اهداف توسعه نه فقط در سطح ملی است بلکه چشم‌اندازی جهانی دارد (UNESCO، ۲۰۰۵). توسعه پایدار به‌عنوان یک فرایند مستمر و هدایت شده از تغییرات اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی با هدف رفاه شهروندان در حال و آینده است. تحقق چنین توسعه‌ای نیازمند خلق یک اقتصاد و منابع کارآمد بر اساس یک جامعه عادلانه و منصفانه است که به محدودیت‌ها و ظرفیت‌های محیط‌زیستی احترام می‌گذارد (UNESCO، ۲۰۱۴).

منابع آبی به‌عنوان مهمترین فاکتور برای رشد و توسعه کشورها است، اما تنها ۲،۷٪ از آب جهانی به‌عنوان آب شیرین با کیفیت مناسب در دسترس است که از این مقدار تنها ۳۰٪ برای پاسخگویی به نیازهای انسان استفاده می‌شود (Ertek و Yilmaz، ۲۰۱۴). کمبود آب شیرین تهدیدی برای توسعه پایدار جامعه انسانی شده است. این خطر به‌ویژه در مناطق کم آب تهدید بزرگتری است زیرا در آینده نزدیک به دلیل تغییرات اقلیمی، مناطق خشک خشک‌تر خواهند شد. بنابراین یکی از چالش‌های عمده پیش روی کشورهای در حال توسعه جهان، تمرکز بر حفظ منابع آب، حفاظت و بهره‌برداری بهینه از آنها و پرداختن به زیرساخت‌های توسعه در این کشورها است.

بررسی عملکرد برنامه‌های پنج ساله توسعه در بسیاری از بخش‌های دولتی نشان می‌دهد عملیاتی نمودن بخش قابل ملاحظه‌ای از اهداف و برنامه‌ها با مشکلات جدی مواجه بوده است. از طرفی، بخش آب به دلیل چند وجهی بودن و در ارتباط بودن با ذی‌نفعان بی‌شمار و همچنین نقش سازنده و کلیدی خود در روند توسعه، همواره با

چالش‌ها و تناقض‌های بسیاری روبه‌رو است. تحلیل نقاط قوت و ضعف در کنار شناسایی و مطالعه فرصت‌ها و تهدیدها، دستیابی به اهداف مدیریت را تسهیل می‌کند، از سوی دیگر مسئولیت مدیریت آب به لحاظ اثرات آب بر امور اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و... در چارچوب برنامه‌های ملی و منطقه‌ای بر عهده شرکت‌های آب منطقه‌ای می‌باشد. بنابراین برای انجام یک برنامه‌ریزی مناسب برای عملکرد بهتر شرکت‌های آب منطقه‌ای در مدیریت پایدار منابع آبی استفاده از ساز و کارهای مناسب، نیازمند شناخت دقیق مسائل، مشکلات و چالش‌های آنها از یک طرف و نقاط قوت و فرصت‌های آنها از طرف دیگر است. به این صورت که باید عوامل داخلی و خارجی موثر بر جایگاه شرکت در محیط شامل چالش‌ها، عوامل کندکننده، ظرفیت‌های شتاب دهنده و فرصت‌ها را بررسی کرده و سپس راهبردهای بهینه را تعیین نمود. از بین مدل‌ها و روش‌های موجود برای مدیریت و برنامه‌ریزی راهبردی، ماتریس 'SWOT' روشی رایج برای شناسایی نقاط قوت و ضعف داخلی و فرصت‌ها و تهدیدهای خارجی که هر سازمان با آن روبه‌رو است، می‌باشد. بنابراین با استخراج و ارزیابی دقیق نقاط قوت، ضعف، تهدید و فرصت‌ها و تدوین راهبردها، تعامل مناسب میان منابع آب کشور و مصرف‌کنندگان تضمین می‌شود و موجب ارتقای شاخص‌های کلیدی مدیریت منابع آب می‌شود. مدیریت جامع منابع آب استان خراسان شمالی، نیازمند برنامه‌ای است که ضمن تطابق کامل با حوزه اختیارات شرکت آب منطقه‌ای، کلیه ظرفیت‌های فرابخشی را شناسایی نموده و برای استفاده کارآمد از آنها، سازماندهی‌های لازم را انجام دهد. پژوهش حاضر در تلاش برای شناسایی نقاط قوت، ضعف، تهدیدها و فرصت‌های شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی در راستای اهداف، وظایف سازمانی و ارائه راهبردهای مدیریت جامع منابع آب با رویکرد توسعه پایدار می‌باشد.

#### مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مدیریت و برنامه‌ریزی سطوح گوناگونی دارد که راهبرد عالی‌ترین سطح آن بوده و یک نگرش بلندمدت در تخصیص منابع و تصمیم‌گیری دارد. در مدیریت راهبردی لازم است با یک رویکرد راهبردی رو به جلو گام نهاد. یک رویکرد راهبردی به معنای عام عبارت از: تکیه بر عوامل مثبت به منظور توانمند شدن برای

رویارویی با عوامل منفی و برطرف کردن آنها می‌باشد (داوری، ۱۳۸۳). از گام‌های مهم در به کارگیری راهبردهای منابع آب، تعیین و تدوین آنها می‌باشد؛ روش‌ها و مدل‌های مختلفی به این منظور وجود دارد که هر یک از این مدل‌ها حاوی مفهوم و بینش منحصر به فرد است و از دستورالعمل مخصوصی پیروی می‌کند. در میان آنها، ماتریس SWOT که نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای سیستم را ارزیابی می‌کند متداول‌تر و مشهورتر است (Hill و Westbrook، ۱۹۹۷).

SWOT یک واژه اختصاری برای قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدها است. تجزیه و تحلیل SWOT یک ابزار متداول برای تحلیل محیط‌های داخلی و خارجی در یک زمان و تعیین یک رویکرد روشمند برای یک موقعیت تصمیم‌گیری است (Yuksel و Dagdeviren، ۲۰۰۷). استفاده از SWOT وسیع و گسترده است و چارچوبی مفهومی برای تحلیل سیستمی محسوب می‌شود که امکان بررسی عوامل و مقایسه تنگناها، تهدیدها، جنبه‌های آسیب‌زننده، فرصت‌ها، تقاضاها و موقعیت‌های محیط بیرونی را همراه با نقاط قوت و ضعف راهبرد به وجود می‌آورد (Sirvastava، ۲۰۰۵). در SWOT معیارها در چهار گروه بخش‌بندی می‌شوند که گروه‌های SWOT نامیده می‌شوند. این معیارها شامل: قوت‌ها، ضعف‌ها، تهدیدات و فرصت‌ها است. چنانچه این تجزیه و تحلیل به طور صحیح به کار برده شود می‌تواند مبنای مناسبی برای تنظیم راهبرد و تصمیم‌گیری فراهم نماید (Kajanus و همکاران، ۲۰۰۴). هدف استفاده از SWOT در راهبرد تصمیم‌گیری، انتخاب یا ایجاد و به کارگیری بهترین و مناسب‌ترین راهبرد باتوجه به معیارهای درونی و محیطی است (Kangas و همکاران، ۲۰۰۳). محیط درونی و بیرونی شامل تمام متغیرهای درونی و بیرونی سازمان می‌شود. تجزیه و تحلیل جامع محیطی در شناخت انواع نیروهای درونی و بیرونی تأثیرگذار بر روی سازمان مهم می‌باشد. این نیروها ممکن است محرک بالقوه‌ای برای موفقیت سازمان باشند و یا ممکن است محدودیت بالقوه‌ای را برای عملکرد و موفقیت سازمان ایجاد کنند (Houben و همکاران، ۱۹۹۹). بر مبنای اطلاعاتی که به طور منظم جمع‌آوری شده‌اند، یک ماتریس تشکیل می‌شود (Mirze و Ulgen، ۲۰۰۴) ترکیبات متفاوت چهار عامل در این ماتریس (Dincer، ۲۰۰۴؛ Houben و همکاران، ۱۹۹۹) برای تعیین راهبردهای یک سازمان در بلندمدت به کار می‌روند، که در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- ماتریس SWOT و نحوه تعیین راهبردها (David و همکاران، ۲۰۱۷)

| ماتریس SWOT | نقاط قوت S                                                                          | نقاط ضعف W                                                                     |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| فرصت‌ها O   | راهبردهای تهاجمی (SO): با بهره‌جستن از نقاط قوت درصدد بهره‌برداری از فرصت‌ها برآید. | راهبردهای محافظه‌کارانه (WO): با بهره‌جستن از فرصت‌ها نقاط ضعف را از بین ببرد. |
| تهدیدها T   | راهبردهای رقابتی (ST): جهت دوری از تهدیدها از نقاط قوت استفاده کند.                 | راهبردهای تدافعی (WT): نقاط ضعف را کاهش داده و از تهدیدها پرهیز کند.           |

براساس جدول (۱) با استفاده از این نوع ماتریس می‌توان به تدوین چهار نوع راهبرد اقدام نمود. این چهار نوع راهبرد شامل راهبردهای ST، WO، SO و WT می‌باشند. تدوین هر یک از انواع راهبردهای اشاره شده در این جدول از طریق مقایسه دو عامل داخلی و خارجی صورت می‌گیرد. در اجرای راهبردهای تهاجمی (SO) سازمان با استفاده از نقاط قوت داخلی به دنبال بهره‌برداری مؤثر و کارآمد از فرصت‌های خارجی می‌باشد. هدف راهبردهای بهبود مستمر (WO) این است که سازمان با بهره‌برداری از فرصت‌های موجود خارج از سازمان بکوشد تا نقاط ضعف داخلی را بهبود بخشد. سازمان‌ها با تدوین و اجرای راهبردهای تغییر تدریجی (ST) می‌کوشند با استفاده از نقاط قوت خود اثرهای تهدیدهای موجود در محیط خارج را به حداقل رسانده، یا آنها را از بین ببرند. سازمان‌هایی که راهبردهای تدافعی (WT) را به اجرا درمی‌آورند، حالت تدافعی به خود می‌گیرند و هدف آنها کم کردن نقاط ضعف داخلی و پرهیز از تهدیدهای ناشی از محیط خارجی است.

رویکرد SWOT به‌عنوان ابزاری برای تجزیه و تحلیل عملکردها و تدوین راهبردهای منابع آب توسط طراحان و ارزیابان راهبردی استفاده می‌شود. Kurttila و همکاران (۲۰۰۰) و Huayi Luo و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از رویکرد SWOT عوامل موثر بر راهبردهای منابع آبی که منجر به توسعه پایدار می‌شوند را بررسی کردند. بورقانی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان کاربرد روش SWOT در تحلیل نقاط قوت و ضعف، تهدیدها و فرصت‌های طرح ترویجی مصرف بهینه آب کشاورزی مطالعه (موردی: استان مرکزی) نشان دادند، نقش طرح مصرف بهینه آب در افزایش بهره‌وری، مهمترین نقطه قوت و عدم آموزش در رابطه با ابعاد مختلف بحران آب و راه‌های مقابله با آن از مهمترین نقاط ضعف این طرح به‌شمار می‌رود. همچنین استفاده از رسانه‌های ملی برای ترویج طرح و استفاده از مشوق‌های مالی مهمترین فرصت‌ها، فقر مالی و فرهنگی روستاییان و عدم وجود قوانین در رابطه با مصرف آب در کشاورزی از جمله مهمترین تهدیدهای طرح مصرف بهینه آب به‌شمار می‌رود. دامنی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از رویکرد SWOT به تحلیل راهبردی مدیریت منابع آب در شهرستان ایرانشهر پرداختند. بر اساس نتایج پژوهش، مَره نهایی عوامل درونی ۲٫۶۵ است که نشان دهنده قدرت نسبی در سراسر منطقه است و امتیاز نهایی عوامل خارجی ۲٫۱۸ است که نشان دهنده تهدید نسبی در سراسر منطقه است و در نتیجه مدیریت منابع آب در شهرستان ایرانشهر در یک وضعیت راهبرد رقابتی قرار دارد. Sadeghi و Khanzadeh (۲۰۲۰) با هدف ارائه برنامه راهبردی توسعه پایدار بخش کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه به روش SWOT با استفاده از ماتریس QSPM نشان دادند راهبرد اصلی توسعه بخش کشاورزی در این منطقه راهبرد دفاعی بوده است. همچنین اولویت اجرای برنامه‌های توسعه پایدار شامل مدیریت مصرف آب کشاورزی، توسعه مکانیکی در بخش کشاورزی، یکپارچه

سازی اراضی کشاورزی و مدیریت یکپارچه آنها و ارتقای سواد و دانش نیروی انسانی شاغل در بخش کشاورزی تنها راه برون رفت از بحران است. Mousavizadeh و همکاران (۲۰۱۵) برای استخراج راهبردهای مدیریت منابع آب، تکنیک تدوین راهبرد SWOT را بر گروه‌های حوضه آبخیز، استفاده کردند و راهبردهای WT (راهبرد دفاعی) به‌عنوان راهبرد اجرایی، شناسایی شد. Khalifipour و همکاران (۲۰۱۲) تحلیل SWOT را در رابطه با رویکرد مدیریت شهری برای شهر اصفهان انجام دادند. بر اساس یافته‌های پژوهش، موقعیت شهر، تاریخ و تمدن غنی، جاذبه‌های تاریخی گوناگون، وجود رودخانه زاینده‌رود در اصفهان از نقاط قوتی است که می‌تواند فرصت‌های بسیار خوبی را برای جاذبه‌های گردشگری ایجاد کند، اما میزان بالای گسترش شهری و توسعه صنعتی، افزایش تقاضای آب و کاهش کیفیت آب زاینده رود، آلودگی هوا و ترافیک سنگین، نرخ بالای مهاجرت به شهر، تغییر کاربری و پوشش منطقه را باید از نقاط ضعف و تهدید برنامه‌ریزی راهبردی محیط‌زیستی عنوان کردند. علیمردادی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از مدل SWOT، ۱۸ نقطه قوت و فرصت و ۱۷ نقطه ضعف و تهدید را در حوزه آبخیز دوبرج شناسایی کردند. دهقان و همکاران (۱۴۰۰) اثر طرح انتقال آب دریای عمان (خلیج فارس) بر اکوسیستم بیابانی استان یزد به کمک روش تحلیل SWOT را بررسی کردند که در این مطالعه با استفاده از تجزیه و تحلیل SWOT نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید موجود در زمینه انتقال آب در سه سطح سیستمی، سازمانی و فردی مورد بررسی قرار گرفت و بررسی‌ها نشان داد که استراتژی‌های طراحی شده در این سه سطح جزء استراتژی‌های تدافعی و محافظه کارانه می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد در سطح کلان، استراتژی پیشگیری از انجام فعالیت‌های آبخوا و جلوگیری از اقدامات موثر در گسترش بیابان با امتیازی معادل ۹/۸۳۵ دارای اولویت می‌باشد. بنابراین باید اقداماتی در ارتباط با تدوین قوانین حفاظتی آب در متن برنامه‌های پنج ساله ملی توسعه ای کشور عملیاتی گردد. در سطح فردی نیز استراتژی جلوگیری و پرهیز از نگرش‌های فردی و غیرتخصصی با امتیاز ۸/۹۹۷/۹ اولویت اول قرار می‌گیرد که این مشکل را می‌توان با برگزاری کارگاه‌ها و نشست‌های تخصصی بهبود بخشید. Takeleb و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با عنوان «راهبرد مدیریت منابع آب برای اهداف آب شهری در شهرداری دیلی»، اعلام کردند به دلیل مشکلات کم آبی در این شهر نیاز برنامه‌های راهبردی وجود دارد که بتوان از آنها به‌عنوان راهنما در بهبود سیستم آب استفاده کرد. هدف از این مطالعه تدوین برنامه راهبردی مدیریت منابع آب در دیلی بود. این فرآیند با شناسایی عوامل بیرونی و درونی با استفاده از روش SWOT آغاز شد که بر اساس نتایج به‌دست آمده در مجموع ۱۳ عامل داخلی و ۱۳ عامل خارجی شناسایی شد و استراتژی‌های ارائه شده شامل اولویت اجرا و افزایش ظرفیت توسعه زیرساخت‌های مدیریت منابع آب در دیلی و همچنین بهبود عملکرد سیستم تامین آب در تامین نیاز آب شهری عنوان شد. Zhao و همکاران (۲۰۱۶)

به منظور حفاظت کامل از منابع آب و کنترل آلودگی آب، یک مدل ارزیابی ریسک منابع آب بر اساس روش‌های وزن‌دهی ترکیبی ذهنی و عینی بررسی کردند. این مدل شاخص‌های ریسک در سیستم منابع آب را به عنوان هدف تحقیق در نظر گرفت و اطلاعات شاخص‌های مختلف را از زوایای مختلف استخراج کرد.

بر اساس پژوهش‌های انجام شده، این پژوهش سعی در شناسایی عوامل موثر بر مدیریت جامع منابع آب استان خراسان شمالی با رویکرد توسعه پایدار دارد. استان خراسان شمالی پتانسیل بالایی از نظر نیروی انسانی، توسعه اقتصادی، مناطق گردشگری، کشاورزی و صنعتی دارد و در این مقاله سعی بر این است نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای محیطی مشخص شده و سپس به تحلیل راهبردها و راهکارهای مناسب در ارتباط با مدیریت جامع منابع آب استان خراسان شمالی با رویکرد توسعه پایدار پرداخته شود.

## مواد و روش‌ها

طرح پژوهش کیفی و روش پژوهش مطالعه موردی کیفی می‌باشد. این پژوهش در دو مرحله انجام شد که در مرحله اول با برگزاری نشست‌های مشترک با کارشناسان، فهرستی از نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها شناسایی شد. مشارکت‌کنندگان بالقوه پژوهش شامل ۶۰ نفر از کارشناسان خبره بخش آب بودند، که آموزش مرتبط با بخش آب دیده‌اند و حداقل ۵ سال تجربه در صنعت آب را داشتند. با رویکرد نمونه‌گیری هدفمند، روش نمونه‌گیری شدت انتخاب شد و معیار کفایت تعداد مشارکت‌کنندگان، اشباع نظری بود. براین اساس پس از مصاحبه با ۲۳ نفر از کارشناسان خبره به اشباع نظری دست یافته شد و در مرحله دوم بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده، پرسشنامه طراحی و به منظور تعیین ضرایب و تعیین عوامل داخلی و خارجی، تحلیل‌های نمونه ارزیابی شد. در پرسشنامه ۳۶ گویه مرتبط با مدیریت مصرف آب مطرح شد و در اختیار مشارکت‌کنندگان قرار گرفت که براساس روش SWOT، نقاط مثبت، منفی، تهدیدها و فرصت‌ها مشخص شد. روایی پرسشنامه توسط کارشناسان آشنا با منطقه مورد مطالعه و اساتید صاحب نظر تأیید شد و ضریب آلفای کرونباخ به منظور تعیین پایایی محاسبه شد. باتوجه به اینکه مقدار ضریب آلفای کرونباخ برای پرسشنامه ۰/۷۱ بود، پایایی پرسشنامه

تأیید شد. سپس با استفاده از روش SWOT، ماتریس عوامل داخلی و خارجی تشکیل شد. با بررسی عوامل داخلی، مهمترین عوامل در برگزیده نقاط قوت و ضعف سازمان فهرست شد و به عوامل گفته شده از صفر تا یک، ضریبی اختصاص داده شد به طوری که مجموع ضرایب برابر یک شود. از طرفی به هر یک از عوامل، مقداری معادل با یک تا چهار به عنوان ارزش هر یک از عوامل داده شد، در بررسی عوامل خارجی، مهمترین عوامل در برگزیده تهدیدها و فرصت‌ها فهرست شده است. سپس به این عوامل از صفر تا یک ضریب داده شد به طوری که مجموع این ضرایب برابر یک شود. به هر یک از عوامل نمره یک تا چهار داده می‌شود و در مرحله بعد ماتریس داخلی-خارجی تشکیل می‌شود. در این ماتریس بر حسب نمرات نهایی به دست آمده از ماتریس ارزیابی عوامل داخلی و خارجی، موقعیت موضوع مورد بحث، از میان موقعیت‌های چهارگانه مشخص می‌شود. این موقعیت‌ها عبارت است از: تهاجمی، محافظه کارانه، تنوعی و تدافعی (شمشیری و سرابی، ۲۰۱۳) در مرحله بعد، امتیاز وزن دار کل ماتریس عوامل داخلی و امتیاز وزن دار کل ماتریس عوامل خارجی استخراج شد و روی محور مختصات مشخص شد. به این ترتیب موقعیت راهبردهایی که باید انتخاب شود مشخص می‌شود.

## نتایج و بحث

در مرحله اول مصاحبه شونده‌گان در رابطه با ۳۶ گویه دیدگاه‌ها و نقطه نظرات خود را ذکر کردند که در جدول (۲) ارائه شده است. پس از استخراج مفاهیم مصاحبه، این مضامین در ماتریس عوامل داخلی و خارجی ارائه شدند. ماتریس عوامل داخلی (IFE) با توجه به نقاط قوت و نقاط ضعف داخلی در جدول (۳) ارائه شده است. در این ماتریس ستون دوم نقاط ضعف و قوت، ستون سوم وزن، ستون چهارم امتیاز و ستون پنجم امتیاز وزن دار (حاصل ضرب ستون‌های سه و چهار) مشخص شده است. ماتریس عوامل خارجی (EFE) با توجه به فرصت‌ها و تهدیدهای شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی در جدول (۴) ارائه شده است. در این ماتریس ستون دوم فرصت‌ها و تهدیدها، ستون سوم وزن، ستون چهارم امتیاز و ستون پنجم امتیاز وزن دار (حاصل ضرب ستون‌های سه و چهار) مشخص شده است.

جدول ۲- مضامین مصاحبه

| مفاهیم پایه                | شواهد مصاحبه                                                                                              | کد مصاحبه شونده                  |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| کاهش منابع آبی             | منابع آبی استان در برخی نقاط مرزی به دلیل برداشت کشور ترکمنستان از منابع مشترک دچار کاهش شدید شده است.    | کد (۴)، کد (۷)، کد (۱۱)          |
| توان مدیریتی و نیروی متخصص | شرکت توان مدیریتی، کارشناسی، فنی و تخصصی نیروهای انسانی جوان، بومی و آشنا با اقلیم و طبیعت منطقه را دارد. | کد (۱)، کد (۱۷)، کد (۲۳)         |
| عدم انتقال دانش سازمانی    | ضعف انتقال دانش سازمانی به دلیل عدم توجه به جانشین پروری در سیستم منابع انسانی وجود دارد.                 | کد (۱)، کد (۹)، کد (۱۲)، کد (۲۲) |



| مفاهیم پایه                            | شواهد مصاحبه                                                                                                                                                                                           | کد مصاحبه شونده                           |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| امکان بهره‌برداری از منابع آب          | امکان بهره‌برداری از منابع آب شامل آب‌های سطحی (رودخانه اترک) و آب‌های زیرزمینی وجود دارد.                                                                                                             | کد (۵)، کد (۱۳)، کد (۱۹)، کد (۲۲)         |
| کاهش منابع آب تجدیدپذیر                | کاهش منابع آب تجدیدپذیر استان به دلیل وقوع خشکسالی‌های پیاپی و آلودگی منابع آب چشم‌گیر است.                                                                                                            | کد (۹)، کد (۱۰)، کد (۲۱)، کد (۲۳)         |
| وجود ارتباطات دوسویه                   | ارتباط دوسویه میان پرسنل و مدیران و مشارکت مدیران میانی در تصمیم‌گیری‌ها وجود دارد.                                                                                                                    | کد (۲)، کد (۲۱)                           |
| عدم تناسب منابع آبی                    | در اثر رشد جمعیت و تغییر سبک زندگی عدم تناسب منابع آبی استان با افزایش مصرف آب وجود دارد.                                                                                                              | کد (۴)، کد (۶)، کد (۱۴)، کد (۱۸)، کد (۲۰) |
| تجربه و تخصص                           | شرکت تجربه اجرای پروژه‌های بزرگ تأمین و انتقال آب را دارد.                                                                                                                                             | کد (۱۹)، کد (۲۳)                          |
| جذب اعتبارات                           | شرکت توان مضاعف در جذب اعتبارات در طرح‌های عمرانی را دارد.                                                                                                                                             | کد (۶)، کد (۱۰)، کد (۱۵)                  |
| افزایش بهره‌برداری از منابع آبی و خاکی | امکان شناسایی و افزایش بهره‌برداری از منابع آبی و خاکی نواحی مرزی وجود دارد.                                                                                                                           | کد (۱)، کد (۸)، کد (۲۳)                   |
| برداشت بی‌رویه از منابع آبی            | استفاده بی‌رویه از منابع آب به ویژه آب‌های زیرزمینی باعث کسری مخزن آبخوان‌های استان شده است.                                                                                                           | کد (۶)، کد (۸)، کد (۱۱)، کد (۱۴)          |
| تورم                                   | اعتبارات و تأخیر در تأمین آنها که ناشی از تورم و سایر چالش‌ها است.                                                                                                                                     | کد (۷)، کد (۱۵)، کد (۲۳)                  |
| تأمین زیرساخت‌ها                       | امکان برنامه‌ریزی مالی در تأمین زیرساخت‌ها و سخت‌افزار مورد نیاز در توسعه و تخصیص منابع آب وجود دارد.                                                                                                  | کد (۷)، کد (۸)، کد (۱۳)، کد (۲۱)          |
| عدم کفایت اعتبارات                     | عدم تحقق اهداف اولیه طرح‌ها با افزایش هزینه و زمان اجرا به دلیل عدم کفایت اعتبارات و تأخیر در تأمین آنها که ناشی از تورم و سایر چالش‌ها است.                                                           | کد (۲)، کد (۷)، کد (۱۳)، کد (۱۹)          |
| راندمان ضعیف                           | هدر رفت و راندمان ضعیف استفاده از آب به ویژه در بخش کشاورزی که در اثر فقدان الگوی کشت می‌باشد.                                                                                                         | کد (۳)، کد (۹)، کد (۲۲)                   |
| پایین بودن کارایی منابع انسانی         | کارایی پایین منابع انسانی ناشی که ناشی از عدم وجود قوانین تسهیل‌کننده و منابع کافی جهت ایجاد انگیزه و عدم تعلق سازمانی کافی در برخی کارکنان باتوجه به تنوع قراردادهای و عدم احساس امنیت شغلی، می‌باشد. | کد (۱۲)، کد (۱۷)، کد (۲۱)، کد (۲۲)        |
| عدم شناسایی فرصت‌ها                    | عدم شناسایی فرصت‌ها و منابع جدید کسب درآمد                                                                                                                                                             | کد (۵)، کد (۶)، کد (۹)، کد (۱۸)           |
| وقوع حوادث و مخاطرات                   | وقوع حوادث و مخاطرات مانند سیل، فرونشست زمین، هجوم آب شور در آبخوان‌های شیرین و ...                                                                                                                    | کد (۱۷)، کد (۲۱)، کد (۲۳)                 |
| پایین بودن سطح زیرساخت‌ها              | پایین بودن سطح زیرساخت‌ها جهت جلب مشارکت‌های مردمی در طرح‌های سرمایه‌گذاری                                                                                                                             | کد (۵)، کد (۱۲)، کد (۱۴)، کد (۲۳)         |
| مشارکت بخش خصوصی و تشکلهای آب‌بران     | وجود امکان واگذاری تصدی‌گری‌های حوزه آب با مشارکت بخش خصوصی و تشکلهای آب‌بران                                                                                                                          | کد (۷)، کد (۱۰)، کد (۱۸)                  |
| وجود ترجیحات بخشی                      | وجود انحراف از اولویت‌های تعیین شده در طرح‌های آمایش سرزمینی ناشی از ترجیحات بخشی                                                                                                                      | ک (۶)، کد (۱۳)، کد (۱۵)                   |
| دسترسی به پیمانکاران و مشاوران متخصص   | امکان دسترسی به پیمانکاران و مشاوران متخصص و حائز شرایط علمی و فنی در بخش آب                                                                                                                           | کد (۸)، کد (۱۱)، کد (۱۹)                  |
| عدم به‌روزرسانی قوانین                 | عدم به‌روزرسانی قوانین مرتبط با بخش آب و تعارض وظایف دستگاه‌ها و بلامتکلیفی طرح ساماندهی استخدام کارکنان دولت                                                                                          | کد (۵)، کد (۸)، کد (۱۳)                   |
| ضعف در تحلیل داده‌ها                   | ضعف در تحلیل داده‌ها به منظور بازنگری و بهبود فرآیندها                                                                                                                                                 | کد (۸)، کد (۱۱)، کد (۱۷)                  |
| ارتقا رضایتمندی                        | امکان ارتقاء رضایتمندی ذی‌نفعان به واسطه راندمان بالای زیرساخت‌های انتقال آب در شبکه‌های آبیاری مدرن و نیمه‌مدرن                                                                                       | کد (۱۴)، کد (۱۶)                          |
| احداث تاسیسات                          | امکان احداث تاسیسات آبی به دلیل قابلیت‌های خاص استان                                                                                                                                                   | کد (۱۳)، کد (۲۱)، کد (۲۳)                 |



| مفاهیم پایه                            | شواهد مصاحبه                                                                                                                                                             | کد مصاحبه شونده                  |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| امکان جایگزینی با منابع آب             | امکان بهره‌برداری از پساب استاندارد و آب‌های نامتعارف به منظور جایگزینی با منابع آب خام فعلی                                                                             | کد (۷)، کد (۹)، کد (۱۴)، کد (۱۹) |
| اطلاع‌رسانی ضعیف                       | زیرساخت ناکافی درخصوص اطلاع‌رسانی محدودیت منابع آب و استفاده بهینه از منابع آب مطابق با روش‌های جدید                                                                     | کد (۱)، کد (۱۳)، کد (۱۹)         |
| مدیریت چابک                            | امکان مدیریت چابک به دلیل وسعت محدود استان                                                                                                                               | کد (۳)، کد (۶)، کد (۸)، کد (۱۶)  |
| عدم استفاده از نظام پیشنهادات          | خروجی‌های نوآورانه ناکافی به دلیل عدم استفاده از مکانیزم نظام پیشنهادات                                                                                                  | کد (۳)، کد (۴)، کد (۱۶)، کد (۲۳) |
| وجود مشاوران متخصص                     | امکان اجرای طرح‌های زیرساختی به دلیل وجود مشاوران و پیمانکاران که تجربه و توان فنی و مهندسی بالا دارند.                                                                  | کد (۴)، کد (۱۵)، کد (۲۰)         |
| در نظر گرفتن نیاز مشتریان              | توان ایجاد بهبود در فرایندها و خدمات در راستای رضایت و ایجاد ارزش بیشتر متناسب با نیاز مشتریان (اشخاص حقیقی، حقوقی، واحدهای تولیدی و شرکت‌های تعاونی بهره‌برداران و ...) | کد (۵)، کد (۲۰)                  |
| واگذاری به بخش خصوصی                   | وجود راه‌های قانونی جهت واگذاری تأسیسات آبی به بخش خصوصی غیرمتخصص                                                                                                        | کد (۵)، کد (۹)، کد (۱۵)          |
| تعامل صنعت و دانشگاه                   | امکان ایجاد ارتباط بین صنعت و دانشگاه به دلیل وجود دانشگاه‌ها با رشته‌های مرتبط با بخش آب در استان                                                                       | کد (۲)، کد (۱۸)، کد (۲۰)         |
| عدم پایش سیلاب                         | عدم تکمیل ایستگاه‌های مورد نیاز پایش سیلاب در رودخانه‌ها                                                                                                                 | کد (۷)، کد (۱۴)، کد (۱۹)         |
| فقر پوشش گیاهی و رسوب‌گذاری مخازن سدها | فقر پوشش گیاهی در حوزه‌های بالادستی و نرخ رسوب‌گذاری بالا در مخازن سدها                                                                                                  | کد (۱)، کد (۶)، کد (۱۲)، کد (۱۸) |

جدول ۳- ماتریس ارزیابی عوامل داخلی IFE

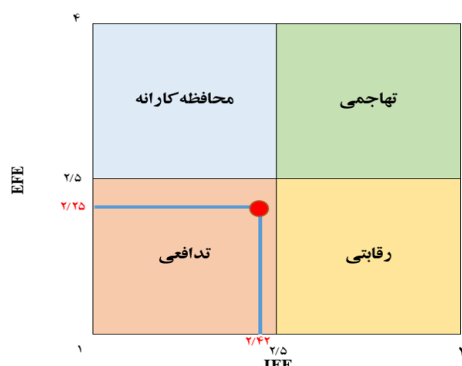
| ردیف         | نقاط قوت                                                                                                                                                                                 | وزن  | رتبه‌بندی | امتیاز نهایی |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------|--------------|
| S۱           | توان مدیریتی، کارشناسی، فنی و تخصصی نیروهای انسانی جوان، بومی و آشنا با اقلیم و طبیعت منطقه                                                                                              | ۰/۰۸ | ۳         | ۰/۲۴         |
| S۲           | دست‌رسی به پیمانکاران و مشاوران متخصص و حائز شرایط علمی و فنی در بخش آب                                                                                                                  | ۰/۰۳ | ۳         | ۰/۰۹         |
| S۳           | ارتباط دو سویه میان پرسنل و مدیران و مشارکت مدیران میانی در تصمیم‌گیری‌ها                                                                                                                | ۰/۰۴ | ۴         | ۰/۱۶         |
| S۴           | داشتن تجربه اجرای پروژه‌های بزرگ تأمین و انتقال آب                                                                                                                                       | ۰/۰۷ | ۳         | ۰/۲۱         |
| S۵           | توان مضاعف در جذب اعتبارات در طرح‌های عمرانی                                                                                                                                             | ۰/۰۷ | ۳         | ۰/۲۱         |
| S۶           | امکان برنامه‌ریزی مالی در تأمین زیرساخت‌ها و سخت‌افزار مورد نیاز در توسعه و تخصیص منابع آب                                                                                               | ۰/۱۳ | ۴         | ۰/۵۲         |
| S۷           | توان ایجاد بهبود در فرایندها و خدمات در راستای رضایت و ایجاد ارزش بیشتر متناسب با نیاز مشتریان (اشخاص حقیقی، حقوقی، واحدهای تولیدی و شرکت‌های تعاونی بهره‌برداران و ...)                 | ۰/۱  | ۳         | ۰/۳          |
| ردیف         | نقاط ضعف                                                                                                                                                                                 | وزن  | رتبه‌بندی | امتیاز نهایی |
| W۱           | خروجی‌های نوآورانه ناکافی به دلیل عدم استفاده از مکانیزم نظام پیشنهادات                                                                                                                  | ۰/۰۹ | ۱         | ۰/۰۹         |
| W۲           | ضعف انتقال دانش سازمانی به دلیل عدم توجه به جانشین‌پروری در سیستم منابع انسانی                                                                                                           | ۰/۰۹ | ۲         | ۰/۱۸         |
| W۳           | پایین بودن کارایی منابع انسانی ناشی از عدم وجود قوانین تسهیل‌کننده و منابع کافی جهت ایجاد انگیزه و عدم تعلق سازمانی کافی در برخی کارکنان با توجه به تنوع قراردادهای عدم احساس امنیت شغلی | ۰/۰۶ | ۱         | ۰/۰۶         |
| W۴           | پایین بودن سطح زیرساخت‌ها جهت جلب مشارکت‌های مردمی در طرح‌های سرمایه‌گذاری                                                                                                               | ۰/۰۷ | ۱         | ۰/۰۷         |
| W۵           | عدم شناسایی فرصت‌ها و منابع جدید کسب درآمد                                                                                                                                               | ۰/۰۵ | ۱         | ۰/۰۵         |
| W۶           | زیرساخت ناکافی درخصوص اطلاع‌رسانی محدودیت منابع آب و استفاده بهینه از منابع آب براساس با روش‌های جدید                                                                                    | ۰/۰۷ | ۲         | ۰/۱۴         |
| W۷           | ضعف در تحلیل داده‌ها به منظور بازنگری و بهبود فرآیندها                                                                                                                                   | ۰/۰۵ | ۲         | ۰/۱          |
| امتیاز نهایی |                                                                                                                                                                                          | ۱    |           | ۲/۴۲         |

جدول ۴- ماتریس ارزیابی عوامل خارجی EFE

| ردیف    | فرصت‌ها                                                                                                                                      | وزن  | رتبه‌بندی | امتیاز نهایی |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------|--------------|
| O۱      | امکان بهره‌برداری از منابع آب شامل آب‌های سطحی (رودخانه اترک) و آب‌های زیرزمینی                                                              | ۰/۰۹ | ۴         | ۰/۳۶         |
| O۲      | امکان شناسایی و افزایش بهره‌برداری از منابع آبی و خاکی نواحی مرزی                                                                            | ۰/۰۷ | ۴         | ۰/۲۸         |
| O۳      | امکان بهره‌برداری از پساب استاندارد و آب‌های نامتعارف به منظور جایگزینی با منابع آب خام فعلی                                                 | ۰/۰۵ | ۳         | ۰/۱۵         |
| O۴      | امکان مدیریت چابک به دلیل وسعت محدود استان                                                                                                   | ۰/۰۴ | ۳         | ۰/۱۲         |
| O۵      | امکان احداث تأسیسات آبی به دلیل قابلیت‌های خاص استان                                                                                         | ۰/۰۵ | ۴         | ۰/۲          |
| O۶      | امکان واگذاری تصدی‌گری‌های حوزه آب با مشارکت بخش خصوصی و تشکلهای آب‌بران                                                                     | ۰/۰۵ | ۳         | ۰/۱۵         |
| O۷      | امکان ایجاد ارتباط بین صنعت و دانشگاه به دلیل وجود دانشگاه‌ها با رشته‌های مرتبط با بخش آب در استان                                           | ۰/۰۴ | ۳         | ۰/۱۲         |
| O۸      | امکان ارتقاء رضایت‌مندی ذی‌نفعان به واسطه راندمان بالای زیرساخت‌های انتقال آب در شبکه‌های آبیاری مدرن و نیمه‌مدرن                            | ۰/۰۵ | ۳         | ۰/۱۵         |
| O۹      | امکان اجرای طرح‌های زیرساختی به دلیل وجود مشاوران و پیمانکاران با تجربه و توان فنی و مهندسی بالا                                             | ۰/۰۴ | ۳         | ۰/۱۲         |
| ردیف    | تهدیدها                                                                                                                                      | وزن  | رتبه‌بندی | امتیاز نهایی |
| T۱      | کاهش منابع آبی استان در برخی نقاط مرزی به دلیل برداشت کشور ترکمنستان از منابع مشترک                                                          | ۰/۰۸ | ۱         | ۰/۰۸         |
| T۲      | کاهش منابع آب تجدیدپذیر استان به دلیل وقوع خشکسالی‌های پیاپی و آلودگی منابع آب                                                               | ۰/۰۸ | ۱         | ۰/۰۸         |
| T۳      | عدم تناسب منابع آبی استان با افزایش مصرف آب در اثر رشد جمعیت و تغییر سبک زندگی                                                               | ۰/۰۴ | ۱         | ۰/۰۴         |
| T۴      | استفاده بی‌رویه از منابع آب به‌ویژه آب‌های زیرزمینی و کسری مخزن آبخوان‌های استان                                                             | ۰/۰۴ | ۱         | ۰/۰۴         |
| T۵      | عدم به‌روزرسانی قوانین مرتبط با بخش آب و تعارض وظایف دستگاه‌ها و بلاتکلیفی طرح ساماندهی استخدام کارکنان دولت                                 | ۰/۰۳ | ۱         | ۰/۰۳         |
| T۶      | انحراف از اولویت‌های تعیین شده در طرح‌های آمایش سرزمینی ناشی از ترجیحات بخشی                                                                 | ۰/۰۳ | ۱         | ۰/۰۳         |
| T۷      | وقوع حوادث و مخاطرات مانند سیل، فرونشست زمین، هجوم آب شور در آبخوان‌های شیرین و ...                                                          | ۰/۰۲ | ۱         | ۰/۰۲         |
| T۸      | عدم تحقق اهداف اولیه طرح‌ها با افزایش هزینه و زمان اجرا به دلیل عدم کفایت اعتبارات و تأخیر در تأمین آنها که ناشی از تورم و سایر چالش‌ها است. | ۰/۰۵ | ۱         | ۰/۰۵         |
| T۹      | عدم هماهنگی سازمان‌های مرتبط برای حفظ و حراست از منابع و تأسیسات آبی                                                                         | ۰/۰۲ | ۲         | ۰/۰۴         |
| T۱۰     | هدر رفت و راندمان ضعیف استفاده از آب به‌ویژه در بخش کشاورزی در اثر فقدان الگوی کشت                                                           | ۰/۰۳ | ۲         | ۰/۰۶         |
| T۱۱     | فقر پوشش گیاهی در حوزه‌های بالادستی و نرخ رسوب‌گذاری بالا در مخازن سدها                                                                      | ۰/۰۳ | ۲         | ۰/۰۶         |
| T۱۲     | عدم تکمیل ایستگاه‌های موردنیاز پایش سیلاب در رودخانه‌ها                                                                                      | ۰/۰۵ | ۱         | ۰/۰۵         |
| T۱۳     | وجود راه‌های قانونی جهت واگذاری تأسیسات آبی به بخش خصوصی غیرمتخصص                                                                            | ۰/۰۲ | ۱         | ۰/۰۲         |
| جمع کلی |                                                                                                                                              | ۱    |           | ۲/۲۵         |

ضعف راهبردهای شرکت در برخورد با عوامل خارجی است (David و همکاران، ۲۰۱۷) و بر اساس جدول (۲) اگر مجموع امتیاز نهایی عوامل داخلی ۱/۵ تا ۲/۵ باشد، بیانگر نقطه ضعف و اگر ۲/۵ تا ۳/۵ باشد به معنای قوت است. بنابراین عدد ۲/۴۲ در جدول به این معنی ضعف نسبی است و بر اساس جدول (۳) اگر مجموع امتیاز نهایی عوامل داخلی ۱/۵ تا ۲/۵ باشد، بیانگر تهدید و اگر ۲/۵ تا ۳/۵ باشد به معنای فرصت است. بنابراین امتیاز نهایی در جدول ۴ (۲/۲۵) به معنای تهدید نسبی است. بر اساس شکل (۱) راهبردهای به دست آمده از ترکیب نقاط ضعف و تهدیدات تشکیل دهنده راهبردهای دفاعی (گروه WT) با استفاده از ماتریس نشان داده

در مرحله بعد ماتریس داخلی-خارجی تشکیل شده است که این ماتریس از دو محور در بازه ۱ تا ۴ تشکیل شده است و موقعیت جمع امتیازهای نهایی IFE و EFE را نشان می‌دهد. محور عمودی مربوط به EFE و محور افقی مربوط به IFE می‌باشد، همانطور که مشخص است نقطه میانی هر محور ۲/۵ است. در محور افقی اعداد کمتر از ۲/۵ نشان می‌دهند شرکت از لحاظ عوامل داخلی ضعیف است درحالی‌که امتیاز بالای میانگین، از قوت شرکت در عوامل داخلی خبر می‌دهد. همچنین بر روی محور عمودی، امتیاز ۴ بیانگر این است که شرکت به خوبی می‌تواند از مزایای فرصت‌ها بهره‌برده و اثر سوء تهدیدات را دفع کند درحالی‌که امتیاز ۱ بیانگر



شکل ۱- ماتریس داخلی- خارجی

شده در شکل به دست آمده است. هدف این راهبردها کاهش نقاط ضعف داخلی و اجتناب از تهدیدات محیط خارجی است. در واقع هدف کلی راهبرد دفاع (حداقل)، که می‌توان آن را «راهبرد بقا» نیز نامید، کاهش نقاط ضعف سیستم به منظور کاهش و خنثی سازی تهدیدات است و حالت تدافعی آن سازمانی است که نقاط ضعف داخلی دارد و در محیط بیرونی و در موقعیتی پرخطر با تهدیدهای زیادی مواجه است. چنین سازمانی برای بقای خود مبارزه خواهد کرد و سازمان‌هایی که راهبرد تدافعی دارند به صورت قابل ملاحظه‌ای اختیارات مدیریتی را محدود می‌کنند تا ریسک خود را کاهش دهند.

جدول ۵- ماتریس SWOT

|              | (S): نقاط قوت |                                                                                                                                                      | (W): نقاط ضعف |                                                                                                                                                                 |
|--------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | تهاجمی        |                                                                                                                                                      | محافظة کارانه |                                                                                                                                                                 |
| (O): روشها   | SO۱           | بهره‌مندی از دانش تخصصی مدیران و استفاده از پیمانکاران بومی در اجرای پروژه‌های عمرانی                                                                | WO۱           | اطلاع‌رسانی در جهت بالا بردن سطح آگاهی مردم در خصوص مصرف بهینه آب                                                                                               |
|              | SO۲           | استفاده از سیاست‌های حمایتی دولت در حوزه آب و جلب رضایت حداکثری مشتریان و ذی‌نفعان سازمان در راستای پیشبرد اهداف سازمان                              | WO۲           | برگزاری دوره‌های آموزشی و تخصصی با استفاده از گروه‌های دانشگاهی آب جهت افزایش دانش تخصصی پرسنل و عاملین شرکت‌های تعاونی بهره‌بردار                              |
|              | SO۳           | ارتباط قوی و کارا بین مدیران با دانشگاه‌های استان جهت جانشین‌پروری و تربیت کارشناسان متخصص در حوزه آب                                                | WO۳           | استفاده از دانش روز و مشاوران متخصص برای بهره‌وری حداکثری منابع انسانی و تدوین فرایندهای روشمند در همه حوزه‌ها                                                  |
| (T): تهدیدها | رقابتی        |                                                                                                                                                      | تدافعی        |                                                                                                                                                                 |
|              | ST۱           | بهره‌گیری از کارشناسان حوزه محیط‌زیست، خاک‌شناسی و زمین‌شناسی جهت افزایش آمادگی مواجهه با حوادث غیر مترقبه                                           | WT۱           | تعریف منابع مالی و درآمدی ضابطه‌مند و پایدار                                                                                                                    |
|              |               |                                                                                                                                                      | WT۲           | تأمین منابع آبی جدید با استقرار دیپلماسی آب برای بهره‌برداری حداکثری از منابع آبی مشترک با کشور ترکمنستان و سایر آب‌ها (آب‌های سازندی، آب شور و...)             |
|              | ST۲           | تدوین برنامه مدون به‌منظور همکاری با سازمان‌های همکار در جهت افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی                                                       | WT۳           | اجرای برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی با تاکید بر استقرار الگوی مدیریت مشارکتی و تشکلهای آب‌بران و افزایش بهره‌وری آب                                              |
|              |               |                                                                                                                                                      | WT۴           | اجرای راهکارهای پدافند غیرعامل و مدیریت بحران در سازمان جهت شناسایی ریسک‌ها و تهیه طرح اقدام برای مقابله با شرایط بحرانی و تهدیدات سایبری و حوادث پیش‌بینی نشده |
|              | ST۳           | استفاده از توان مالی مناسب شرکت و برنامه‌ریزی‌های دقیق، جهت تهیه به موقع مصالح و تجهیزات پروژه‌ها در راستای اجتناب از تهدید افزایش قیمت مصالح عمرانی | WT۵           | توانمندسازی سرمایه انسانی                                                                                                                                       |
|              |               |                                                                                                                                                      | WT۶           | استقرار سامانه یکپارچه و مکانیزه مدیریت منابع آب استان                                                                                                          |

نسبی راهبردهای مورد نظر است (David و همکاران، ۲۰۱۷) در روش QSP، عوامل خارجی و داخلی به همراه راهبردهای مورد نظر در یک ماتریس قرار گرفته و امتیاز هر راهبرد تعیین می‌شود که در جدول (۶) نشان داده شده است. امتیاز راهبرد برای اولویت‌بندی در سطر آخر مشخص شده است.

براساس ماتریس QSPM، اولویت‌بندی راهبردهای متناسب با موقعیت سازمان (راهبردهای دفاعی) صورت می‌گیرد. بر اساس ارزیابی نمرات راهبرد دفاعی در ماتریس کمی برنامه‌ریزی راهبردی،

در مرحله بعد ماتریس SWOT برای راهبردهای مدیریت منابع آب ارائه می‌شود یکی دیگر از کاربردهای مدل SWOT این است که فرصت‌ها و تهدیدهای خارجی به طور روشمند با نقاط ضعف و قوت داخلی در یک رویکرد ساختار یافته مقایسه می‌شوند. در مرحله نهایی ماتریس برنامه‌ریزی راهبرد کمی (QSPM) برای اولویت‌بندی راهبردهای مدیریت منابع آب تشکیل شده است در این بخش با استفاده از روش QSPM راهبردهای منطقه تدافعی رتبه‌بندی می‌شوند. این روش تنها روش تحلیلی برای تعیین جذابیت

راهبرد اجرای برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی با تاکید بر استقرار الگوی مدیریت مشارکتی و تشکلهای آب‌بران و افزایش بهره‌وری آب، به‌عنوان بهترین راهبرد انتخاب شد. باتوجه به نتایج این پژوهش، راهکارهای مطلوب به ترتیب اولویت توصیه می‌شود (جدول ۷).

جدول ۶- ماتریس QSPM شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی

| WT۶      |    | WT۵  |    | WT۴  |    | WT۳  |    | WT۲  |    | WT۱  |    | وزن  | عامل |
|----------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|------|
| TAS      | AS | TAS  | AS | TAS  | AS | TAS  | AS | TAS  | AS | TAS  | AS |      |      |
| فرصت‌ها  |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |      |
| ۰/۲۷     | ۳  | ۰/۲۷ | ۳  | ۰/۳۶ | ۴  | ۰/۲۷ | ۳  | ۰/۰۹ | ۱  | ۰/۰۹ | ۱  | ۰/۰۹ | O۱   |
| ۰/۲۱     | ۳  | ۰/۲۸ | ۴  | ۰/۲۸ | ۴  | ۰/۲۱ | ۳  | ۰/۰۷ | ۱  | ۰/۲۱ | ۳  | ۰/۰۷ | O۲   |
| ۰/۱۵     | ۳  | ۰/۰۵ | ۱  | ۰/۲  | ۴  | ۰/۱۵ | ۳  | ۰/۲  | ۴  | ۰/۱  | ۲  | ۰/۰۵ | O۳   |
| ۰/۱۲     | ۳  | ۰/۱۲ | ۳  | ۰/۱۲ | ۳  | ۰/۱۲ | ۳  | ۰/۱۶ | ۴  | ۰/۰۴ | ۱  | ۰/۰۴ | O۴   |
| ۰/۱۵     | ۳  | ۰/۰۵ | ۱  | ۰/۱  | ۲  | ۰/۲  | ۴  | ۰/۱۵ | ۳  | ۰/۱  | ۲  | ۰/۰۵ | O۵   |
| ۰/۰۵     | ۱  | ۰/۰۵ | ۱  | ۰/۰۵ | ۱  | ۰/۱۵ | ۳  | ۰/۲  | ۴  | ۰/۰۵ | ۱  | ۰/۰۵ | O۶   |
| ۰/۰۴     | ۱  | ۰/۰۸ | ۲  | ۰/۰۸ | ۲  | ۰/۱۲ | ۳  | ۰/۰۴ | ۱  | ۰/۰۴ | ۱  | ۰/۰۴ | O۷   |
| ۰/۱      | ۲  | ۰/۱  | ۲  | ۰/۱۵ | ۳  | ۰/۲  | ۴  | ۰/۱۵ | ۳  | ۰/۰۵ | ۱  | ۰/۰۵ | O۸   |
| ۰/۱۲     | ۳  | ۰/۰۸ | ۲  | ۰/۰۴ | ۱  | ۰/۱۶ | ۴  | ۰/۰۸ | ۲  | ۰/۰۴ | ۱  | ۰/۰۴ | O۹   |
| تهدیدها  |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |      |
| ۰/۲۴     | ۳  | ۰/۳۲ | ۴  | ۰/۱۶ | ۲  | ۰/۲۴ | ۳  | ۰/۳۲ | ۴  | ۰/۳۲ | ۴  | ۰/۰۸ | T۱   |
| ۰/۳۲     | ۴  | ۰/۲۴ | ۳  | ۰/۱۶ | ۲  | ۰/۲۴ | ۳  | ۰/۳۲ | ۴  | ۰/۲۴ | ۳  | ۰/۰۸ | T۲   |
| ۰/۱۲     | ۳  | ۰/۱۲ | ۳  | ۰/۰۸ | ۲  | ۰/۱۲ | ۳  | ۰/۱۲ | ۳  | ۰/۱۲ | ۳  | ۰/۰۴ | T۳   |
| ۰/۱۶     | ۴  | ۰/۱۲ | ۳  | ۰/۰۸ | ۲  | ۰/۱۲ | ۳  | ۰/۱۶ | ۴  | ۰/۱۲ | ۳  | ۰/۰۴ | T۴   |
| ۰/۰۶     | ۲  | ۰/۰۶ | ۲  | ۰/۰۳ | ۱  | ۰/۰۹ | ۳  | ۰/۰۹ | ۳  | ۰/۰۶ | ۲  | ۰/۰۳ | T۵   |
| ۰/۰۶     | ۲  | ۰/۰۶ | ۲  | ۰/۰۳ | ۱  | ۰/۱۲ | ۴  | ۰/۰۹ | ۳  | ۰/۰۳ | ۱  | ۰/۰۳ | T۶   |
| ۰/۰۸     | ۴  | ۰/۰۲ | ۱  | ۰/۰۶ | ۳  | ۰/۰۶ | ۳  | ۰/۰۶ | ۳  | ۰/۰۸ | ۴  | ۰/۰۲ | T۷   |
| ۰/۱۵     | ۳  | ۰/۰۵ | ۱  | ۰/۱  | ۲  | ۰/۱  | ۲  | ۰/۱۵ | ۳  | ۰/۱۵ | ۳  | ۰/۰۵ | T۸   |
| ۰/۰۶     | ۳  | ۰/۰۴ | ۲  | ۰/۰۲ | ۱  | ۰/۰۲ | ۱  | ۰/۰۶ | ۳  | ۰/۰۶ | ۳  | ۰/۰۲ | T۹   |
| ۰/۰۶     | ۲  | ۰/۰۳ | ۱  | ۰/۱۲ | ۴  | ۰/۱۲ | ۴  | ۰/۱۲ | ۴  | ۰/۰۹ | ۳  | ۰/۰۳ | T۱۰  |
| ۰/۱۲     | ۴  | ۰/۰۳ | ۱  | ۰/۰۳ | ۱  | ۰/۰۶ | ۲  | ۰/۰۶ | ۲  | ۰/۰۹ | ۳  | ۰/۰۳ | T۱۱  |
| ۰/۱      | ۲  | ۰/۰۵ | ۱  | ۰/۲  | ۴  | ۰/۱  | ۲  | ۰/۱۵ | ۳  | ۰/۲  | ۴  | ۰/۰۵ | T۱۲  |
| ۰/۰۲     | ۱  | ۰/۰۲ | ۱  | ۰/۰۲ | ۱  | ۰/۰۲ | ۱  | ۰/۰۴ | ۲  | ۰/۰۲ | ۱  | ۰/۰۲ | T۱۳  |
| ۱        |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      | جمع  |
| نقاط قوت |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |      |
| ۰/۱۶     | ۲  | ۰/۲۴ | ۳  | ۰/۱۶ | ۲  | ۰/۲۴ | ۳  | ۰/۲۴ | ۳  | ۰/۱۶ | ۲  | ۰/۰۸ | S۱   |
| ۰/۰۶     | ۲  | ۰/۰۶ | ۲  | ۰/۰۶ | ۲  | ۰/۰۹ | ۳  | ۰/۰۳ | ۱  | ۰/۰۶ | ۲  | ۰/۰۳ | S۲   |
| ۰/۰۸     | ۲  | ۰/۰۸ | ۲  | ۰/۰۴ | ۱  | ۰/۰۸ | ۲  | ۰/۰۸ | ۲  | ۰/۰۸ | ۲  | ۰/۰۴ | S۳   |
| ۰/۲۱     | ۳  | ۰/۲۱ | ۳  | ۰/۲۱ | ۳  | ۰/۰۷ | ۱  | ۰/۰۷ | ۱  | ۰/۱۴ | ۲  | ۰/۰۷ | S۴   |
| ۰/۱۴     | ۲  | ۰/۱۴ | ۲  | ۰/۱۴ | ۲  | ۰/۰۷ | ۱  | ۰/۰۷ | ۱  | ۰/۱۴ | ۲  | ۰/۰۷ | S۵   |
| ۰/۳۹     | ۳  | ۰/۱۳ | ۱  | ۰/۲۶ | ۲  | ۰/۲۶ | ۲  | ۰/۵۲ | ۴  | ۰/۱۳ | ۱  | ۰/۱۳ | S۶   |
| ۰/۲      | ۲  | ۰/۲  | ۲  | ۰/۲  | ۲  | ۰/۳  | ۳  | ۰/۱  | ۱  | ۰/۱  | ۱  | ۰/۱  | SV   |

| WT۶      |    | WT۵  |    | WT۴  |    | WT۳  |    | WT۲  |    | WT۱  |    | وزن  | عامل |
|----------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|------|
| TAS      | AS | TAS  | AS | TAS  | AS | TAS  | AS | TAS  | AS | TAS  | AS |      |      |
| نقاط ضعف |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |      |
| ۰/۱۸     | ۲  | ۰/۱۸ | ۲  | ۰/۰۹ | ۱  | ۰/۱۸ | ۲  | ۰/۱۸ | ۲  | ۰/۰۹ | ۱  | ۰/۰۹ | W۱   |
| ۰/۰۹     | ۱  | ۰/۱۸ | ۲  | ۰/۰۹ | ۱  | ۰/۱۸ | ۲  | ۰/۱۸ | ۲  | ۰/۰۹ | ۱  | ۰/۰۹ | W۲   |
| ۰/۰۶     | ۱  | ۰/۰۶ | ۱  | ۰/۰۶ | ۱  | ۰/۰۶ | ۱  | ۰/۱۲ | ۲  | ۰/۱۲ | ۲  | ۰/۰۶ | W۳   |
| ۰/۱۴     | ۲  | ۰/۰۷ | ۱  | ۰/۰۷ | ۱  | ۰/۲۸ | ۴  | ۰/۰۷ | ۱  | ۰/۱۴ | ۲  | ۰/۰۷ | W۴   |
| ۰/۰۵     | ۱  | ۰/۰۵ | ۱  | ۰/۰۵ | ۱  | ۰/۱  | ۲  | ۰/۱۵ | ۳  | ۰/۰۵ | ۱  | ۰/۰۵ | W۵   |
| ۰/۰۷     | ۱  | ۰/۰۷ | ۱  | ۰/۲۱ | ۳  | ۰/۰۷ | ۱  | ۰/۱۴ | ۲  | ۰/۱۴ | ۲  | ۰/۰۷ | W۶   |
| ۰/۱۵     | ۳  | ۰/۱  | ۲  | ۰/۲  | ۴  | ۰/۱  | ۲  | ۰/۱۵ | ۳  | ۰/۲  | ۴  | ۰/۰۵ | W۷   |
| ۱        |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      | جمع  |
| ۴/۷۴     |    | ۴/۰۱ |    | ۴/۳۱ |    | ۵/۰۷ |    | ۴/۹۸ |    | ۳/۹۴ |    | STAS |      |

جدول ۷- اولویت‌بندی راهبردهای شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی بر اساس ماتریس QSPM

| اولویت | راهبرد                                                                                                                                                                           | اولویت جذابیت |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| ۱      | WT <sub>۳</sub> اجرای برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی با تاکید بر استقرار الگوی مدیریت مشارکتی و تشکلهای آب‌بران و افزایش بهره‌وری آب                                               | ۵/۰۷          |
| ۲      | WT <sub>۲</sub> تأمین منابع آبی جدید با استقرار دیپلماسی آب برای بهره‌برداری حداکثری از منابع آبی مشترک با کشور ترکمنستان و سایر آب‌ها (آب‌های سازندی، آب شور و ...)             | ۴/۹۸          |
| ۳      | WT <sub>۶</sub> استقرار سامانه یکپارچه و مکانیزه مدیریت منابع آب استان                                                                                                           | ۴/۷۴          |
| ۴      | WT <sub>۴</sub> اجرای راهکارهای پدافند غیرعامل و مدیریت بحران در سازمان برای شناسایی ریسک‌ها و تهیه طرح اقدام برای مقابله با شرایط بحرانی و تهدیدات سایبری و حوادث پیش‌بینی نشده | ۴/۳۱          |
| ۵      | WT <sub>۵</sub> توانمندسازی سرمایه انسانی                                                                                                                                        | ۴/۰۱          |
| ۶      | WT <sub>۱</sub> تعریف منابع مالی و درآمدی ضابطه‌مند و پایدار                                                                                                                     | ۳/۹۴          |

## بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش سعی شد بر پایه روش SWOT راهبردهای مدیریت جامع منابع آب شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی با رویکرد توسعه پایدار تدوین شود. نتایج نشان داد موقعیت راهبردی مدیریت جامع منابع آب شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی در موقعیت تدافعی WT قرار دارد. در اجرای راهبردهای WT سازمان، سعی در کاهش نقاط ضعف محیط داخلی و اجتناب از تهدیدات محیط خارجی را دارد. پس از رتبه‌بندی نقاط قوت شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی، نتایج نشان داد «امکان برنامه‌ریزی مالی در تأمین زیرساخت‌ها و سخت‌افزار مورد نیاز در توسعه و تخصیص منابع آب» بالاترین اولویت، و «توان ایجاد بهبود در فرایندها و خدمات در راستای رضایت و ایجاد ارزش بیشتر متناسب با نیاز مشتریان (اشخاص حقیقی، حقوقی، واحدهای تولیدی و شرکت‌های تعاونی بهره‌برداران و ...)» پایین‌ترین اولویت را در بین نقاط قوت تعیین شده دارند. همچنین در بین نقاط ضعف، «ضعف انتقال دانش سازمانی به دلیل

عدم توجه به جانشین‌پروری در سیستم منابع انسانی، زیرساخت ناکافی در خصوص اطلاع‌رسانی محدودیت منابع آب و استفاده بهینه از منابع آب براساس با روش‌های جدید، خروجی‌های نوآورانه ناکافی به دلیل عدم استفاده از مکانیزم نظام پیشنهادات» بالاترین اولویت و دو عامل «ضعف در تحلیل داده‌ها به‌منظور بازنگری و بهبود فرایندها» و «عدم شناسایی فرصت‌ها و منابع جدید کسب درآمد» پایین‌ترین اولویت را داشتند. بالاترین اولویت در بین فرصت‌ها، «امکان بهره‌برداری از منابع آب شامل آب‌های سطحی (رودخانه اترک) و آب‌های زیرزمینی، امکان شناسایی و افزایش بهره‌برداری از منابع آبی و خاکی نواحی مرزی» و پایین‌ترین اولویت به چهار عامل «امکان احداث تاسیسات آبی به دلیل قابلیت‌های خاص استان»، «امکان اجرای طرح‌های زیرساختی به دلیل وجود مشاوران و پیمانکاران دارای تجربه و توان فنی و مهندسی بالا»، «امکان ایجاد ارتباط بین صنعت و دانشگاه به دلیل وجود دانشگاه‌های دارای رشته‌های مرتبط با بخش آب در استان»، «امکان مدیریت چابک به دلیل وسعت محدود استان» اختصاص داشت. همچنین در



بین تهدیدها «کاهش منابع آب تجدیدپذیر استان به دلیل وقوع خشکسالی‌های پیاپی و آلودگی منابع آب»، «کاهش منابع آبی استان در برخی نقاط مرزی به دلیل برداشت کشور ترکمنستان از منابع مشترک» بالاترین اولویت و «وجود راه‌های قانونی برای واگذاری تأسیسات آبی به بخش خصوصی غیرمتخصص» و «وقوع حوادث و مخاطرات مانند سیل، فرونشست زمین، هجوم آب شور در آبخوان‌های شیرین و ...» پایین‌ترین اولویت را داشتند. نمره به‌دست آمده از ارزیابی عوامل داخلی مؤثر بر مدیریت جامع منابع آب شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی، ۲/۴۲ می‌باشد که نشان‌دهنده غلبه نقاط ضعف بر نقاط قوت موجود در محیط داخلی می‌باشد. همچنین به‌دست آمدن نمره نهایی ۲/۲۵ در ارزیابی عوامل خارجی مؤثر بر مدیریت جامع منابع آب شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی، نشان‌دهنده غلبه تهدیدها بر فرصت‌های موجود در محیط خارجی است. براین اساس، موقعیت راهبردی شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی با رویکرد توسعه پایدار در موقعیت WT قرار می‌گیرد و راهبردهای پیشنهادی برای این موقعیت «تدافعی» می‌باشند. در این پژوهش برای مدیریت جامع منابع آب با رویکرد توسعه پایدار راهبرد «اجرای برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی با تأکید بر استقرار الگوی مدیریت مشارکتی و ایجاد تشکلهای آب‌بران و افزایش بهره‌وری آب» پیشنهاد شد. مدیریت مشارکتی زمانی به‌وجود می‌آید که ذی‌نفعان بخشی از فرآیند تصمیم‌گیری باشند. جلب مشارکت عموم و به‌ویژه تشکلهای آب‌بران نیز در تمامی سطوح تصمیم‌گیری (خرد/ کلان) برای مدیریت آب از طریق ایجاد اعتمادسازی، فرهنگ‌سازی و در برخی موارد اصلاح قوانین امکان‌پذیر است. در همین راستا Mousavizadeh و همکاران (۲۰۱۵) معتقدند عملکرد بسیاری از طرح‌های مدیریت منابع آب ایران چندان رضایت‌بخش نیست و تدوین برنامه‌های مدیریت منابع آب با رویکرد مشارکتی برای ارتقا بهره‌وری موثر است. پژوهشگران معتقدند الگوی مدیریت مشارکتی و تشکلهای آب‌بران عامل مهمی در مدیریت منابع آب می‌باشد (Carrión و همکاران، ۲۰۲۱؛ Tavakoli و همکاران، ۲۰۲۲؛ Mousavizadeh و همکاران، ۲۰۱۵؛ Aydin و همکاران، ۲۰۱۴؛ Barikani و Oveisi، ۲۰۱۹؛ Nazari و همکاران، ۲۰۱۸). راهبرد دیگری که برای استقرار مدیریت جامع منابع آب پیشنهاد شد توانمندسازی سرمایه انسانی می‌باشد. آموزش بهره‌برداران و ظرفیت‌سازی و توانمندسازی منابع انسانی از طریق آموزش‌های مناسب از مولفه‌های اصلی مؤثر بر مدیریت پایدار منابع آب است. با آموزش، به ایجاد سواد آبی، گسترش روحیه مسئولیت‌پذیری و مطالبه‌گری، کمک خواهد شد، که این نتایج با پژوهش‌های Aydin و همکاران (۲۰۱۴)، Tavakoli و همکاران (۲۰۲۲)، Oveisi و Barikani (۲۰۱۹) و Nazari و همکاران (۲۰۱۸) همسو می‌باشد. استقرار سامانه یکپارچه و مکانیزه مدیریت منابع آب، تضمین‌کننده مدیریت منابع آب با در نظر گرفتن ابعاد اجتماعی، اقتصادی،

سیاسی و محیط‌زیستی است. پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب با مشارکت ذی‌نفعان کلیدی و با تأکید بر توالی و تناسب برنامه‌ها در دراز مدت می‌باشد. این راهبرد با نتایج پژوهش Nazari و همکاران (۲۰۱۸)، Oveisi و Barikani (۲۰۱۹)، Carrión و همکاران (۲۰۲۱)، Mousavizadeh و همکاران (۲۰۱۵)، Aydin و همکاران (۲۰۱۴) و Nasiri و همکاران (۲۰۲۳) همسو است. از دیگر راهبردهای مطرح شده در این مقاله، تعریف منابع مالی و درآمدی ضابطه‌مند و پایدار (علی‌مردی و همکاران، ۱۴۰۰) می‌باشد. پایداری در درآمدها مستلزم آن است که منابع مالی از یک استمرار نسبی برخوردار باشند و از سوی دیگر دستیابی به این منابع درآمدی نباید شرایط کیفی خدمات را در معرض تهدید و تخریب قرار دهد. تأمین منابع آبی جدید با استقرار دیپلماسی آب برای بهره‌برداری حداکثری از منابع آبی مشترک با کشور ترکمنستان و سایر آب‌ها (آب‌های سازندی، آب شور و ...)، اجرای راهکارهای پدافند غیرعامل و مدیریت بحران در سازمان برای شناسایی ریسک‌ها (Nazari و همکاران، ۲۰۱۸)، تهیه طرح اقدام برای مقابله با شرایط بحرانی و تهدیدات سایبری و حوادث پیش‌بینی نشده (Nazari و همکاران، ۲۰۱۸) می‌باشد. نتایج پژوهش‌های انجام شده در حوزه مدیریت جامع منابع آب نشان می‌دهد منابع آب در کنار عوامل ساختاری، محیط طبیعی-اکولوژیک، اجتماعی و فرهنگی، اقتصادی و سیاسی جایگاه ویژه‌ای در توسعه پایدار دارد، به‌همین دلیل ضرورت پیاده‌سازی مدیریت جامع منابع آب را در ایران آشکار ساخته و ضروری است مورد توجه سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان قرار گیرد.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1-Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
- 2-internal factor evaluation
- 3-External Fctor evaluation

#### منابع

افروزه، فاطمه، سیدموسوی، نعمت‌الله، و ترکمانی، جواد. (۱۳۹۰). بررسی نوسانات آب و بهینه کردن مصرف آن در بخش کشاورزی منطقه سیستان: کاربرد رهیافت فازی. مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۳(۱۱)، ۳۷-۵۹. Doi: [20.1001.1.20086407.1390.3.11.3.2](https://doi.org/10.1001.1.20086407.1390.3.11.3.2)

بلالی، حمید، خلیلیان، صادق، و احمدیان، مجید. (۱۳۸۹). بررسی نقش قیمت گذاری آب در بخش کشاورزی بر تعادل منابع آب زیرزمینی. اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۴(۲)، ۱۸۵-۱۹۴. Doi: [10.22067/JEAD2.V1389I2.3934](https://doi.org/10.22067/JEAD2.V1389I2.3934)

- تهران، تهران. <https://sid.ir/paper/845243/fa>
- Aydin, N. Y., Mays, L., & Schmitt, T. (2014). Technical and Environmental Sustainability Bakker, K. Water security: research challenges and opportunities. Science, 337(6097), 914–915.
- Carrión-Mero, P., Montalván, F.J., Morante-Carballo, F., Llor-Flores de Valgas, C., Apolo-Masache, B., Heredia, J. (2021). Flow and transport numerical model of a coastal aquifer based on the hydraulic importance of adyke and its impact on water quality: Manglaralto.
- CEDPA. (1999). Strategic Planning: An Inquiry Approach, the CEDPA Training Manual Series X. Washington, D.C.
- David, F. R., David, F. R., & David, M. E. (2017). Strategic management: concepts and cases: A competitive advantage approach. Pearson.
- Dincer, O. (2004). Strategy Management and Organization Policy. Istanbul: Beta Publication. İstanbul, Turkey.
- Dixon, M., & Dixon, N. F. (2011). On the psychology of military incompetence. Random House. Water, 13(4): 443, 1-18. Doi: [10.3390/su9091617](https://doi.org/10.3390/su9091617)
- Doungmanee, P. (2016). The nexus of agricultural water use and economic development level. Kasetsart Journal of Social Sciences, 37(1), 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.kjss.2016.01.008>
- Ertek, A., & Yilmaz, H. (2014). The agricultural perspective on water conservation in Turkey. Agricultural Water Management, 143, 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.009>
- Hill, T., & Westbrook, R. (1997). SWOT analysis: It's time for a product recall. Long Range Planning, 30, 46–52. [https://doi.org/10.1016/S0024-6301\(96\)00095-7](https://doi.org/10.1016/S0024-6301(96)00095-7)
- Houben, G., Lenie, K., & Vanhoof, K. (1999). A knowledge-based SWOT analysis system as an instrument for strategic planning in small and medium sized enterprises. Decision Support Systems, 26, 125–135. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(99\)00024-X](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(99)00024-X)
- Huayi, Luo., Jingcheng, Wang., Xiaocheng, L., & Jiayu, Zh. (2017). Layout optimization of large-scale urban International Journal of Innovation in Engineering, 1(4), 47–61.
- تاتار، مریم، و پاپ زن، عبدالحمید، و احمدوند، مصطفی. (۱۳۹۴). حکمروایی خوب کلید بحران مدیریت آب کشاورزی: الگوی مفهومی بر مبنای مدیریت تضاد. اولین کنگره سالانه جهان و بحران انرژی. شیراز. <https://civilica.com/doc/402885>
- دامنی، عبدالرزاق، و میرزاده، آرمینا، و سالارزهی، حبیب اله. (۱۳۹۴). تحلیل استراتژیک مدیریت منابع آب در شهرستان ایرانشهر با استفاده از مدل SWOT. کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری. استامبول، ترکیه. <https://civilica.com/doc/437179>
- داوری، دردانه. (۱۳۸۳). مدیریت استراتژیک برای سازمان‌های غیردولتی. انتشارات برگ زیتون. چاپ اول. تهران.
- دهقان چناری، محسن، برزگری بنادکوک، فاطمه، و صارمی نایینی، محمدعلی. (۱۴۰۰). بررسی اثر طرح انتقال آب دریای عمان (خلیج فارس) بر اکوسیستم بیابانی استان یزد به کمک روش تحلیل SWOT. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۶(۵۸)، ۱۲-۱. Doi: [20.1001.1.20089554.1401.16.58.3.4](https://doi.org/10.1001.1.20089554.1401.16.58.3.4)
- سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور. (۱۳۹۷). سیمای بیابان‌ها. بازدید ۱۳۹۷/۷/۹. <https://www.frw.ir/02/fa/stat-icpages/page.as.px?tid=1502>
- شیخ الاسلامی بورقانی، مریم، رضوانی، محمد، و شبیری، سید محمد. (۱۳۹۷). کاربرد روش SWOT در تحلیل نقاط قوت و ضعف، تهدیدها و فرصت‌های طرح ترویجی مصرف بهینه آب کشاورزی مطالعه (موردی: استان مرکزی). علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، ۴۱(۲)، ۴۴-۳۳. <https://sid.ir/paper/217221/fa>
- صادقی، حسین، و خانزاده، مینو. (۱۳۹۸). تحلیل راهبردی توسعه بخش کشاورزی به روش SWOT و ماتریس QSPM: مطالعه موردی حوزه آبریز دریاچه ارومیه. فصلنامه علمی اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۷(۴)، ۱۱۸-۸۷. Doi: [10.30490/AEAD.2020.252675.0](https://doi.org/10.30490/AEAD.2020.252675.0)
- علیمرادی، مهتاب، طالبی، علی، و کریمی، حاجی. (۱۴۰۰). تحلیل عوامل مؤثر بر آبخیزداری و ارائه راهبرد مدیریتی مناسب با استفاده از مدل SWOT (حوزه آبریز رودخانه دویرج). نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، ۳۵(۷)، ۱-۱۰.
- فتح‌اللهی، جمال، نجفی، سید محمدباقر، و فرهنگیان، شیما. (۱۴۰۰). شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر کم‌آبی در استان کرمانشاه با کمک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی. آب و توسعه پایدار، ۸(۴)، ۳۳-۴۲. Doi: [10.22067/JWSD.V8I4.2108.1073](https://doi.org/10.22067/JWSD.V8I4.2108.1073)
- فروزانی، معصومه، و کرمی، عزت‌اله. (۱۳۹۱). بررسی دانش کشاورزان گندمکار نسبت به مدیریت بهینه آب مورد مطالعه: شهرستان مرودشت استان فارس. کنگره علوم ترویج و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایران. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه

- ing global consumption patterns. *Journal of Sustainable Product Design*. Institute for Environment and Development, UK.
- Sameh, S. A., Rekha, B., Hasim, Kh., Hassan Ibrahim, M., & Sunil Kumar, Sh. (2021). Improved water resource management framework for water sustainability and security, *Environmental Research*, 201, 111527. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111527>
- Sirvastava, P. (2005). Based SWOT a hahgsistor successful municipal solid waste management in luc-know. *India Waste Management*, 25: 34-38. Doi: [10.1016/j.wasman.2004.08.010](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.08.010)
- Takeleb, A., Sujono, J., & Jayadi, R. (2020). Water resource management strategy for urban water purposes in Dili Municipality. Timor-Leste. *Aust. J. Water Resour*, 24, 199-208. <https://doi.org/10.1080/13241583.2020.17834>
- Tavakoli, M. S., Torabi, A., GhanavatiNejad, M., & Nayeri, S. (2022). School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran An integrated decision-making framework for selecting the best strategies of water resources management in pandemic emergencies. *International journal of science and technology*, 1-24. Doi: [10.24200/SCI.2023.57127.5077](https://doi.org/10.24200/SCI.2023.57127.5077)
- Ulgen, H., & Mirze, S. K. (2004). *Strategic Management*. Literatur Publication. Istanbul.
- UNESCO. (2005). sustainable development Published by UNESCO United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization7, place de Fontenoy, Paris, France.
- UNESCO. (2014). "Shaping the Future We Want" UN Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014), Published in 2014 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 7, place de Fontenoy, Paris, France.
- Yuksel, E., & Dagdeviren, M. (2007). Using the analytic network process in a SWOT analysis: A case study for a textile firm. *Information Science*, 177, 3364-3382. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2007.01.001>
- Zhao, J., Jin, J., Zhu, J., Xu, J., Hang, Q., Chen, Y., & Han, D. (2016). Water resources risk assessment model based on the subjective and objective combination weighting methods. *Water Resour. Manag*, 30, 3027-3042. Doi: [10.1007/s11269-016-1328-4](https://doi.org/10.1007/s11269-016-1328-4)
- Kajanus, M., Kangas, J., & Kurttila, M. (2004). The use of value focused thinking and the A'WOT hybrid method in tourism management. *Tourism Management*, 25, 499-506. [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(03\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(03)00120-1)
- Kangas, J., Kurttila, M., Kajanus, M., & Kangas, A. (2003). Evaluating the management strategies of a forestland estate-the S-O-S approach. *Journal of Environmental Management*, 69, 349-358. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2003.09.010>
- Khalifipour, H., Soffianaian, A., & Fakheran, S. (2012). Application of SWOT Analysis in Strategic Environmental Planning: A Case Study of Isfahan/ Iran. *International Conference on Applied Life Sciences*. Turkey.
- Kurttila, M., Pesonen, M., Kangas, J., & Kajanus, M. (2000). Utilizing the analytic hierarchy process (AHP) in SWOT analysis a hybrid method and its application to a forest- certification case. *Forest Policy and Economics*, 1(1), 41-52. [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(99\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(99)00004-0)
- Mekonnen, M.M., & Hoekstra, A.Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2), e1500323. <https://doi.org/10.1126/sciadv.150032>
- Mousavizadeh, R. Khorrami, S., & Bahreman, M. (2015). Presenting a Strategic Plan of Integrated Water Resources Management by using SWOT in Bushehr Province. *International Journal of Operations and Logistics Management*, 4(1), 27- 42.
- Nasiri Khiavi, A., Vafakhah, M., & Sadeghi, H. (2023). Comparative applicability of MCDM-SWOT based techniques for developing integrated watershed management framework. *Natural Resource Modeling*, 36(4), e12380. <https://doi.org/10.1111/nrm.12380>
- Nazari, B, Liaghat, A., Akbari, M. R., & Keshavarz, M. (2018). Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement. *Agricultural Water Management*, 208(30), 7-18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.003>
- Oveisi, E., & Barikani, M. (2019) .Development of Comprehensive Water Resources Management Plan using SWOT Model. *Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, 14(2), 541-553. Doi: [10.26782/jmcs.2019.04.00039](https://doi.org/10.26782/jmcs.2019.04.00039)
- Robins, N. (1999). Making sustainability bite: transform-

## Development of a Fuzzy Decision Support System for Irrigation Network Operation Under Water Scarcity Conditions

H. Hedayati<sup>1\*</sup>, A. Parvaresh Rizi<sup>2</sup>, A. Nazi Ghameshlou<sup>3</sup>

1, 2, 3- Ph.D. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

\*(Corresponding Author Email: Hoda.Hedayati@ut.ac.ir)

Received: 07-01-2024

Revised: 10-02-2024

Accepted: 25-02-2024

Available Online: 15-02-2024

## توسعه سامانه فازی پشتیبانی از تصمیم برای بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری در شرایط کم‌آبی

هدی هدایتی<sup>۱\*</sup>، عاطفه پرورش‌ریزی<sup>۲</sup>، آرزو نازی قمشلو<sup>۳</sup>

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

\*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Hoda.Hedayati@ut.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۶

### Abstract

Inefficient irrigation and drainage networks lead to an increase in the gap between water supply and demand, especially under water scarcity conditions. Proper operation of irrigation networks plays an important role in ensuring water supply and demand management. This requires the implementation of a comprehensive approach to making the right decisions at the time of operation. The design of this approach is complex due to the existence of conflicts of interest, uncertainty, and the intrinsic complexity of irrigation network operation topics. In Iran, current practices in irrigation network operations rely on personal experiences and lack comprehensive decision-making tools. This study proposes a fuzzy decision support system to address this challenge. The fuzzy decision support system leverages a fuzzy conceptual model to capture the inherent complexity and uncertainty of irrigation networks. It utilizes a systems approach to identify problems, propose key decision options, and evaluate various solutions. The study emphasizes the effectiveness of multi-criteria decision-making methods for handling complex irrigation network issues. An example of the results of structuring the decision-making process, along with the development of a hierarchical analysis method that is combined with fuzzy set theory (FAHP), is presented in this paper. This shows how the fuzzy decision support system structure can be applied in a real-world irrigation network. Implementing such a system in irrigation management companies is expected to improve water distribution indicators by enabling data-driven, informed decision-making.

**Keywords:** Decision Support System, Fuzzy Set Theory, Analytic hierarchy Process, Irrigation Network Operation, Water Scarcity.

### چکیده

ناکارآمدی شبکه‌های آبیاری، منجر به افزایش فاصله بین عرضه و تقاضای آب مورد نیاز، به ویژه در شرایط کم‌آبی می‌شود. تضمین تأمین آب و مدیریت تقاضا، مستلزم پیاده‌سازی رویکردی جامع برای تصمیم‌گیری درست در زمان بهره‌برداری است. به دلیل وجود تضاد در منافع، عدم قطعیت و پیچیدگی ذاتی موضوعات مرتبط با بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری، طراحی این رویکرد پیچیده است. با این حال، رویه‌های فعلی تصمیم‌گیری‌ها در ایران متکی به تجربیات شخصی و فاقد ابزارهای تصمیم‌گیری جامع است. در این پژوهش ویژگی‌های یک مدل مفهومی فازی برای توسعه یک سامانه تصمیم‌گیری، که بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری را پشتیبانی کند، تشریح و سپس ساختار این سامانه پشتیبان تصمیم پیشنهاد می‌شود. روش مورد نظر، شناسایی مشکلات، طرح گزینه‌های تصمیم‌گیری کلیدی با کاربرد رویکرد سیستمی در ریشه‌یابی مشکل و در نهایت بررسی راهکارهای مختلفی است که برای حل مشکل در شبکه‌های آبیاری پیشنهاد شده است. همچنین این پژوهش بر کاربرد موفقیت‌آمیز روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مواجهه با مسائل پیچیده در زمینه بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری تأکید می‌کند. نمونه‌ای از نتایج ساختاردهی فرآیند تصمیم‌گیری، همراه با توسعه یک روش تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی با تئوری مجموعه‌های فازی (FAHP)، در این مقاله ارائه شده است که نشان می‌دهد، چگونه این ساختار در یک شبکه آبیاری در حال بهره‌برداری، به کار می‌رود. پیش‌بینی می‌شود کاربرد چنین سامانه‌ای در شرکت‌های بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری می‌تواند به ارتقاء شاخص‌های توزیع آب کمک کند.

**واژه‌های کلیدی:** سامانه پشتیبانی از تصمیم، تئوری مجموعه فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی، بهره‌برداری در شبکه آبیاری، کم‌آبی.



پشتیبانی تصمیم با اهداف متفاوت پرداخته‌اند (Jiracheewee و همکاران، ۱۹۹۶؛ Mateos و همکاران، ۲۰۰۲؛ Wen و همکاران، ۲۰۰۷؛ Kumar و Singh، ۲۰۰۳؛ Mohamed و همکاران، ۲۰۱۰؛ Zhai و همکاران، ۲۰۲۰؛ Saggi و Jain، ۲۰۲۲). این پژوهش‌ها نشان دادند؛ ایجاد سامانه اطلاعاتی و پشتیبانی تصمیم‌گیری دستیابی به پایگاه داده و سازمان‌دهی اطلاعات را سرعت می‌بخشد و بستر مناسبی را برای برنامه‌ریزی الگوی کشت، اجرای زمان‌بندی آبیاری، تخصیص آب و تحویل آب فراهم می‌کند. این سیستم‌ها با ایجاد چارچوبی برای ادغام سیستم‌های مدیریت پایگاه داده، مدل‌های تحلیلی و گرافیک به بهبود فرآیند تصمیم‌گیری از مقیاس مزرعه تا سطح منطقه‌ای کمک می‌کند (Pandey و Mogarekar، ۲۰۲۲). روند تکامل کاربرد انواع سامانه‌های پشتیبانی از تصمیم، نشان داد این سامانه‌ها به‌عنوان ابزاری جامع که قادر به ادغام داده‌های مختلف و معیارهای متفاوت از هم هستند، می‌توانند هم‌راستا با فناوری‌های جدید، استفاده شوند (Mannina و همکاران، ۲۰۱۹). در دهه گذشته، کاربرد فناوری داده‌های بزرگ و فناوری اطلاعات در ارتقای مدیریت آب آبیاری مورد توجه قرار گرفته است. ایجاد چارچوب سیستم پشتیبانی تصمیم مبتنی بر داده‌های بزرگ نیز به یک موضوع جذاب و کاربردی در زمینه کشاورزی و آبیاری تبدیل شده است (Sohn و همکاران، ۲۰۲۰؛ Zhai و همکاران، ۲۰۲۰؛ Saggi و Jain، ۲۰۲۲). از سوی دیگر، هر کدام از مدل‌های تصمیم‌گیری، برای تمام مسائل آبیاری ایده‌آل و به اندازه کافی مفید نیستند (Car، ۲۰۱۸)؛ حتی گاهی مدل‌های تصمیم‌گیری نامتناسب با شرایط، منجر به شکست در مدیریت آبیاری شده‌اند (McCown، ۲۰۰۲). بنابراین، برای هر مورد به‌خصوص، مدل منحصر به فردی توسعه یافته است. اما باید ذکر کرد در پژوهش‌های انجام شده، کمتر مطالعه‌ای با هدف تصمیم‌گیری برای مسائل بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری روباز انجام شده است.

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، ابزار مناسبی برای توسعه سامانه‌های پشتیبانی از تصمیم در زمینه مدیریت آب کشاورزی است (Sarband و همکاران، ۲۰۲۰). فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از پرکاربردترین آنها، است. توماس ال ساعتی، با شبیه‌سازی فرآیند تحلیل ذهن انسان در مواجهه با تحلیل مسائل پیچیده، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی را معرفی نموده است (Saaty، ۱۹۸۰). وی کلیه محاسبات، قوانین و مقررات این فرآیند را بر پایه چهار اصل، شامل اصل شرط معکوسی، اصل همگنی، اصل وابستگی و اصل انتظارات، بنا نهاده است. روش تحلیل سلسله‌مراتبی، علاوه بر مبانی نظری قوی، دارای محاسبات ساده ریاضی برای توسعه و توانایی تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری برای تصمیم است. فرآیند تصمیم‌گیری در روش تحلیل سلسله‌مراتبی، طی چهار مرحله مدل‌سازی (تجزیه مسأله)، انجام مقایسات زوجی، محاسبه وزن نسبی و رتبه‌بندی گزینه‌ها انجام می‌شود (اصغری‌زاده و محمدی، ۱۴۰۰). روش

شبکه‌های آبیاری و زهکشی برای انتقال و توزیع آب به اراضی کشاورزی در نقاط مختلف جهان احداث شده و انتظار می‌رود که به افزایش کارایی آب و صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی کمک کنند. اما نتایج ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری نشان می‌دهد عملکرد بسیاری از آنها مطلوب نیست (Hashemy و Roozbahani، ۲۰۱۵؛ خدادادی و همکاران، ۱۴۰۰؛ Nam و همکاران، ۲۰۱۶). ازاین‌رو در سال‌های اخیر، توسعه روش‌هایی برای بررسی مشکلات بهره‌برداری، اولویت‌بندی راهکارهای سازه‌ای یا غیرسازه‌ای و ارزیابی گزینه‌های بهسازی و نوسازی مورد توجه پژوهشگران بوده است (رحمتی و منعم، ۱۴۰۰). ناکارآمدی شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌تواند با مطالعات امکان‌سنجی و طراحی پیش از ساخت مرتبط باشد. در موارد بسیاری، توسعه این شبکه‌ها بدون شناخت کافی از مسائل اجتماعی، وضعیت اقتصادی، اقلیم، چگونگی بهره‌برداری دانش و مهارت آب‌بران انجام یافته است. این امر منجر به افزایش رقابت و کشمکش میان بهره‌برداران، کاهش تمایل به تبعیت از الگوهای کشت در اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و در نهایت افزایش فاصله بین تأمین و تقاضای آب شده است. مدیریت شبکه‌های آبیاری مستلزم آگاهی از تمامی مسائل مرتبط با بهره‌برداری است. تصمیم‌گیرندگان برای بهبود وضعیت بهره‌برداری با مسائل متعدد از جمله تصمیم‌گیری در نحوه توزیع آب مورد تقاضا، تخصیص منابع مالی، مدرن‌سازی شبکه آبیاری و ارتقاء مشارکت و مهارت‌های آب‌بران روبه‌رو هستند. ازاین‌رو، برنامه بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی، در هر سال نیازمند بازنگری است (Burton، ۲۰۱۰). این موضوع به دلیل تعدد عوامل مؤثر در برنامه، کار پیچیده‌ای است و نیازمند استفاده از دانش، تجربه و ابزار مناسب است. به‌علت نبود ابزار جامع برای مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی اغلب تصمیم‌گیری‌های مدیریتی شبکه‌های آبیاری در ایران، بر اساس تجربه فردی و حتی سلیقه شخصی صورت می‌گیرد و این شیوه تصمیم‌گیری یکی از علل اصلی بروز مشکلات در مدیریت شبکه‌های آبیاری کشور است. توسعه برنامه‌های مبتنی بر رویکرد مدل‌سازی تحلیلی می‌تواند به حل مسائل پیچیده مدیریت آب آبیاری کمک کند (Jain و Saggi، ۲۰۲۲). اقدامات فردی و جمعی بر توزیع آب و عملکرد کل سیستم آبیاری تأثیر می‌گذارد. بنابراین توجه به رفتارهای فردی، کشاورزان را بر اساس در دسترس بودن آب و همچنین تعاملات و تصمیمات جمعی آنها در مورد توزیع آب، غیرخطی بودن و عدم قطعیت، در مدل‌سازی می‌تواند به شناسایی و ارزیابی استراتژی‌های مختلف مدیریت آب برای بهبود عدالت و کارایی توزیع آب کمک کند (Lang و Ertsen، ۲۰۲۳). برخی از پژوهش‌ها در زمینه مدیریت شبکه‌های آبیاری به توسعه سامانه‌های



تحلیل سلسله مراتبی اغلب برای وزندهی و اولویت بندی در مدل تصمیم گیری به ویژه در ارزیابی عملکرد شبکه های متعدد آبیاری استفاده شده است. با رواج روش های تصمیم گیری چند معیاره، فرآیندهای ارزیابی عملکرد شبکه های آبیاری نیز به مرور تکامل یافته است، اما کمتر به امکان کاربرد آن در تصمیم گیری جامع گرا برای مدیریت بهره برداری شبکه آبیاری پرداخته شده است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، با وجود کاربرد گسترده، به دلیل عدم توجه به اطمینان از درک صحیح مسأله یا خطا در قضاوت های ذهنی تصمیم گیرندگان، مورد انتقاد قرار گرفته است (Deng, 1999). از طرفی، اختصاص یک عدد کمی مطلق و قطعی برای ارزیابی معیارهایی که ذاتاً کیفی و ذهنی هستند، مشکل است. همچنین، گاهی در تشخیص مقدار دقیق داده، به علت هایی مانند نقص اطلاعات، ابهام وجود دارد و باعث سردرگمی در تصمیم گیری می شود (اصغری زاده و محمدی، 1400). این ویژگی در مدیریت بهره برداری شبکه های آبیاری بیشتر احساس می شود؛ برای مثال، مقدار عددی دبی جریان و دبی مورد نیاز در محاسبات، نتیجه ساده سازی و فرضیات فراوان در شرایط غیر واقعی است. همچنین، اهمیت و میزان اثرگذاری هر یک از عوامل بر وضعیت بهره برداری به دلیل هم پوشانی و عدم وجود مرز دقیق بین آنها با عدم قطعیت همراه است. این مسأله به ویژه در تعیین میزان اهمیت مولفه های اجتماعی و مدیریتی بیشتر مورد توجه است. توصیف هایی مانند عالی، خوب، متوسط و ضعیف مفاهیم نادقیقی هستند که معنایی خاص و میزان اهمیت را نشان می دهند. در چنین شرایطی که تحلیل مسائل با عدم قطعیت همراه است، محاسبات با روش های قطعی منجر به بروز خطاهای اجتناب ناپذیر نسبت به شرایط واقعی خواهد شد. با ایجاد انعطاف در محاسبات می توان تا حدود زیادی بی دقتی موجود در اطلاعات را برطرف نمود و نتایج را به شرایط واقعی نزدیکتر کرد. عدم قطعیت در پیشامدهایی مانند اطلاعاتی که از داده های هواشناسی به دست می آیند نیز مطرح است، اما چون این داده ها صرفاً ماهیت تصادفی دارند، در قالب نظریه احتمال بیان شدنی هستند. برای مواردی مانند نبود اطلاعات صحیح، عدم دقت در تنظیم سازه ها، تأثیر هیدرولیکی متقابل سازه ها و مسائلی از این دست، پیاده سازی تأثیر عدم قطعیت در محاسبات، با به کارگیری نظریه منطق فازی امکان پذیر است و نظریه احتمال در این زمینه کاربردی نیست؛ زیرا احتمال، یک مدل ریاضی برای پدیده های نامشخص و تصادفی است؛ اما منطق فازی مدلی بر مبنای ریاضیات است که برای تعیین حقیقت برای هر پدیده، از مقداری مشخص به عنوان میزان درستی استفاده می کند (طاهری، 1397). بنابراین، با توسعه یک سیستم پشتیبانی از تصمیم بر اساس منطق فازی، اشتباهات ناشی از تصمیم گیری های فردی نیز کاهش می یابد. همچنین، استفاده از منطق فازی برای تبدیل مقادیر توصیفی - بیانی به مقادیر عددی و اعمال میزان تأثیر شاخص ها بر روی هم، مناسب است. اثر ترکیبی منطق فازی و روند

تحلیل سلسله مراتبی، روشی انعطاف پذیر را برای دستیابی به قضاوت مناسب و محسوس و تصمیم گیری منطقی تر ارائه می دهد. در مقاله حاضر، یک مدل مفهومی برای توسعه سامانه پشتیبانی تصمیم برای مدیریت بهره برداری شبکه های آبیاری روباز طراحی و تشریح شده است که در تحقیقات قبلی کمتر به این کاربرد از سامانه های تصمیم پرداخته شده است. طراحی شیوه ارتباط میان مولفه های سامانه، اهمیت ویژه ای در توسعه سامانه دارد. مدل مفهومی ارائه شده، معماری ساختار سامانه توسعه یافته (DSS-MOIN)<sup>1</sup> را ترسیم می نماید. این سامانه، با قابلیت هایی مبتنی بر مدل های محاسباتی و روش های مدیریت دانش به فرآیند تصمیم گیری ساختار می بخشد و تحلیل مسأله بهره برداری را ساده می کند. همچنین، ایده کاربرد منطق فازی در توسعه سامانه پشتیبانی از تصمیم برای بهره برداری از شبکه های آبیاری ارائه شده و در ساختار مدل یاد شده به کار رفته است که از این نظر با پژوهش هایی که زمینه مشابه دارند، متمایز است. به عبارت دیگر، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای پیاده سازی رویکرد فازی و ساختاردهی به فرآیند بررسی وضعیت بهره برداری و تصمیم گیری پیشنهاد شد. تصمیم سازی بر مبنای قضاوت خبرگان با کاربردی از منطق فازی و تصمیم گیری توسط مدیر انجام می گیرد. پشتیبانی از فرآیند تصمیم گیری شامل دریافت نظرات کارشناسی، جمع بندی اطلاعات مورد نیاز تصمیم گیری، ارزیابی راهکارهای مختلف و در نهایت پردازش بازخورد هر تصمیم در وضعیت بهره برداری است که نتایج به کاربر ارائه می شود. در نتیجه کارشناسان و مدیران بهره برداری شبکه می توانند در هر زمانی با انجام تحلیل وضعیت، فرآیند بهره برداری را بهبود دهند یا در مواجهه با شرایط پیچیده تر و چالش هایی مانند عدم تناسب عرضه با تقاضای آب، نبود منابع مالی کافی، مشکلات اجتماعی و محدودیت های زمانی تصمیم های بهتری بگیرند.

### روش شناسی تحقیق

مبانی روش انجام فرآیند تصمیم گیری و پشتیبانی از آن توسط سامانه در این قسمت ارائه می شود. فرآیندهای طراحی شده، تنها در صورت امکان ارتباط با سایر اجزای سامانه، برای حل مسئله تصمیم گیری مفید خواهند بود. در طراحی فرآیندهای لازم برای پشتیبانی تصمیم، سه زیر سامانه در نظر گرفته شده است. زیر سامانه مدیریت اطلاعات که وظیفه دریافت نظرات کارشناسی، اطلاعات پایه منطقه و .. را خواهد داشت. زیر سامانه دانش مبنا، شامل مبانی محاسبات، مشکلات بهره برداری، راهکارهای مرسوم برای بهبود وضعیت بهره برداری و شاخص های ارزیابی و .. است. زیر سامانه پردازش که وظیفه پردازش و محاسبات را بر عهده دارد. این سه زیر سامانه که توسط رابط کاربری باهم در ارتباط خواهند بود، در قالب یک سامانه قرار گرفته و برای هر شبکه آبیاری قابل

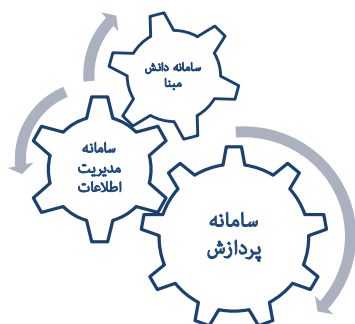
کاربرد هستند. در این مقاله صرفاً به فرآیند توسعه سامانه پشتیبانی از تصمیم فازی، برای بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری و نحوه طراحی این فرآیند پرداخته شده است و نتایج کاربرد موردی آن، مورد نظر این پژوهش نبوده است.

## ۲- کاربرد رویکرد سیستمی

همان‌طور که اشاره شد، تدوین الگوی جامع مدیریت بهره‌برداری یکی از اهداف این پژوهش بوده است. برای این منظور، شبکه آبیاری و زهکشی مشابه یک سیستم و فعالیت‌های مربوط به بهره‌برداری، فرآیند آن سیستم فرض شده است. در شکل (۱) یک نمونه از تعریف نهاده، ستاده، دستاورد، اثرات، بازخورد و فرآیند مربوط به توزیع آب در کانال درجه دو با رویکرد سیستمی نشان داده شده است. این رویکرد از این نظر مهم است که روابط بین عوامل موثر بر مدیریت مطلوب بهره‌برداری شبکه آبیاری را مشخص می‌کند و علت ایجاد مشکلات در شبکه‌های آبیاری را ردیابی می‌نماید. همچنین، این رویکرد در شناسایی مسیرهای دستیابی به اهداف طرح، یاری‌کننده است.



شکل ۱- نمونه‌ای از رویکرد سیستمی مولفه‌های مدیریت بهره‌برداری شبکه آبیاری



شکل ۲- ساختار عمومی سامانه‌های پشتیبانی از تصمیم

## ۲-۳- روش تصمیم‌گیری با تحلیل چندمعیاره

بررسی وضعیت بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری و تصمیم‌گیری در خصوص چگونگی بهبود آن، با وجود منافع متضاد و حضور معیارهای متناقض، پیچیده است. برای تحلیل این مسائل در سامانه تصمیم‌یار مورد توسعه، روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) در نظر گرفته شد. زیرا از یک سو موضوع مدیریت آبیاری قابلیت شکل‌گیری در ساختار سلسله‌مراتبی برای تجزیه مسائل با ابعاد کوچکتر را دارد و از سوی دیگر کاربرد رویکرد فازی برای جبران پیچیدگی مربوط به عدم قطعیت<sup>۲</sup> اطلاعات بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری مفید است.

## ۱- روش اکتساب دانش و شناخت مسأله

در این پژوهش همه عوامل مؤثر بر بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری با استناد به مراجع موجود، گزارش‌های علمی و شواهد میدانی شناسایی شد و مدل مفهومی رویکرد جامع مدیریت بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری تشکیل شد. شناسایی مسائل بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری در ایران و دسته‌بندی مشکلات ناشی از آن بر اساس نتایج بیش از ۳۰ پایان‌نامه تحصیلات تکمیلی داخلی (طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸) و مرور مقالات علمی-پژوهشی (طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۴۰۱) انجام شد. مولفه‌های کلیدی در مدیریت بهره‌برداری نیز براساس نشریات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، نشریات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران و کتب تخصصی در

## ۳- تصمیم‌گیری ساختار یافته

تصمیم‌گیری ساختار یافته، رویکردی نوین برای حل مسائل بدون ساختار و مشکل پیچیدگی تصمیم‌گیری در بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی است. با استفاده از مبانی روش‌های ساختاردهی به فرآیند تصمیم‌گیری اقدام به توسعه سامانه پشتیبانی تصمیم برای موضوع بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری شد. مطالبی که در این قسمت به آن پرداخته خواهد شد، روش ایجاد ساختار تصمیم‌گیری و مبانی فرآیند تصمیم‌گیری و پشتیبانی از آن توسط سامانه مورد توسعه است.

## ۱-۳- ایجاد ساختار برای پشتیبانی از تصمیم

به‌منظور پشتیبانی مناسب از تصمیم‌گیری، ساختار سامانه مورد توسعه، با تعامل سامانه‌های مدیریت اطلاعات، مدیریت دانش، پردازش و رابط کاربری تشکیل می‌شود. رابط کاربری پیام‌های دریافتی از کاربر را پشتیبانی می‌کند و پیام‌ها و نتایج خروجی را به کاربر ارائه می‌دهد. مدیریت دانش شامل مفاهیم، مبانی محاسباتی و دانش تجربی است که درون سامانه پشتیبانی از تصمیم وجود خواهد داشت. بخش پردازش جزء فعال و به‌عنوان موتور نرم‌افزاری سامانه پشتیبانی از تصمیم است و به شناخت مسأله و تحلیل آن و تولید دانش خواهد پرداخت. شکل (۲) چگونگی ارتباط این بخش‌ها را با یکدیگر نشان می‌دهد.

در خصوص کاربرد اصول منطق فازی در روش تحلیل سلسله مراتبی روش‌های متعددی ارائه شده است. تعداد محاسبات و پیچیدگی مراحل در بسیاری از روش‌ها باعث شده که چندان مورد استفاده قرار نگیرند. در میان رویکردهای متعددی که برای تحلیل سلسله‌مراتبی فازی ارائه شده است، رویکرد تحلیل توسعه‌ای<sup>۲</sup> چانگ (Chang, ۱۹۹۶) بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است (Zyoud و همکاران، ۲۰۱۸؛ Kaya و همکاران، ۲۰۱۹). در ادامه فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی با رویکرد توسعه‌ای چانگ در قالب مراحل زیر تشریح می‌شود:

**- تجزیه مسأله:** برای ایجاد ساختار رده‌ای، مسأله تصمیم‌گیری، در سطوح مجزا به ترتیب از بالاترین سطح هدف اصلی تصمیم‌گیری (بررسی وضعیت بهره‌برداری شبکه آبیاری) تا پایین‌ترین سطح گزینه‌های تصمیم شامل انشعابات شبکه، مشکلات، راهکارهای بهبود وضعیت بهره‌برداری تنظیم و ارتباط هر جزء با سایر اجزاء در این ساختار مشخص می‌شود. در سطح دوم، معیارهای اصلی تصمیم‌گیری پنج گروه مدیریتی، فنی، اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی و پس از آن معیارهای فرعی (از جمله کیفیت بودجه (اقتصادی)، کیفیت آب تحویل شده (مدیریتی)، اثربخشی سازه‌ها (فنی) و سایر موارد، در سطوح میانی این ساختار قرار خواهند گرفت.

**- مقایسات زوجی:** در این مرحله ماتریس مقایسه زوجی معیارها و ماتریس‌های مقایسات زوجی گزینه‌ها برحسب هریک از معیارها به‌عنوان ورودی فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی براساس رابطه (۱) تشکیل می‌شود. میزان اهمیت در این مقایسه، برحسب طیف نه تایی ساعتی و به‌صورت اعداد فازی مثلثی بیان می‌شود.

$$A = (a_{ij}) = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & \dots & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & (1,1,1) & \dots & (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

که در آن  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  ماتریس مقایسات زوجی،  $a_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$  نشان دهنده میزان ترجیح عنصر  $i$  نسبت به عنصر  $j$  است.  $l$  معرف کمترین مقدار،  $u$  معرف بیشترین مقدار و  $m$  معرف محتمل‌ترین مقداری است که عدد فازی  $M$  می‌تواند اختیار کند.  $n$  تعداد معیارها یا گزینه‌ها است.

در مقایسه ترجیح بین دو عنصر، شرط معکوس اصول چهارگانه ساعتی، براساس رابطه (۲) برقرار است.

$$a_{ji} = (l_{ji}, m_{ji}, u_{ji}) = \left( \frac{1}{u_{ij}}, \frac{1}{m_{ij}}, \frac{1}{l_{ij}} \right) \quad (2)$$

**- محاسبه وزن (امتیاز) گزینه‌ها و معیارها:** برای محاسبه وزن در تحلیل سلسله‌مراتبی فازی روش‌های گوناگونی ارائه شده است. در روش تحلیل توسعه‌ای چانگ، با استفاده از بسط مرکب فازی، از هر یک از ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی و به‌ازای هر گزینه یا معیار، یک عدد فازی مثلثی  $S$  استخراج می‌شود (Chang, ۱۹۹۶). این مرحله شامل گام‌های زیر است:

**گام اول:** ارزش بسط مرکب فازی برای  $i$ امین معیار یا گزینه به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Chang, ۱۹۹۶).

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[ \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gt}^j \right]^{-1} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left( \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3-الف)$$

$$\left[ \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gt}^j \right]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{t=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{t=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{t=1}^n l_i} \right) \quad (3-ب)$$

که در آن  $S_i$  و  $M_{gi}^j$  ( $j=1,2,3,\dots,m$ ) اعداد فازی مثلثی هستند.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left( \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3-ج)$$

**گام دوم:** درجه بزرگی هر بسط مرکب فازی  $S_i$  نسبت به دیگری  $S_k$ ، بر مبنای قوانین حاکم بر اعداد فازی، از رابطه (۴) به‌دست می‌آید. در نهایت، میزان بزرگی مقادیر هر بسط مرکب فازی در مقایسه با  $k$  بسط دیگر با استفاده از رابطه (۵) مشخص می‌شود (Chang, ۱۹۹۶).

$$V(S_i \geq S_k) = \sup[\min(\mu_{S_k}(x), \mu_{S_i}(x))] \\ = \text{hgt}(S_i \cap S_k) = \mu(d) \quad (4)$$

$$= \begin{cases} 1 & , m_i \geq m_k \\ 0 & , l_k \geq u_i \\ \frac{l_k - u_i}{(m_i - u_i) - (m_k - l_k)} & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$V(S_i \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = V[(S_i \geq S_1) \text{ و } (S_i \geq S_2) \text{ و } \dots \text{ و } (S_i \geq S_k)] \\ = \min V(S_i \geq S_k) \quad i, k = 1, 2, \dots, n \text{ و } i \neq k \quad (5)$$

که در آن  $S_i$  و  $S_k$ ، عدد فازی هستند که نشان‌دهنده بسط مرکب فازی معیار یا گزینه مورد بررسی هستند و  $V$  درجه احتمال بزرگی بین دو عدد فازی را نشان می‌دهد.

**گام سوم:** با فرض  $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ ، آنگاه بردار فازی  $W'$  که بردار وزن اولیه گزینه‌ها (معیارها) است، از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$W' = [d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n)]^T \quad (6)$$

**گام چهارم:** نسبت هر درایه از بردار وزن اولیه بر مجموع وزن‌های اولیه به‌دست می‌آید تا بردار  $W$  که معرف وزن نسبی گزینه‌ها (معیارها) و برداری غیرفازی است، براساس رابطه (۷) به‌دست آید. (Chang, ۱۹۹۶).

$$W = [d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)]^T \quad (7)$$

**گام پنجم:** وزن هر گزینه به‌ازای هر معیار، با ضرب ارزش هر معیار در وزن‌های به‌دست آمده از ماتریس مقایسه گزینه‌ها به‌ازای همان معیار مشخص می‌شود.

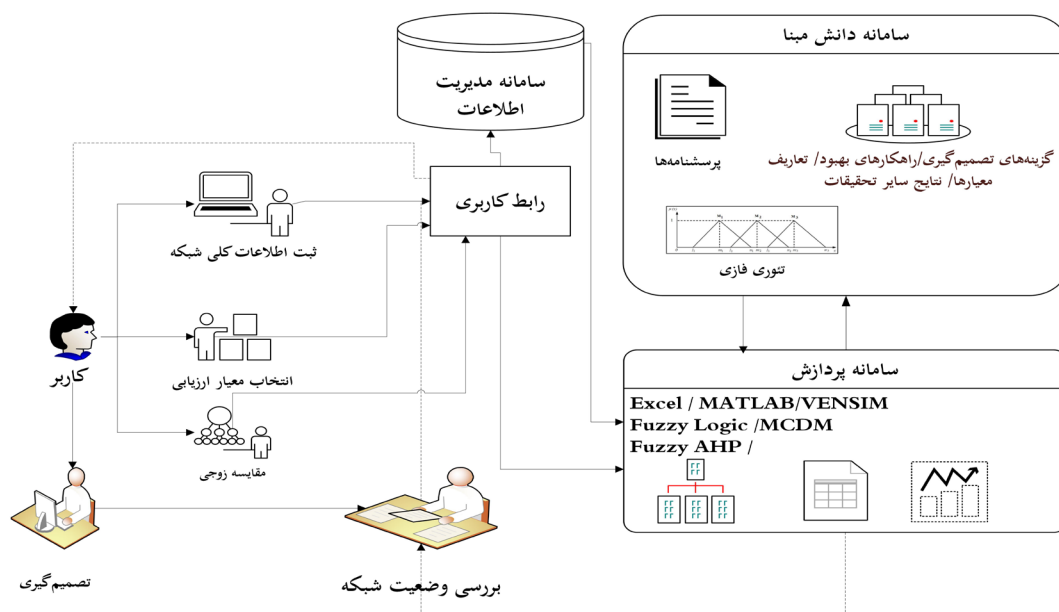
**گام ششم:** ارزش نهایی هر گزینه برابر با مجموع ارزش وزنی آن گزینه برای تمامی معیارها است.

**- رتبه‌بندی گزینه‌ها:** گزینه‌ها بر اساس ارزش‌های نهایی و به‌صورت نزولی برای رتبه‌بندی، مرتب می‌شوند.

را شبیه‌سازی می‌کند و متناسب با نظام بهره‌برداری هر شبکه قابل تغییر است. برای شناخت مسائل بهره‌برداری و تحلیل راهکارهای پیشنهادی به مدیران در رفع مشکلات بهره‌برداری، سامانه پشتیبانی از تصمیم بهره‌برداری شبکه بر مبنای ساختار معرفی شده ایجاد شد.

### ۱- ایجاد سامانه پشتیبانی از تصمیم برای بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری

این سامانه دارای سه بخش اصلی شامل مدیریت اطلاعات، مدیریت دانش مبنا و سامانه پردازش است. رابط کاربری امکان ارتباط این سه بخش با یکدیگر و با کاربر (مدیر شبکه، کارشناس یا توسعه‌دهنده) را میسر می‌کند. شکل (۳)، مدل مفهومی ساختار سامانه DSS-MOIN را که بر اساس روش تحقیق شکل گرفته است، نشان می‌دهد.



شکل ۳- مدل مفهومی سامانه پشتیبانی از تصمیم برای مدیریت بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری

مورد نظر است.

- اطلاعات مربوط به شاخص‌های بیرونی از جمله میزان تولید محصول، هزینه‌ها، خسارت مالی، درآمد، شکایات و ... در دوره مورد نظر است.

### ۳- زیرسامانه مدیریت دانش

پس از بررسی منابع پژوهشی، دلایل کاهش عملکرد شبکه‌های آبیاری و مشکلات به‌وجود آمده در بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری دسته‌بندی شد و علت‌یابی آن با کاربرد رویکرد سیستمی انجام شد. این نتایج در قسمت مدیریت دانش مبنا سامانه DSS-MOIN، ذخیره می‌شود و کاربر از آن به‌عنوان مبنای ارزیابی تشخیصی در تصمیم‌گیری استفاده خواهد کرد. شکل (۵)، دلایل عمومی کاهش مطلوبیت عملکرد شبکه‌های آبیاری و پیامدهای ناشی از آن را

توسعه یک سامانه جهت پشتیبانی از تصمیم در مدیریت شبکه‌های آبیاری، گستره بسیار وسیعی از تصمیم‌های قابل بررسی دارد. برای این طیف گسترده از تصمیم‌گیری‌ها، کلیه عوامل مؤثر در فرآیند مدیریت بهره‌برداری و نقش آنها در دستیابی به اهداف شبکه‌های آبیاری شناسایی شد. در گام بعدی با کاربرد رویکرد سیستمی مدل مفهومی مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی تشکیل شد. با مشخص شدن اهداف تصمیم‌گیری، پس از غربالگری تمام این معیارها از نظر اهمیت در تصمیم‌گیری (بر پایه نظرات خبرگان)، مدل تصمیم‌گیری در خصوص هر مسأله بهره‌برداری در ساختار سلسله‌مراتبی بیان شده است. این ساختار شرایط بهره‌برداری شبکه

### ۲- زیرسامانه مدیریت اطلاعات

مشخصات کلی شبکه (شکل ۴) و اطلاعات مربوط به عملکرد شبکه در یک دوره بهره‌برداری با پاسخ کاربر به سوالات زیر، وارد مدل شده و در سامانه مدیریت اطلاعات ذخیره خواهد شد:

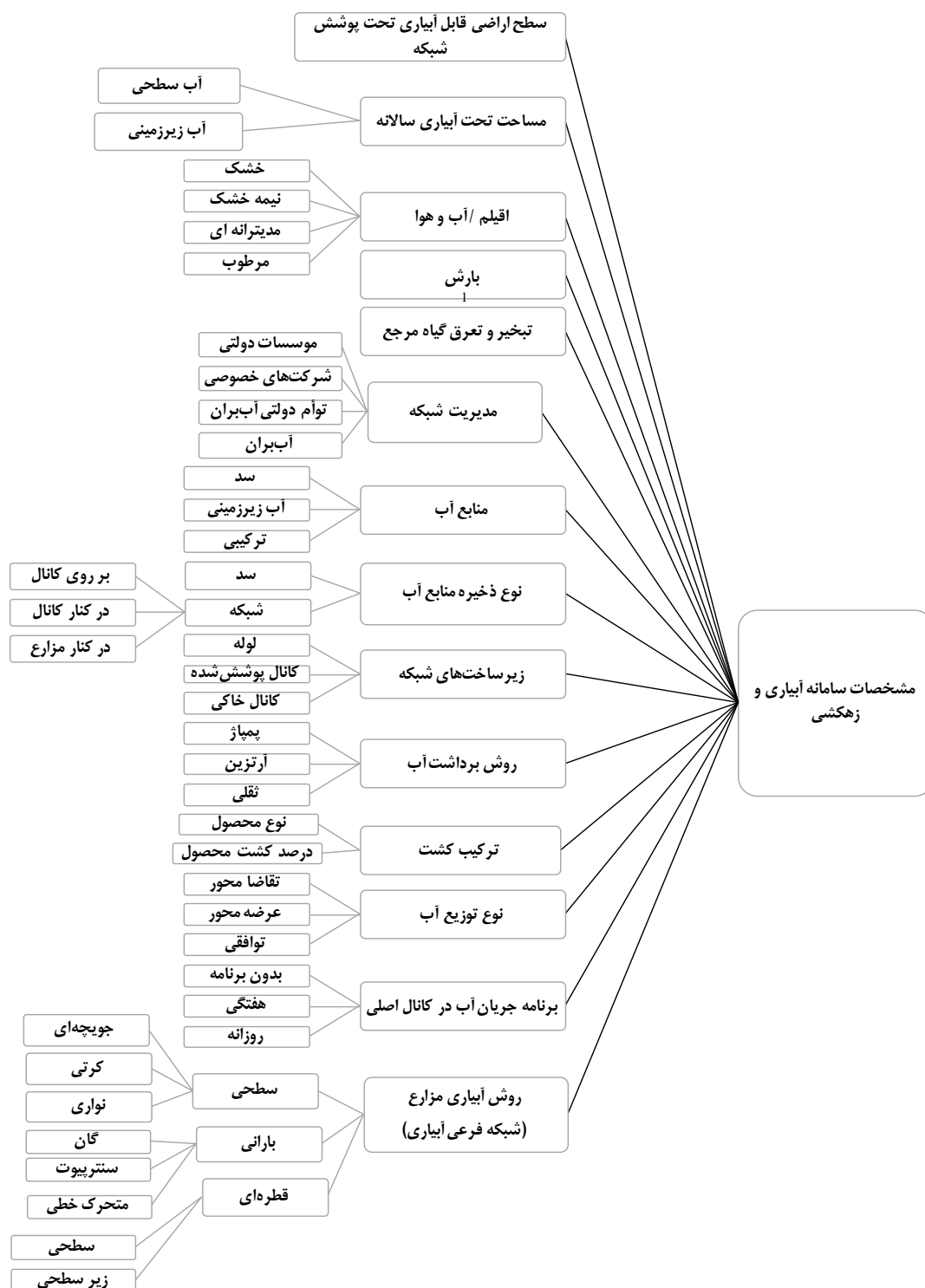
- اطلاعات کلی شبکه شامل، اطلاعات هواشناسی و اقلیمی درازمدت، منابع آب، روش توزیع، روش آبیاری.  
- اطلاعات مربوط به شاخص‌های نهاده‌ای، شامل اطلاعات اقلیمی، هواشناسی، منابع آب، سطح زیر کشت، الگوی کشت، میزان جریان ورودی به شبکه، اعتبارات مالی، منابع انسانی و در دوره کشت مورد نظر می‌باشد.

- اطلاعات مربوط به فرآیند بهره‌برداری از جمله مشخصه‌های هیدرولیکی مانند ظرفیت انتقال، کنترل تراز سطح آب در دوره

نشان می‌دهد.

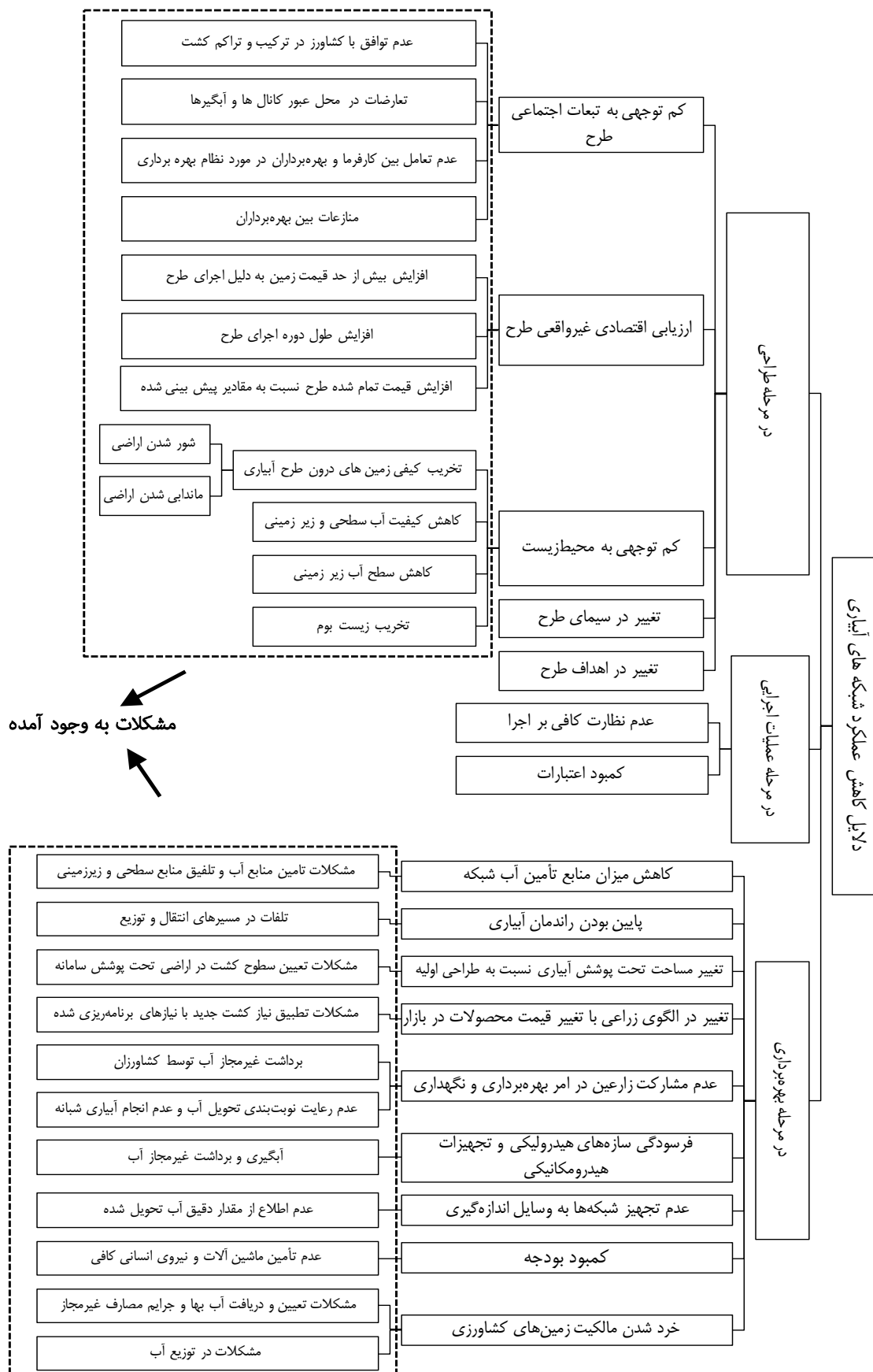
راهکارهای رفع مشکلات برای استفاده کاربر در پایگاه مدیریت دانش ذخیره شده است. این راهکارها با جمع‌بندی مروری بر منابع مطالعه شده، کسب نظر خبرگان و مصاحبه با کشاورزان به‌دست آمد. نمونه راهکارهای پیشنهادی برای کاهش مشکلات بهره‌برداری

که در جدول (۱) ارائه شده، مبنای بخشی از دانش ذخیره شده در سامانه توسعه یافته است. همچنین شکل (۶) سیاست‌گذاری مدیر شبکه برای برخورد با متخلفین برداشت غیرمجاز آب از شبکه و راهکارهای پیشنهادی برای کاهش مشکلات بهره‌برداری با رویکرد اثرگذاری اجتماعی را نشان می‌دهد.



شکل ۴- مشخصات کلیدی شبکه آبیاری که توسط کاربر وارد می‌شود





شکل ۵- دلایل کاهش مطلوبیت عملکرد شبکه‌های آبیاری و پیامدهای آن

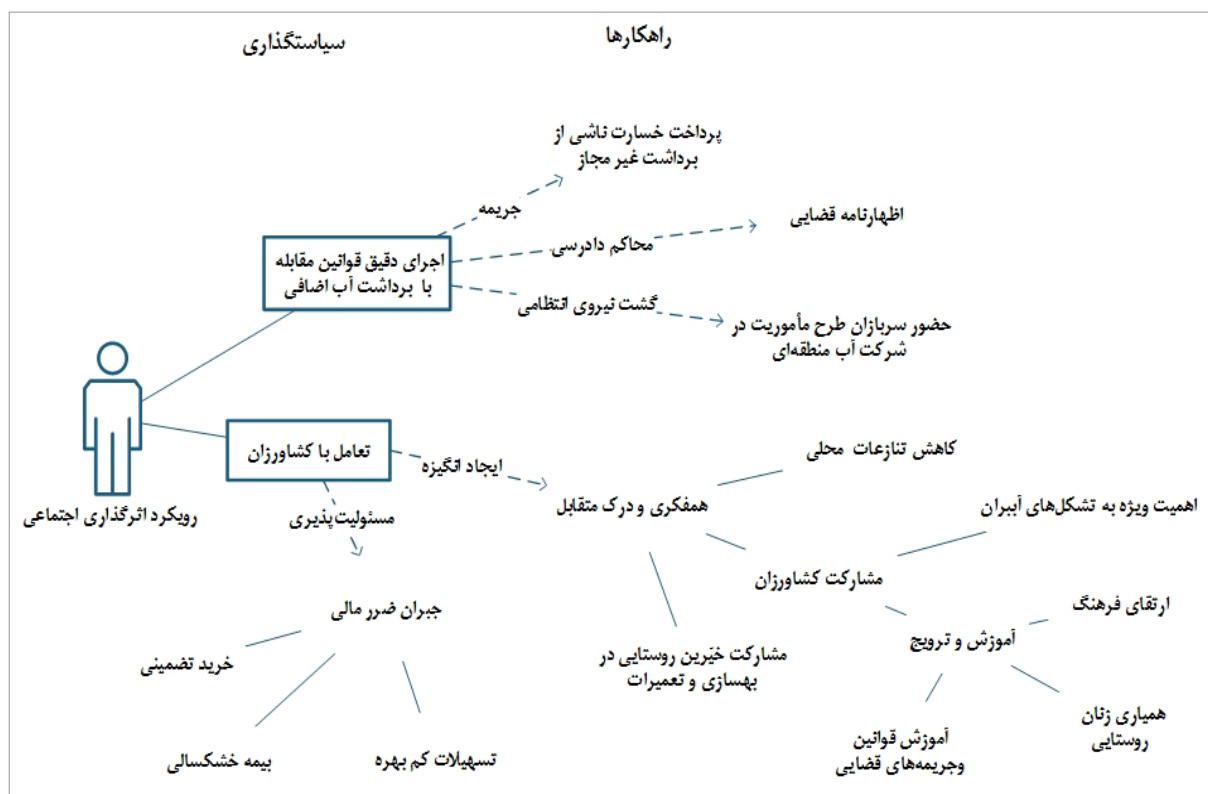
جدول ۱- نمونه‌هایی از راهکارهای پیشنهاد شده برای کاهش مشکلات بهره‌برداری

| مشکل                                         | تصمیم‌گیری                                  | راهکارهای اجرایی                                      |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| تلفات زیاد آب                                | مدیریت و کنترل رشد گیاهان                   | بازسازی قسمت‌های تخریب شده کانال                      |
|                                              | نگهداری مناسب از تأسیسات شبکه               | بازرسی و عیب‌یابی تأسیسات شبکه                        |
|                                              |                                             | تعمیر و تعویض قطعات فرسوده یا آسیب‌دیده               |
|                                              |                                             | تمیز کردن و روان‌سازی تأسیسات شبکه                    |
| نوسانات دبی آب ورودی در بالادست              | افزایش دقت در توزیع آب                      | انجام آزمایش‌های دوره‌ای                              |
|                                              | مدیریت عرضه                                 | تنظیم و واسنجی سازه‌ها در طول دوره بهره‌برداری        |
|                                              |                                             | استفاده از سازه‌های آبگیر نرپیک در تمام کانال‌ها      |
|                                              |                                             | استفاده از سازه‌های آببند اتوماتیک هیدرولیکی          |
| کاهش ظرفیت هیدرولیکی کانال                   | مدیریت تجمع نخاله، رسوب و رشد گیاهان        | استفاده از سازه‌های منحرف‌کننده جریان حاصل از بارندگی |
|                                              |                                             | تأمین عمق مناسب آب در کانال‌ها جهت آبگیری آبگیرها     |
|                                              |                                             | مخازن‌گیری تنظیمی در مسیر کانال‌های آبیاری            |
|                                              | کاهش زمان آبگیری                            |                                                       |
| برداشت غیر مجاز آب توسط کشاورزان             | نوبت‌بندی تحویل آب                          | لایروبی کانال، تخلیه مداوم آشغالگیر                   |
|                                              | اجرای دقیق قوانین مقابله با برداشت آب اضافی | گشت نیروی انتظامی                                     |
|                                              |                                             | کمک گرفتن از محاکم دادرسی                             |
|                                              |                                             | قانون‌گذاری                                           |
| ناهماهنگی کشاورزان با برنامه‌های بهره‌برداری | کمک به حل تنازعات محلی                      | آموزش و ترویج                                         |
|                                              | تعامل با کشاورزان                           | مشارکت کشاورز در بهره‌برداری                          |
|                                              |                                             | مشارکت ذینفعان در تصمیم‌گیری                          |
|                                              |                                             | خرید تضمینی محصولات                                   |
| مشارکت در سرمایه‌گذاری                       | اهمیت به تشکیل‌های آب‌بران                  | تسهیلات کم‌بهره به اعضای تشکل‌ها                      |
|                                              | مشارکت در سرمایه‌گذاری                      | بیمه خشکسالی                                          |
|                                              |                                             | مشارکت خیرین روستایی در بهسازی و تعمیرات              |
|                                              |                                             | مشارکت در سرمایه‌گذاری                                |

#### ۴- سامانه پردازش

شکل (۷)، الگوریتم عملیات پردازش سامانه مورد توسعه را نشان می‌دهد. در گام اول اطلاعات مربوط به شبکه از کاربر (مدیر بهره‌برداری، کارشناس ارزیاب، کارشناس برنامه‌ریزی) دریافت و در پایگاه اطلاعات این سامانه ذخیره‌سازی می‌شود. درگام دوم وضعیت بهره‌برداری شبکه با کمک روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی بررسی می‌شود و نتایج ارزیابی آن به کاربر ارائه خواهد شد. اگر وضعیت بهره‌برداری شبکه مورد قبول کاربر باشد، آنگاه برنامه بهره‌برداری بدون نیاز به اقدامات بهبود و صرفاً

بر مبنای اطلاعات فراخوانی شده از پایگاه مدیریت اطلاعات، تنظیم خواهد شد. در شرایطی که وضعیت بهره‌برداری بر مبنای معیارهای مورد نظر کاربر، مطلوب نباشد، پس از ردیابی علت کاهش عملکرد شبکه، اقدامات بهبود بهره‌برداری متناسب با نقاط ضعف شناسایی شده توسط سامانه پیشنهاد می‌شود. کاربرد لیست راهکارهای پیشنهادی از سامانه مدیریت دانش فراخوانی می‌نماید. همچنین تصمیم‌گیری نهایی پس از پیش‌بینی اثربخشی راهکارها در مدیریت شبکه و انتخاب راهکارهای مناسب توسط کاربر صورت می‌گیرد.



شکل ۶- راهکارهای کاهش مشکلات بهره‌برداری با رویکرد اثرگذاری اجتماعی

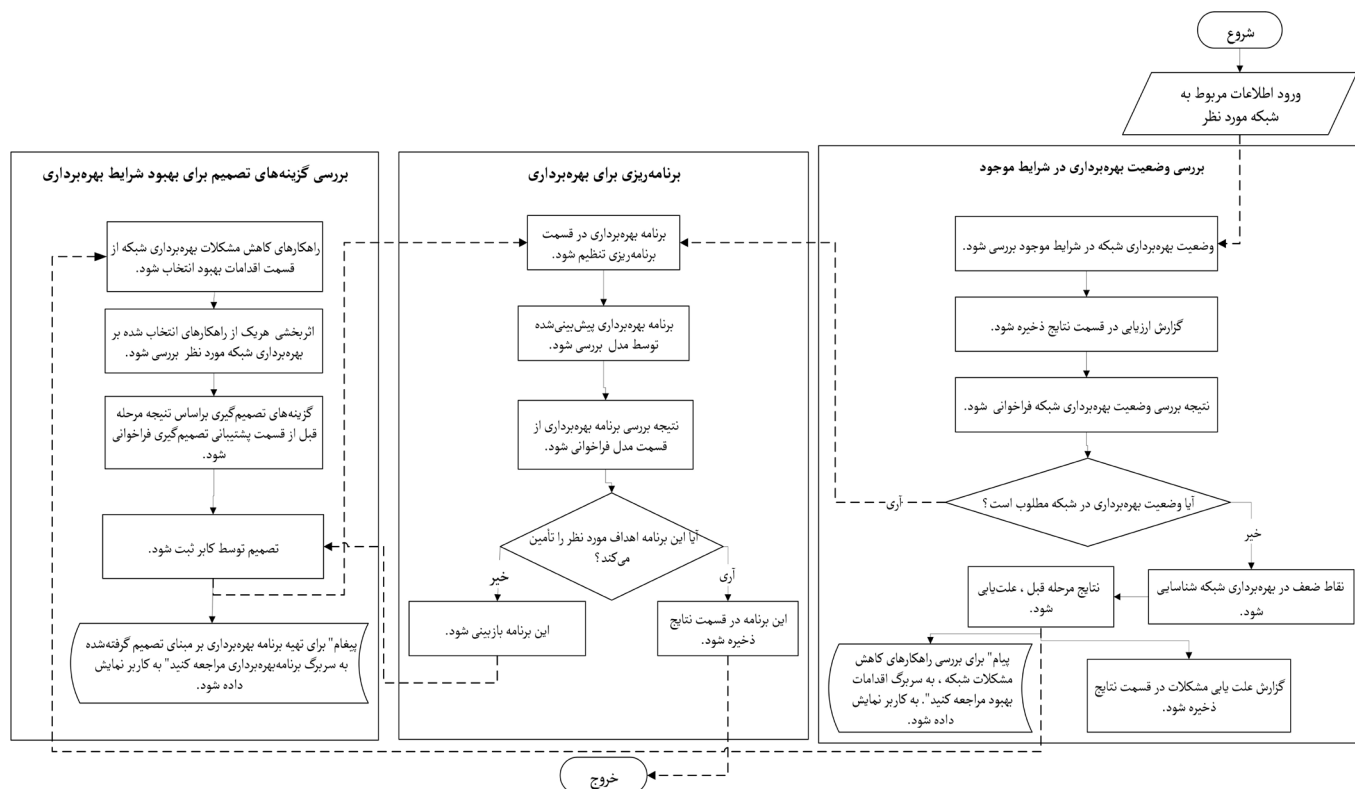
## جمع‌بندی

در این پژوهش، پس از مشخص شدن مولفه‌های اصلی سامانه پشتیبانی از تصمیم‌یک مدل مفهومی برای توسعه سامانه‌ای که فرایند تصمیم‌گیری در بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری پشتیبانی کند، معرفی شد. شناسایی مشکلات، دلایل و روابط بین آنها و مسیرهای تصمیم‌گیری با کاربرد رویکرد سیستمی ردیابی و مشخص شد. این مطالعه بر کاربرد موفقیت آمیز روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مواجهه با مسائل پیچیده در زمینه بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری تاکید می‌نماید. همچنین مزایای کاربرد رویکرد فازی و پیاده‌سازی آن در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره برای ایجاد انعطاف در محاسبات و همسویی نتایج قضاوت در تصمیم‌گیری با شرایط واقعی، تشریح شد. موارد یاد شده برای ایجاد قابلیت ساختار یافتگی مسأله تصمیم‌گیری مربوط به مدیریت شبکه‌های آبیاری صورت گرفت. یک نمونه از ساختاردهی به فرایند تصمیم‌گیری

در شبکه‌های آبیاری، با توسعه فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام شد. در نهایت مشخص شد این روش، پتانسیل تبدیل داده‌های کیفی و غیر قطعی به معیارهای کمی برای تحلیل در سامانه جامع پشتیبانی تصمیم‌گیری مدیریت بهره‌برداری را دارد. پیش‌بینی می‌شود که استفاده از این سامانه در سیاست‌گذاری‌های شرکت‌های بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری در کشورهای در حال توسعه، به مدیریت بهتر عرضه و تقاضا در شبکه‌های آبیاری کمک خواهد کرد.

## پی‌نوشت‌ها

- 1-Decision Support System for Managing the Operation of Irrigation Networks (DSS-MOIN)
- 2-Uncertainty
- 3-Extent analysis(Ea)



شکل ۷- گردش عملیات در پایگاه پردازش DSS-MOIN

## منابع

- mate Reasoning, 21(3), 215-231. [https://doi.org/10.1016/S0888-613X\(99\)00025-0](https://doi.org/10.1016/S0888-613X(99)00025-0)
- Car, N.J. (2018). Using decision models to enable better irrigation Decision Support Systems. Computers and Electronics in Agriculture, 152, 290-301. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.024>
- Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95 (3), 649-655. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- Hashemy Shahdany, S. M., & Roozbahani, A. (2015). Selecting an appropriate operational method for main irrigation canals within multicriteria decision-making methods. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(4), 1-9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000996](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000996)
- Jiracheewee, N., Oron, G., Murty, V. V. N., & Wuwongse, V. (1996). Computerized database for optimal management of community irrigation systems in Thailand. Agricultural water management, 31(3), 237-251. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(96\)01241-3](https://doi.org/10.1016/0378-3774(96)01241-3)
- اصغری‌زاده، عزت‌الله، و محمدی بالانی، عبدالکریم. (۱۴۰۰). تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه. انتشارات دانشگاه تهران، ایران.
- خدادادی، سیف‌الله، یاسی، مهدی، منعم، محمدجواد. (۱۴۰۰). بهینه‌سازی الگوی تحویل آب در سناریوهای کاهش تخصیص آب شبکه آبیاری زرینه‌رود با استفاده از الگوریتم PSO. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲(۵)، ۱۱۷۹-۱۱۹۲. doi: [10.22059/ijss-wr.2021.316352.668856](https://doi.org/10.22059/ijss-wr.2021.316352.668856)
- رحمتی، سپیده، و منعم، محمدجواد. (۱۴۰۰). کاربرد فرآیند مسکات برای ارزیابی و بهبود عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی گتوند. مدیریت آب و آبیاری، ۱۱(۴)، ۸۴۵-۸۶۶. doi: [10.22059/jwim.2022.331246.928](https://doi.org/10.22059/jwim.2022.331246.928)
- طاهری، سید محمود. (۱۳۹۷). نظریه احتمال و نظریه امکان: شباهت‌ها و تفاوت‌ها. سیستم‌های فازی و کاربردها، ۱۴(۱)، ۴۳-۵۴. dor: [20.1001.1.27174409.1397.1.1.4.5](https://doi.org/20.1001.1.27174409.1397.1.1.4.5)
- Burton, M. (2010). Irrigation management: Principles and practices. Cabi. Oxford, Cambridge.
- Deng, H. (1999). Multi criteria analysis with fuzzy pairwise comparison. International Journal of Approxi-

- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. Mac-Graw-Hill, New York international. B. company, New York, United States.
- Saggi, M. K., & Jain, S. (2022). A survey towards decision support system on smart irrigation scheduling using machine learning approaches. Archives of computational methods in engineering, 29(6), 4455-4478. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09746-3>
- Sarband, E.M., Araghinejad, S. & Attari, J. Developing an Interactive Spatial Multi-Attribute Decision Support System for Assessing Water Resources Allocation Scenarios. Water Resour Manage, 34, 447-462 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02291-y>
- Sohn, J., Bisquert, P., Buche, P., Hecham, A., Kalbar, P. P., Goldstein, B., Birkved, M. & Olsen, S. I. (2020). Argumentation corrected context weighting-life cycle assessment: a practical method of including stakeholder perspectives in multi-criteria decision support for LCA. Sustainability, 12(6), 2170. <https://doi.org/10.3390/su12062170>
- Wen, T. H., Lin, C. H., Chen, C. T., & Su, M. D. (2007). Analysis of spatial scenarios aiding decision making for regional irrigation water-demand planning. Journal of irrigation and drainage engineering, 133(5), 455-467. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:5\(455\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:5(455))
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., & Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. Computers and Electronics in Agriculture, 170, 105256. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>
- Zyoud, S.H., Kaufmann L.G., Shaheen H., Samhan S., & Fuchs-Hanusch, D. (2016). A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. Expert Systems with Applications, 61, 86-105. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.016>
- Kaya I., Colak M., & Terzi F. (2019) A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making. Energy Strategy Reviews, 24, 207-228. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.03.003>
- Kumar, R., & Singh, J. (2003). Regional water management modeling for decision support in irrigated agriculture. Journal of irrigation and drainage engineering, 129(6), 432-439. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2003\)129:6\(432\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:6(432))
- Lang, D., & Ertsen, M. W. (2023). Modelling farmland dynamics in response to farmer decisions using an advanced irrigation-related agent-based model. Ecological Modelling, 486, 110535. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110535>
- McCown, R. L. (2002). Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects. Agricultural systems, 74(1), 179-220. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00026-4)
- Mannina, G., Rebouças, T.F., Cosenza, A., Sánchez-Marín, M., & Gibert, K. (2019). Decision support systems (DSS) for wastewater treatment plants – A review of the state of the art. Bioresource Technology, 290, 121814. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121814>
- Mateos, L., Lopez-Cortijo, I., & Sagardoy, J. A. (2002). SIMIS: the FAO decision support system for irrigation scheme management. Agricultural Water Management, 56(3), 193-206. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00035-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00035-5)
- Mohamed, H. I., Ahmed, E. E., Abbas, O. M., & Mohamed, A. M. E. (2010). Water allocation and optimization of minor canal operation. Agriculture and Biology Journal of North America, 1(5), 1031-1043. <https://doi.org/10.5251/abjna.2010.1.5.1031.1043>
- Nam, W. H., Hong, E. M., & Choi, J. Y. (2016). Assessment of water delivery efficiency in irrigation canals using performance indicators. Irrigation science, 34(2), 129-143. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0488-6>
- Pandey, A., & Mogarekar, N. (2022). Development of a spatial decision system for irrigation management. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01305-2>



Article Type: Technical paper

نوع مقاله: فنی و ترویجی

## Investigating the Water Withdrawal from Surface Resources and the Beneficial Water Consumption in the Agricultural Sector of Khuzestan Province

M. Khorramian<sup>1\*</sup>, P. Varjavand<sup>2</sup>

1-Research Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran. 2-Research Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran.

\*(Corresponding Author Email: m.khorramian@areeo.ac.ir)

Received: 28-06-2023

Revised: 23-09-2023

Accepted: 23-09-2023

Available Online: 22-02-2024

## بررسی میزان آب برداشتی از منابع سطحی و مصرف مفید آب در بخش کشاورزی استان خوزستان

محمد خرمیان<sup>۱\*</sup>، پیمان ورجاوند<sup>۲</sup>

۱- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران. ۲- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

\* (نویسنده مسئول، E-Mail: m.khorramian@areeo.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۰۳

### Abstract

This study was conducted to evaluate the real cropping pattern of Khuzestan province in a normal water year (2018-2019) in terms of water withdrawal management from surface resources. For this purpose, the actual evapotranspiration of the products was calculated from the ratio of the available yield of different products (according to the agricultural statistics of 2018-2019) to the potential yield (the highest yield according to the agricultural statistics) by applying the country's water demand line system based on 10-year meteorological data. The results showed that the total water withdrawal from surface resources for the cultivated area of the crop year 2018-2019 (except greenhouses, livestock, poultry, and some products with a small area) was 18856 MCM, so the actual consumption (net irrigation requirement) was estimated 4310 MCM. Considering the Khuzestan Water Scarcity Adaptation Program, the total demand for agriculture and the environment with a confidence level of 80% in the Karun and Karkheh basins was 36 and 23.8% lower than the river flow, respectively, while it decreased to -72% in the Jarrahi basin, which indicated the failure to achieve the minimum environmental requirement. Since the Karkheh River flow has a more severe fluctuating behavior than that of Karun, this behavior cannot be predicted in the linear analysis of average values, and in droughts, it is less than the mentioned number. Therefore, dynamic planning in the field of cropping pattern change, providing various types of drought insurance, implementing infrastructure for the temporary purchase of water rights by the government, and other support policies are suggested in basins such as Karkheh, which has a highly fluctuating behavior in water supply.

**Keywords:** Khuzestan, Drought, Catchment Area, Cropping Pattern.

### چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی الگوی کشت رایج استان خوزستان در سال آبی نرمال (سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸) از دیدگاه مدیریت برداشت آب از منابع سطحی صورت گرفت. برای این منظور تبخیرتعرق واقعی محصولات از نسبت عملکرد موجود محصولات مختلف (طبق آمارنامه کشاورزی سال ۹۹-۱۳۹۸) به عملکرد پتانسیل (بیشترین عملکرد طبق آمارنامه‌های کشاورزی)، و با به کارگیری سامانه برخط نیاز آبی کشور براساس اطلاعات هواشناسی ۱۰ ساله محاسبه شد. نتایج نشان داد که کل برداشت آب از منابع سطحی برای سطح زیرکشت سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ (به استثنای گلخانه‌ها، دام و طیور و برخی محصولات با سطح اندک)، ۱۸۸۵۶ میلیون مترمکعب بوده که مصرف واقعی (نیاز خالص آبیاری) آن ۴۳۱۰ میلیون مترمکعب برآورد شد. در صورتی که داده‌های سند ملی خشکسالی مبنا قرار گیرد، مجموع مصرف کشاورزی و محیط زیست با درجه اعتماد ۸۰ درصد در حوضه کارون بزرگ و کرخه به ترتیب ۳۶ و ۲۳/۸ درصد کمتر از آورد رودخانه‌ها بود؛ حال آنکه در حوضه جراحی به ۷۲- درصد کاهش یافت که بیانگر عدم تأمین حداقل نیاز محیط‌زیست است. باید توجه داشت که آورد رودخانه کرخه نسبت به کارون دارای رفتار نوسانی شدیدتر بوده که این رفتار در تحلیل خطی میانگین آوردها قابل پیش‌بینی نیست و در خشکسالی‌ها کمتر از عدد یاد شده است. از این رو برنامه‌ریزی پویا در زمینه تغییر الگوی کشت، ارائه انواع بیمه‌های خشکسالی، اجرای زیرساخت‌های خرید موقت حق‌آبه توسط دولت و دیگر سیاست‌های حمایتی در حوضه‌هایی مانند کرخه که رفتار نوسانی شدید دارد پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** خوزستان، خشکسالی، حوضه آبریز، الگوی کشت.

گزینه‌های مفروض کاهش یافت. فرج‌نیا و احمدی‌عدلی (۱۳۹۰) با بررسی نحوه اصلاح الگوی کشت و کاهش مصرف آب در دشت تبریز به تأثیر آن در بحران دریاچه ارومیه پرداختند. این محققان پیش‌بینی کردند که با اصلاح الگوی کشت نیاز خالص آبیاری از ۱۱۷ به ۹۸ میلیون مترمکعب کاهش یابد. مطالعه نصابیان و همکاران (۱۳۹۳) در استان فارس نشان داد که الگوهای کشت معرفی شده نسبت به الگوهای رایج و حتی الگوهای تک‌هدفه در تأمین کلی آرمان‌های چندگانه برتری داشته و تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش بازده برنامه‌ای، کاهش مصرف آب و کود شیمیایی خواهد داشت. مولوی و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر سیاست‌های اصلاح الگوی کشت و کم‌آبیاری را با به‌کارگیری مدل‌سازی پویا در حوضه آبریز ارس ارزیابی نموده و نشان دادند که انتخاب مناسب الگوی کشت و اعمال کم‌آبیاری با توجه به معیارهای اقتصادی و منابع آب تغییر خواهد کرد. این محققان نتیجه گرفتند در صورتی که استفاده از سایر راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف آب همانند توسعه آبیاری تحت فشار و اصلاح مدیریت آبیاری سطحی میسر نباشد، ترکیب گزینه کم‌آبیاری به میزان ۴۰ درصد با گزینه الگوی کشت بهینه و الگوی کشت اقتصادی در مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی حوضه ارس نقش مؤثری خواهد داشت. محمدی و همکاران (۱۳۹۸) اثر افزایش کارایی مصرف آب بر تغییر الگوی کشت را با تأکید بر اهداف سیاست‌گذاران و زیست محیطی در استان فارس با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی چند هدفه و با در نظرگیری گزینه‌های افزایش راندمان آبیاری شامل ۴۰، ۵۰، ۵۵، ۶۰، ۶۵ و ۷۰ درصد بررسی نمودند. تحلیل گزینه‌ها نشان داد که افزایش راندمان آبیاری موجب افزایش بازده ناخالص و مصرف کود شیمیایی و تنوع در الگوی کشت شد اما تأثیر چندانی در کاهش ریسک بازده ناخالص نداشت. Rawabdeh و همکاران (۲۰۱۰) برای بهینه‌سازی الگوی کشت در بخش جنوبی دره اردن با هدف دستیابی به تعادل منابع و مصارف آب، گزینه‌های مدیریتی بهبود عملکرد سیستم‌های کشاورزی آبی دره اردن را در شرایط عادی و خشکسالی ارائه کردند. نتایج نشان داد که بهره‌وری آب در جنوب دره کمتر از قسمت شمالی دره بوده و بهبود عملکرد کشاورزی آبی در منطقه از طریق اصلاح الگوی کشت (کشت نخل خرما و گوجه‌فرنگی به جای موز در منطقه جنوب) قابل دستیابی است. از سوی دیگر کم‌آبیاری تنظیم شده (برای مرکبات در شمال و برای جو در جنوب) می‌تواند راهکار خوبی در بهبود بهره‌وری آب در دوره‌های کم‌آبی باشد. Elnmer و همکاران (۲۰۱۵) در دلتای رودخانه نیل در مصر تأثیر چهار سناریوی مختلف الگوی کشت بر مصرف آب را تحلیل نمودند. الگوی کشت ملی سیاست کشاورزی مصر مصوب سال ۲۰۱۲، الگوی کشت توسعه داده شده توسط وزارت کشاورزی مصر و دو الگوی کشت پیشنهادی نویسندگان بود. نتایج نشان داد که تغییر سیاست قیمت محصولات منجر به کاهش مصرف آب شد. همچنین

الگوی کشت بیانگر درصد سطح زیر کشت محصولات مختلف یک منطقه در فاصله زمانی مشخص است که در مقیاس کلان یک نظام کشاورزی با مزیت اقتصادی پایدار و مبتنی بر سیاست‌های کلان کشور، دانش بومی کشاورزان و بهره‌گیری بهینه از پتانسیل‌های منطقه‌ای با رعایت اصول اکوفیزیولوژیک تولید محصولات کشاورزی در راستای حفظ محیط زیست را مشخص می‌کند. تناسب الگوی کشت پیشنهادی با ظرفیت کمی و کیفی منابع آب منطقه ضرورتی انکارناپذیر است. علاوه بر این تناسب الگوی کشت با اقلیم، ظرفیت حاصلخیزی خاک و ظرفیت عرضه و تقاضا نیز مهم است. خشکسالی‌های مستمر در بسیاری از مناطق ایران و در نتیجه کاهش و محدودیت منابع آب از یک سو و افزایش تقاضا در بخش‌های صنعت، شرب و محیط زیست از سوی دیگر موجب شده تا رقابت بین بخش‌های مختلف بر سر آب کشاورزی تشدید یافته به نحوی که با کاهش تدریجی آورد رودخانه‌ها، تعداد چاه‌های زیرزمینی افزایش و سطح آب‌های زیرزمینی کاهش یافته است. علیرغم ضرورت انکارناپذیر تغییر الگوی کشت، در عمل پیاده کردن آن ساده نیست و امکان بروز پیامدهایی از قبیل افزایش و یا کاهش درآمد کشاورزان، افزایش یا کاهش نیاز به نیروی کار و دستمزد آنان، دگرگونی در قیمت زمین، تشویق یا ممانعت از انجام فعالیت‌های جنبی کشاورزی نظیر دامداری، تغییر در نظام‌های بهره‌برداری و تغییر نگرش به کشاورزی وجود دارد (Mahesh, ۱۹۹۹). با این وجود اجرای دقیق و کارشناسانه الگوی کشت مزیت‌هایی همانند تأمین امنیت غذایی، مهار بحران‌های خشکسالی با ایجاد توازن در منابع آب موجود و سطح زیر کشت، تلاش برای افزایش بهره‌وری منابع پایه (آب و خاک) و بهینه‌سازی سایر نهاده‌های تولید، شناسایی خلأهای تولید و سامان‌دهی فرایند تولید و اصلاح نظام بازار محصولات کشاورزی را به همراه خواهد داشت. زوله و جمشیدی (۱۳۹۰) مزایای اجرای الگوی کشت بهینه را تضمین امنیت غذایی و پایداری تولید به صورت حفاظت منابع پایه و افزایش بهره‌وری عوامل تولید، ایجاد ضرورت در بهینه‌سازی الگوی مصرف، استفاده اصولی از منابع پایه تولید (آب و خاک)، دسترسی به تولید پایدار در بخش کشاورزی، در ازای بهره‌برداری و بهره‌وری مناسب از منابع پایه و کاهش اثرات سوء خشکسالی عنوان نموده‌اند. سالیانی (۱۳۷۵) عوامل محیط‌زیستی را در طراحی و پیاده‌سازی الگوی کشت مهم دانسته و نکاتی را برای طراحی و پیاده‌سازی الگوی کشت پیشنهاد داد. مادح خاکسار و آینه‌بند (۱۳۹۰) طرح زراعی-اقتصادی الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی هنديجان را با تأکید بر منابع آب با به‌کارگیری برنامه‌ریزی خطی بررسی نموده و نشان دادند که با افزایش قیمت آب، تراکم کشت و درآمد به ازای هر واحد آب مصرفی و کل درآمد کشاورز در تمام

نتایج نشان داد که توسعه یک مدل بهینه‌سازی که بتواند ابتدا در منطقه مورد مطالعه و سپس در کل کشور اجرا شود گامی نو برای سیاست ملی کشاورزی است که مصرف آب آبیاری را حداقل و سود بهره‌وری را حداکثر نماید. Fernández و همکاران (۲۰۲۰) چالش برنامه‌ریزی آبیاری در مناطق نیمه‌خشک اسپانیا را با نگاه ویژه به طراحی و پیاده‌سازی الگوی کشت ارزیابی نموده و نشان دادند که برنامه‌ریزی بهینه آبیاری مستلزم سرمایه‌گذاری مداوم در تجهیزات، هزینه‌های عملیاتی و نگهداری و خدمات فنی و نگهداری به همراه تعریف الگوی کشت مناسب است.

بررسی نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که تحلیل الگوی کشت موجود و تغییر آن می‌تواند از گزینه‌های مهم برای رویارویی با شرایط تغییر اقلیم و خشکسالی باشد. استان خوزستان با سطح زیرکشت زراعی آبی و دیم به ترتیب ۹۷۰ و ۲۳۱ هزار هکتار با تولید ۱۶/۵۷ میلیون تن در اراضی آبی و ۱۷۹ هزار تن دیم رتبه اول در سطح زیرکشت و تولید محصولات زراعی را در کشور دارد. در زمینه محصولات باغی سطح اراضی آبی و دیم به ترتیب ۴۸ هزار هکتار و ۷۸۴ هکتار با تولید ۳۸۱ هزار تن و ۲۴۰۰ تن است (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). این سطح زیرکشت و تولید شامل انواع محصولات بالغ بر ۳۰ محصول زراعی و باغی است که خشکسالی‌های اخیر موجب تنش خشکی و کاهش عملکرد محصولات شده است. با توجه به تأمین بیش از ۹۰ درصد از آب کشاورزی استان از منابع آب سطحی، شناسایی الگوی کشت موجود و میزان نیاز به برداشت آب از منابع سطحی می‌تواند مسیر را برای برنامه‌ریزی اجرای الگوی کشت بهینه هموار نماید.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه با هدف ارزیابی و تحلیل الگوی کشت سال ۹۹-۱۳۹۸ از دیدگاه مدیریت آب کشاورزی در استان خوزستان صورت گرفت. وسعت استان معادل ۶۳۲۵۳ کیلومترمربع و بین مدار جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی در جنوب غربی کشور و در شمال غربی خلیج فارس واقع شده است (مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، ۱۳۹۴). در این مطالعه پراکنش شهرستانی ۲۶ محصول زراعی غالب در الگوی کشت موجود (گندم، جو، شلتوک، ذرت دانه‌ای، چغندر، قند، نیل، کز، ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی، یونجه، سیب‌زمینی، پیاز، لوبیا دانه‌ای، لوبیا سبز، ماش، خیار، خربزه، هندوانه، طالبی، کنجد، بادمجان، قصیل، کلم، کاهو، هویج و سبزیجات) از آمارنامه‌های کشاورزی محصولات سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ استان خوزستان استخراج شد (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). دلیل اصلی انتخاب این سال آبی نرمال بودن

سال آبی از نظر شرایط خشکی و تری است. به منظور تکمیل الگوی کشت در زمینه محصولات باغی، از آمارنامه کشاورزی محصولات باغبانی سال ۱۳۹۸ استان خوزستان استفاده شد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹) که در آن سطح، پراکنش جغرافیایی و تولید محصولات باغبانی به تعداد ۱۰ محصول عمده استان شامل خرما، پرتقال، نارنج، نارنگی، لیموشیرین، لیموترش، انجیر، انگور، انار و زیتون در نظر گرفته شد.

مبنای تحلیل و مقایسه الگوی کشت استفاده از شاخص کل حجم آب مصرفی بود که برای برآورد آن تبخیرتقرق پتانسیل و واقعی محاسبه شد. به این صورت که بیشترین عملکرد گزارش شده در اراضی بهره‌برداران (در بازه زمانی ۹۹-۱۳۶۱) به عنوان عملکرد پتانسیل و تبخیرتقرق واقعی برای دستیابی به این عملکرد به عنوان مقدار تبخیرتقرق پتانسیل در نظر گرفته شد. برای این منظور مقدار تبخیرتقرق پتانسیل بر مبنای عملکرد پتانسیل محصولات مختلف در شهرستان‌های استان خوزستان از سامانه نیاز آبی گیاهان کشور (موسسه تحقیقات خاک و آب)<sup>۱</sup> و برای یک دوره آماری ۱۰ سال آبی منتهی به سال‌های آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ از سامانه مذکور استخراج شد. این برنامه علی‌رغم کاستی‌های متعدد، مرجع استفاده در الگوی کشت مصوب استان بوده (مردی، ۱۴۰۱) است؛ لذا اطلاعات آن استفاده شد. ورودی‌های برنامه شامل نوع محصول، تاریخ کاشت و برداشت بوده که بر اساس اطلاعات محلی هر شهرستان تکمیل و نتایج استخراج شد. تبخیرتقرق واقعی گیاهان در شرایط غیراستاندارد صورت می‌گیرد. این شرایط غالباً ناشی از کمبود رطوبت در خاک (کم‌آبیاری حاصل از کمبود آب در منطقه) است که نتیجه آن کاهش عملکرد محصول نسبت به حد پتانسیل است. در این مطالعه عملکرد واقعی محصول ( $Y_a$ ) بر اساس عملکرد مورد انتظار سند الگوی کشت و بیشترین عملکرد در مزارع بهره‌برداران به عنوان عملکرد پتانسیل ( $Y_p$ ) (بر اساس بیشترین عملکرد گزارش شده در آمارنامه‌های کشاورزی استان خوزستان طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۶۱) و تبخیرتقرق برآورد شده از سامانه نیاز آبی برای رسیدن به این عملکرد معادل تبخیرتقرق پتانسیل ( $ET_p$ ) در نظر گرفته شد. لذا با داشتن نسبت بین عملکرد واقعی و پتانسیل ضریب حساسیت گیاه ( $K_y$ )، نسبت تبخیرتقرق واقعی به پتانسیل از رابطه (۱) و مقدار تبخیرتقرق واقعی ( $ET_a$ ) از حاصل ضرب این نسبت در مقدار تبخیرتقرق پتانسیل حاصل از برنامه نیاز آب محاسبه شد.

(۱)  $(1 - Y_a/Y_p) = K_y (1 - ET_a/ET_p)$   
 $K_y$  ضریب واکنش عملکرد گیاه به آب که مقدار آن از منابع معتبر استخراج شد (Doorenbos و Kassam، ۱۹۷۹؛ Arthi و همکاران، ۲۰۱۸)،  $ET_a$  تبخیرتقرق واقعی متناسب با عملکرد مورد انتظار و  $ET_p$  تبخیرتقرق گیاه در شرایط عملکرد پتانسیل که از سامانه نیاز آبی گیاهان کشور استخراج شد. در مورد باغاتی که به روش قطره‌ای

آبیاری می‌شوند، نیاز آبی بر اساس عملکرد و روش آبیاری قطره‌ای از رابطه (۲) محاسبه شد (علیزاده، ۱۳۸۱).

$$T_r = ET_a (P_s + 0.15(1 - P_s)) \quad (2)$$

که در آن  $T_r$  نیاز آبی متناسب با روش آبیاری (برای روش‌های آبیاری تشتکی و قطره‌ای) و  $P_s$  نسبت سطح سایه‌انداز است که در تحقیق حاضر با فرض درخت بالغ محاسبه شده است. بارش مؤثر ( $P_e$ )، بارشی که به سطح زمین رسیده و در محیط ریشه گیاه ذخیره شده باشد، از روش پیشنهادی وزارت کشاورزی آمریکا (USDA) و برنامه نیاز آب محاسبه و پس از آن نیاز خالص آبیاری ( $I_n$ )، تفاضل تبخیر-تعرق واقعی گیاه و بارش مؤثر، از رابطه (۳) به دست آمد (علیزاده، ۱۳۸۱).

$$I_n = ET_a - P_e \quad (3)$$

راندمان کاربرد آب، نسبت آب ذخیره شده در عمق توسعه ریشه گیاه به مقدار آب تحویلی به مزرعه، شاخصی برای غمایش میزان استفاده بهینه از منابع آب در یک قطعه زراعی است و غالباً بستگی به سامانه آبیاری و مدیریت بهره‌بردار دارد. سامانه غالب در بسیاری از مناطق استان خوزستان آبیاری سطحی است؛ لذا در این مطالعه فقط میزان برداشت از منابع آب سطحی در نظر گرفته شد. مطالعات نشان داده که میانگین راندمان کاربرد در شیوه‌های مختلف آبیاری سطحی در ایران بین ۵۲/۵ تا ۵۵/۳ و در استان خوزستان ۴۶/۹ درصد است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵) که در صورت طراحی و مدیریت درست در بهره‌برداری تا حد ۶۵ درصد قابل افزایش است (USDA، ۱۹۹۷). از این رو در گزارش حاضر دو حالت راندمان کاربرد آب ۶۵ درصد (USDA، ۱۹۹۷) و ۴۶/۹ درصد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵) در محاسبات در نظر گرفته شد. با توجه به مقادیر یادشده، می‌توان گفت که نیاز آبشویی عملیات آبیاری نیز در تلفات آب آبیاری لحاظ شده و نیازی به اعمال آن نیست. با اعمال این راندمان در مقدار نیاز خالص آبیاری (مصرف مفید) مقدار آب تحویلی به ابتدای قطعه زراعی (آب کاربردی) محاسبه شد. کانال‌های اصلی، درجه یک، دو و سه عهده‌دار توزیع آب در شبکه آبیاری است. از این رو برای تعیین آب مورد نیاز برداشتی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی، راندمان انتقال و توزیع شبکه‌های آبیاری و زهکشی موجود به تفکیک شهرستان، بر اساس مطالعات قبلی (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۸؛ سلامتی و همکاران، ۱۳۹۷) در محاسبات اعمال شد.

## نتایج و بحث

طبق محاسبات انجام شده کل حجم آب مصرفی (نیاز آبی ناخالص) در تناوب و سطح زیرکشت سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ (به استثنای گلخانه‌ها، دام و طیور و محصولات با سطح اندک که در مجموع حدود ۴ درصد سطح زیرکشت می‌باشد) ۱۸۸۵۶

میلیون مترمکعب برآورد شد که با عدد کلی ارائه شده در جدول (۱) (مقدار برداشت ۲۱۰۶۷ میلیون مترمکعب به شرط اعمال مصارف گلخانه، دام و طیور) همخوانی دارد. حدود ۴۳۱۰ میلیون مترمکعب از عدد ۱۸۸۵۶ میلیون مترمکعب نیاز خالص آبیاری (اختلاف بین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه و باران مؤثر) محصولات کشاورزی است که در عمل میزان مصرف واقعی آب بیش از این مقدار است.

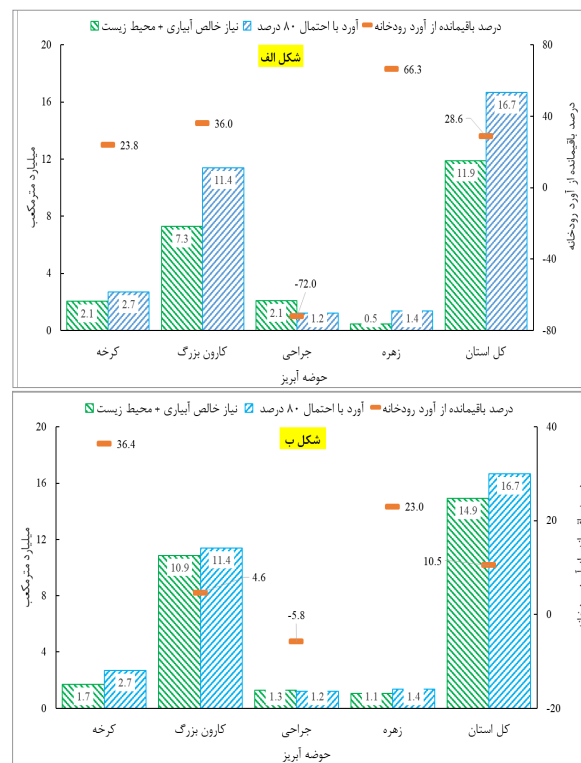
جدول ۱- مجموع برداشت آب از منابع آب زیرزمینی و سطحی استان خوزستان (برنامه سازگاری با کم آبی خوزستان، ۱۴۰۰)

| نوع برداشت                  | حجم برداشت<br>(میلیون مترمکعب) | درصد |
|-----------------------------|--------------------------------|------|
| کشاورزی، گلخانه، دام و طیور | ۲۱۰۶۷                          | ۸۵   |
| صنعت، معدن و تجارت          | ۱۲۰۰                           | ۵    |
| شرب و بهداشت و فضای سبز     | ۸۰۳                            | ۳    |
| آبی‌پروری                   | ۱۶۰۲                           | ۷    |
| مجموع                       | ۲۴۶۷۶                          | ۱۰۰  |

آورد رودخانه با مجموع نیاز محیط‌زیستی و مصرف واقعی سال آبی نرمال (سال ۹۹-۱۳۹۸) با درجه اعتماد ۸۰ درصد در شکل (۱-الف و ب) مقایسه شده است. شکل (۱-الف) حقایق محیط‌زیست بر اساس سند ملی خشکسالی و شکل (۱-ب) بر اساس مطالعات محققان در حوضه‌های مختلف استان خوزستان محاسبه شده است (بنی‌حبيب و همکاران، ۱۳۹۸؛ حمادی و همکاران، ۱۳۹۴؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۶). درجه اعتماد ۸۰ درصد به مفهوم آن است که از هر ۱۰ سال ۲ سال خشکسالی اتفاق بیفتد. با مقایسه مجموع نیاز مصرف کشاورزی و محیط‌زیست با آورد رودخانه‌ها با اعتماد ۸۰ درصد ملاحظه می‌شود که با فرض استفاده از سند ملی خشکسالی، مصرف واقعی و محیط‌زیست در حوضه کرخه ۲۳/۸ درصد کمتر از آورد رودخانه است حال آنکه این شرایط در کارون بزرگ ۳۶ درصد و در حوضه جراحی به ۷۲- درصد کاهش یافته است. به این مفهوم که در حوضه جراحی شرایط به‌گونه‌ای است که حداقل نیاز محیط‌زیست تأمین نشده است. این در حالی است که مصرف واقعی کشاورزی در سطح هر حوضه بیش از این مقدار است. به عنوان نمونه ۶۴/۴ درصد از خوزستان در اقلیم فراخشک گرم واقع شده و تبخیر-تعرق ناشی از علف‌های هرز در سطح مزارع و به‌ویژه باغات که در فصل تابستان برای خنک‌کردن محیط اطراف درخت نگهداری می‌شوند و یا تبخیر از سطوح مرطوب نهرها و کانال‌ها (که غالباً دارای علف هرز بوده و به صورت مستمر تبخیر-تعرق دارند) و یا سطوح مزارعی که به تازگی آبیاری شده‌اند و در معرض نور شدید آفتاب قرار دارند و موارد مشابه قابل ملاحظه بوده اما در این محاسبات وارد نشده است.



آب نسبت به نیاز کشاورزی و محیط‌زیست متفاوت است که این امر ضرورت برنامه‌ریزی پویا را متناسب با فعالیت‌های کشاورزی و سیاست‌های حمایتی در هر حوضه نشان می‌دهد. به‌طور مثال حوضه کرخه ظاهراً بهترین شرایط را در منابع و نیازهای آبی دارد (شکل ۱) حال آنکه مشخص است پس از سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ که یک سال نرمال بود، این حوضه تنش‌های آبی شدیدی را به همراه مناقشات اجتماعی-سیاسی پشت سر گذاشت (ایرنا، ۱۴۰۰). این امر در نتیجه عدم توجه به روند تغییرات آورد رودخانه و میزان پایداری آن نسبت به زمان در توسعه فعالیت‌های کشاورزی است. برای تحلیل این موضوع آورد رودخانه‌های کارون و کرخه در یک بازه زمانی ۵۰ ساله منتهی به سال آبی ۹۸-۱۳۹۷، با یکدیگر مقایسه شد (شکل ۲ و ۳). همان‌طور که ملاحظه می‌شود آورد رودخانه کرخه رفتار نوسانی بیشتری را نسبت به کارون نشان داده (ضریب تغییرات ۵۳ در مقابل ۴۱ درصد) به نحوی که آوردهای حداکثر نسبی بیشتر و دوره‌های خشکی شدیدتری را تجربه کرده است. این رفتار در تحلیل خطی میانگین آوردها قابل پیش‌بینی نیست، لذا با وجود اینکه در شرایط نرمال، طبق شکل (۱)، منابع و نیازهای حوضه همخوانی خوبی داشته است، تجربه بیانگر وجود تنش‌های آبی شدید در این حوضه است. تعریف انواع بیمه‌های خشکسالی، اجرای زیرساخت‌های خرید موقت حق آبه توسط دولت و دیگر سیاست‌های حمایتی در حوضه‌هایی مانند کرخه که رفتار نوسانی شدید دارند، می‌تواند بسیار مفید باشد. نکته حائز اهمیت آن است که در محاسبات مصرف واقعی آب، صرفاً نیاز خالص آبیاری لحاظ شده است که با مقادیر حقیقی مصرف آب متفاوت است. در این شرایط تبخیر سطحی از کانال‌ها، آبراهه‌ها و سطح خاک، تعرق علف‌های هرز، انواع نشت و نفوذ از کانال‌ها و آبراهه‌ها و سایر شکل‌های مختلف دیگر مصرف لحاظ نشده است. بنابراین مجموع نیاز آبیاری خالص و نیاز محیط‌زیست محاسبه شده، حداقل نیاز آبی حوضه در استان خوزستان است و اعداد برداشت آب در شرایط واقعی بیشتر است. طبق مطالعات ۲۰ درصد برداشت آب به عنوان آب برگشتی برای مصارف کشاورزی در نظر گرفته می‌شود که البته تمامی آن به دلیل آلودگی، قابل استفاده مجدد نیست (شاهدی و طالبی‌حسین‌آباد، ۱۳۹۵). جدول (۲) مصرف واقعی آب و نیاز محیط‌زیست هر حوضه را با آورد رودخانه مقایسه کرده است. در این جدول ۲۰ درصد آب برگشتی و ۸۰ درصد مصرف واقعی آب (اعم از مفید و غیرمفید) از آب برداشتی برای مصارف بخش کشاورزی در نظر گرفته شده است. در این صورت در شرایط مدیریت مبتنی بر راندمان‌های واقعی کاربرد آب در مزرعه، انتقال و توزیع و با توجه به سطح زیرکشت و عملکرد محصولات زراعی و باغی سال ۹۹-۱۳۹۸، میزان آب باقیمانده از آورد رودخانه‌های استان بین ۱۸/۸ تا ۱۸۱/۶- درصد متغیر بوده که بیانگر کمبود شدید آب می‌باشد. وقوع سیلاب کم‌سابقه در سال آبی مذکور و

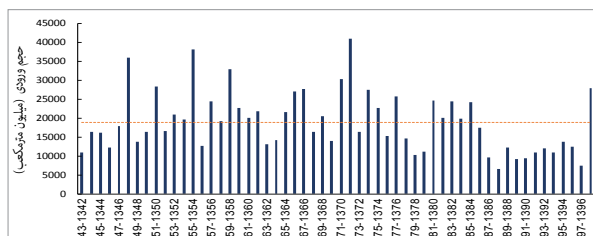


شکل ۱- مقایسه مجموع نیاز خالص آبیاری و محیط‌زیست در زیرحوضه‌های استان خوزستان در سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ (مبنای حقابه محیط‌زیست از برنامه سازگاری با خشکسالی (شکل الف) و مطالعات مستند (شکل ب) اخذ شده است)

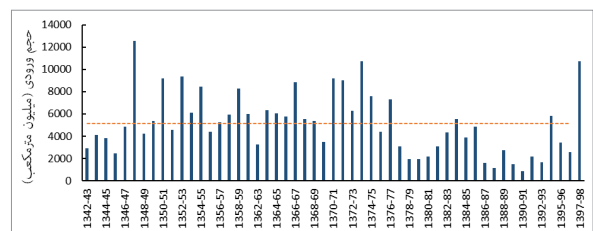
تحلیل‌ها بر اساس نیاز محیط‌زیست پیشنهادی توسط محققان (شکل ۱-ب) نیز شرایط مشابهی داشته با این تفاوت که درصد باقیمانده از آورد رودخانه جراحی ۵/۸- درصد و مجموع کل استان ۱۰/۵ درصد است. مجموع این نتایج نشان می‌دهد علی‌رغم استفاده از داده‌های هواشناسی در شرایط نرمال و در نظر گرفتن حداقل مصارف کشاورزی، میانگین درصد باقیمانده از آورد رودخانه کمتر از استانداردهای جهانی است که در ادامه با معرفی و بکارگیری یک شاخص مناسب این مهم ارزیابی خواهد شد. یکی از عوامل تأثیرگذار، توسعه کشاورزی به صورت افزایش سطح زیرکشت و نوع الگوی کشت است که هر دو می‌توانند در افزایش میزان مصرف آب در سطح حوضه دخالت داشته باشند.

طی سال آبی مورد مطالعه در حوضه جراحی میزان آورد رودخانه با احتمال ۸۰ درصد، کمتر از حداقل مقدار مصرف آب کشاورزی و نیاز محیط‌زیستی است (شکل ۱) که نشانگر شرایط بد محیط‌زیستی است. از سوی دیگر این مقادیر برای حوضه کارون بزرگ، متناسب با در نظرگیری نیاز محیط‌زیستی حاصل از مطالعات و یا برنامه سازگاری با خشکسالی، می‌تواند کاملاً متفاوت باشد. نکته قابل توجه آنکه نمودار شکل (۱) متناسب با هر حوضه آبریز و برای سال نرمال آبی تهیه شده است، لذا در هر سال آبی بسته به شرایط خشکسالی و ترسالی و میزان آورد رودخانه، کمبود یا مازاد





شکل ۲- حجم جریان سالانه رودخانه کارون در ایستگاه هیدرومتری گتوند و تله زنگ



شکل ۳- حجم جریان سالانه رودخانه کرخه در ایستگاه هیدرومتری پای پل

پرشیدن مخازن آب و همچنین بارش‌های فرا نرمال، باعث تأمین آب مورد نیاز محصولات و افزایش حجم تولید شد، ولی توسعه زیرساخت‌های کشاورزی و ایجاد حقابه‌های مبتنی بر آن می‌تواند زنگ خطر جدی در ۸۰ درصد مواقع آورد رودخانه‌های استان باشد، به نحوی که در صورت رسیدن به شرایط بهینه راندمان‌های انتقال، توزیع و کاربرد آب در مزرعه (که عملاً غیرقابل دسترسی است)، میزان باقیمانده آب آورد رودخانه‌های استان ۵۸/۲ تا ۹۹/۶- درصد با متوسط ۱۳/۲ درصد متغیر خواهد بود (جدول ۲). این اعداد بیانگر فشار بسیار زیاد کشاورزی بر منابع آب استان خوزستان است به نحوی که در صورت دستیابی به بهترین حالت نیز کمبود منابع آب استان بسیار مشهود است. از سوی دیگر دستیابی به عملکرد بهینه در مزارع و باغات استان مستلزم افزایش مصرف (تبخیر/تعرق پتانسیل) و فشار مضاعف بر منابع آب است حال آنکه اعداد و ارقام بیانگر آن است که مدیریت منابع آب استان نیاز مبرم به کاهش حجم آب کشاورزی دارد.

جدول ۲- مقایسه آورد رودخانه با احتمال ۸۰ درصد با نیاز محیط زیستی و مصرف واقعی آب در سال آبی ۹۹-۱۳۹۸

| نیاز محیط زیست        |      | مصرف واقعی (۸۰ درصد آب برداشتی) <sup>*</sup> |      | باقیمانده آورد رودخانه با احتمال ۸۰ درصد |       |
|-----------------------|------|----------------------------------------------|------|------------------------------------------|-------|
| براساس برنامه سازگاری |      | راندمان‌های واقعی                            |      | راندمان‌های واقعی                        |       |
| با خشکسالی            |      | راندمان‌های بهینه                            |      | راندمان‌های بهینه                        |       |
|                       |      | (۶۵ درصد)                                    |      | (۴۶/۹ درصد)                              |       |
|                       |      | (۶۵ درصد)                                    |      | (۶۵ درصد)                                |       |
| حوضه آبریز            |      | میلیون مترمکعب در سال                        |      | درصد                                     |       |
| کرخه                  | ۱۶۱۰ | ۱۵۳۹                                         | ۷۳۴  | -۱۷/۰                                    | ۱۳/۳  |
| کارون بزرگ            | ۴۲۲۰ | ۱۰۷۶۷                                        | ۴۹۱۵ | -۳۱/۵                                    | ۱۹/۹  |
| جراحی                 | ۱۴۷۵ | ۱۹۵۸                                         | ۹۵۸  | -۱۸۱/۶                                   | -۹۹/۶ |
| زهره                  | ۲۸۵  | ۸۲۴                                          | ۲۸۶  | ۱۸/۸                                     | ۵۸/۲  |
| کل استان              | ۷۵۹۰ | ۱۵۰۸۸                                        | ۶۸۳۳ | -۳۶/۰                                    | ۱۳/۲  |

نظر گرفته شود، طبق این شاخص شرایط استان خوزستان برای راندمان‌های واقعی در درجه ضعیف (با شاخص ۹۰/۵) و برای راندمان‌های بهینه در درجه نامطلوب (با شاخص ۴۱) قرار خواهد گرفت. باید توجه داشت که محاسبات برای یک سال آبی نرمال (سال ۹۹-۱۳۹۸) صورت گرفته و انتظار نمی‌رود که در شرایط خشکسالی، نرخ کاهش نیاز آبی بخش کشاورزی متناسب با آن کاهش یابد و مسلماً در این شرایط کیفیت شاخص مورد بررسی به شدت کاهش خواهد یافت. مجموع این نتایج نشان می‌دهد علی‌رغم استفاده از داده‌های هواشناسی در شرایط نرمال و در نظر گرفتن حداقل مصارف کشاورزی، میانگین درصد باقیمانده از آورد رودخانه کمتر از استانداردهای جهانی است.

با توجه به اینکه دستیابی به راندمان‌های بهینه انتقال، توزیع و مصرف آب کشاورزی عملاً بسیار دشوار و یا غیرممکن است و برداشت آب برای شرب و صنعت در این محاسبات لحاظ نشده است، باید پذیرفت توسعه غیرمتناسب با منابع آب در بخش

عوامل مختلف هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و اجتماعی در تعیین کمترین حد ذخیره آب در یک رودخانه یا حوضه آبریز مؤثر بوده و برای این منظور شاخص‌های مختلفی جهت بهینه‌سازی معرفی شده که از جمله آن‌ها شاخص‌های تعیین مناسبات اکولوژیکی<sup>۲</sup> است (Eriyagama و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از مهم‌ترین شاخص‌های اکولوژیکی طبق نظر Steinmetz و Sundqvist (۲۰۱۴) حد تنظیم جریان آب حوضه، نسبت حجم ذخیره کل به حجم آورد سالانه، است (حجم ذخیره کل معادل با مصرف واقعی آب کشاورزی فرض شده است که پس از برداشت آب در مقیاس حوضه آبریز عملاً به جریان حوضه برگشت نخواهد داشت) که به پنج بازه شرایط خیلی خوب (۰)، خوب (۰-۹/۹۹)، متوسط (۱۰-۱۹/۹۹)، نامطلوب (۲۰-۴۹/۹۹) و ضعیف (۵۰-۱۰۰) تقسیم شده است. با فرض آنکه حجم ذخیره معادل با مصرف واقعی آب از جدول (۲) و حجم آورد سالانه با احتمال ۸۰ درصد آب‌های سطحی استان خوزستان به عنوان آورد سالانه در

1-<http://niwr.ir>

2-Indicators to measure ecological integrity (ecosystems)

## منابع

ایرنا. (۱۴۰۰). جیره‌بندی آب کشاورزی در رودخانه کرخه. کد خبر

<https://irna.ir/xjHzVr.84656634>

احمدی، کریم، عبادزاده، حمیدرضا، حاتمى، فرشاد، عبدشاه، هلداد، و کاظمیان، آرزو. (۱۳۹۹). آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۸، جلد سوم: محصولات باغبانی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، تهران، ایران.

احمدی، کریم، عبادزاده، حمیدرضا، حاتمى، فرشاد، محمدنیا افروزی، شهریار، اسفندیاری‌پور، الهام، و عباس‌طاقانی، رضا. (۱۴۰۰). آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۸-۹۹، جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، تهران، ایران.

بنی‌حبیب، محمد ابراهیم، نجفی‌مرغملکی، سجاد، و شبستری، محمدهادی. (۱۳۹۸). مدل برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب برای بررسی و پیش‌بینی تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالهوریزه از حوضه‌های آبریز ترکیه، عراق و ایران. مجله پژوهش آب ایران، ۱۳(۳۲-۱)، ۱۱۵-۱۲۶.

بی‌نام. ۱۴۰۰. برنامه سازگاری با کم آبی خوزستان. ویرایش چهارم (نهایی). کارگروه ملی سازگاری با کم آبی. ۶۶ صفحه.

حمادی، کاظم، نوذریان، لیلا، و حسونی‌زاده، هوشنگ. (۱۳۹۴). محاسبه نیاز آب زیست‌محیطی حوضه کارون بزرگ و زیرحوضه آبریز کارون علیا. دو فصلنامه تخصصی علوم و مهندسی آب، ۵(۱۱)، ۳۵-۴۵.

زوله، مهرداد، و جمشیدی، امین‌رضا. (۱۳۹۰). اهمیت الگوی کشت در جهت توسعه پایدار کشاورزی و ارائه راهکارهای مناسب برای اصلاح آن. اولین همایش ملی راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار، ۵ خرداد ماه، اهواز، ایران.

سالیانی، طوبی. (۱۳۷۵). طراحی الگوی کشت در طرح‌های توسعه منابع آب با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی خطی در نرم‌افزار EXCEL. نشریه اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۴(۱۵)، ۹۱-۱۱۰.

سلامتی، نادر، ورجاوند، پیمان، آبسالان، شکراله، عزیزی، آذرخش، گوشه، سید محی‌الدین، حبیبی‌اصل، جعفر، نادری، احمد، جعفرنژادی، علی‌رضا، و لک‌زاده، ایرج. (۱۳۹۷). ارزیابی راندمان توزیع در شبکه‌های آبیاری استان خوزستان. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران. شماره فروست ۵۴۰۳۰.

کشاورزی برای اکوسیستم استان خوزستان و جوامع انسانی بسیار خطرناک است. از سوی دیگر با توجه به هزینه بالای اجرای زیرساخت‌های کشاورزی استان، به نظر بهترین راهکار موجود، تغییر الگوی کشت به نفع محصولات کم آب‌بر در کنار افزایش راندمان آبیاری و کنترل آب تحویلی به بخش کشاورزی به منظور تأمین حق‌آبه محیط‌زیست است. نکته قابل‌توجه آن است که به منظور تأمین آب مصرفی در بخش کشاورزی، نیاز است بخشی از آب سطحی حوضه به‌وسیله سدها و سازه‌های آبگیر و سیستم‌های پمپاژ کنترل شود، لذا این موضوع مسئله سیلاب‌ها و شرایط وقوع آن را به شدت تحت تأثیر قرار خواهد داد. این مقدار کنترل در واقع آب مورد نیاز جهت برداشت در بخش کشاورزی است که با توجه به محاسبات انجام شده برای سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به ترتیب ۶۴، ۷۸ و ۱۱۳ درصد آورد رودخانه‌های استان خوزستان در سه بازه زمانی درازمدت، احتمال وقوع ۶۰ و ۸۰ درصد می‌باشد. این نسبت کنترل و انحراف آب‌های سطحی استان می‌تواند سیلاب‌های طبیعی و مناطق تحت پوشش (خروجی‌های حوضه‌های آبریز منتهی به استان) را به شدت تحت تأثیر قرار داده و تأمین آب دوره‌ای این مناطق را با مخاطره جدی مواجه سازد.

## نتیجه‌گیری

تحلیل الگوی کشت رایج استان خوزستان از دیدگاه مدیریت برداشت آب از منابع سطحی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸، که جزء سال‌های نرمال آبی به شمار می‌رود، نشان داد که کل برداشت آب از منابع سطحی برای تناوب و سطح زیرکشت به استثنای گلخانه‌ها، دام و طیور و برخی محصولات با سطح اندک (که در مجموع حدود ۴ درصد سطح زیرکشت می‌باشد) ۱۸۸۵۶ میلیون مترمکعب است که از این مقدار ۴۳۱۰ میلیون مترمکعب مصرف واقعی (نیاز خالص آبیاری) را تشکیل می‌دهد. با مبنا قراردادن داده‌های سند ملی خشکسالی، مجموع نیاز مصرف کشاورزی و محیط‌زیست با درجه اعتماد ۸۰ درصد در حوضه کارون بزرگ و کرخه به ترتیب ۳۶/۰ و ۲۳/۸ درصد کمتر از آورد رودخانه‌ها بود؛ حال آنکه در حوضه جراحی به ۷۲/۰- درصد کاهش یافت که بیانگر عدم تأمین حداقل نیاز محیط‌زیست است. باید توجه داشت که آورد رودخانه کرخه در سال‌های مختلف نسبت به کارون نوسان زیادی داشته به نحوی که این رفتار در تحلیل خطی میانگین آوردها قابل پیش‌بینی نیست. از این‌رو در خشکسالی‌ها عدد ۲۳/۸ درصد به مقادیر کمتر کاهش خواهد یافت. لذا برنامه‌ریزی پویا در زمینه الگوی کشت، ارائه انواع بیمه‌های خشکسالی، اجرای زیرساخت‌های خرید موقت حق‌آبه توسط دولت و دیگر سیاست‌های حمایتی در حوضه‌هایی مانند کرخه که رفتار نوسانی شدید دارد پیشنهاد می‌شود.

- شاهدی، مهری، و طالبی حسین آباد، فاطمه. (۱۳۹۵). یادداشت تحلیلی: آشنایی با مفاهیم پایه در سیستم منابع آب. نشریه آب و توسعه پایدار، ۳(۲)، ۱۱۷-۱۱۹. doi: [10.22067/TWSD.V3I2.63304](https://doi.org/10.22067/TWSD.V3I2.63304)
- عباسی، فریبرز، سهراب، فرحناز، و عباسی، نادر. (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۷(۶۷)، ۱۱۳-۱۲۸. doi: [10.22092/aridse.2017.109617](https://doi.org/10.22092/aridse.2017.109617)
- عزیزی، آذرخش، ورجاوند، پیمان، آسالان، شکراله، سلامتی، نادر، گوشه، سیدمحمی‌الدین، حبیبی‌اصل، جعفر، نادری، احمد، جعفرنژادی، علی‌رضا، و لک‌زاده، ایرج. (۱۳۹۸). ارزیابی راندمان انتقال در شبکه‌های آبیاری مدرن و سنتی استان خوزستان. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران. شماره فرست ۵۶۷۲۸.
- علیزاده، امین. (۱۳۸۱). طراحی سیستم‌های آبیاری، جلد اول. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). چاپ پنجم. مشهد، ایران.
- فرچ‌نیا، اصغر، و احمدی‌عدلی، رسول. (۱۳۹۰). اصلاح الگوی کشت دشت تبریز و کاهش مصرف آب گامی مؤثر در مقابله با بحران دریاچه ارومیه. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۱۸ بهمن ماه، کرمان، ایران.
- کریمی، سامان، سالاری‌جزی، میثم، و قربانی، خلیل. (۱۳۹۶). برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، انتقال منحنی تداوم جریان و مدل ذخیره رومیزی. مجله اکوهیدرولوژی، ۴(۱)، ۱۷۷-۱۸۹.
- مادح‌خاکسار، آزاده، و آینه‌بند، امیر. (۱۳۹۰). طراحی زراعی-اقتصادی الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان با تأکید بر منابع آب. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۹(۱)، ۲۸-۳۸. doi: [10.22067/GSC.V9I1.10492](https://doi.org/10.22067/GSC.V9I1.10492)
- محمدی، حمید، سرگزی، علی‌رضا، و سارانی، ولی‌اله. (۱۳۹۸). بررسی اثر افزایش کارایی مصرف آب بر تغییر الگوی کشت با تأکید بر اهداف سیاست‌گذاران و زیست محیطی در استان فارس. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۱(۱۰)، ۱۴۵-۱۵۸. doi: [10.22034/JEST.2019.15616](https://doi.org/10.22034/JEST.2019.15616)
- مردی، م. (۱۴۰۱). برنامه الگوی کشت محصولات زراعی سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در استان خوزستان. جلد اول، ویرایش پنجم. ۳۸ صفحه.
- مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران. (۱۳۹۴). مطالعات آمایش استان خوزستان. سازمان برنامه و بودجه استان خوزستان، اهواز، ایران.
- مولوی، حسین، لیاقت، عبدالمجید، و نظری، بیژن. (۱۳۹۵). ارزیابی سیاست‌های اصلاح الگوی کشت و مدیریت کم‌آبیاری با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم (مطالعه موردی: حوضه آبریز ارس). مجله مدیریت آب و آبیاری، ۶(۲)، ۲۱۷-۲۳۶. doi: [10.22059/TWIM.2017.63781](https://doi.org/10.22059/TWIM.2017.63781)
- نصابیان، شهریار، محمدی، حمید، و کیخا، علی‌رضا. (۱۳۹۳). تأثیر اصلاح الگوی کشت بر کاهش کود و آب فعالیت‌های کشاورزی: مطالعه موردی استان فارس. نشریه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۶(۳)، ۷۵-۹۱.
- Arthi, T., Lalitha, R., & Vallalkannan, S. 2018. Yield, crop response factor and water productivity of paddy under deficit irrigation condition. Res. J. Agric. Sci., 9, 291-295. doi: [4918-0702-2018-071](https://doi.org/10.4918-0702-2018-071)
- Doorenbos, J., & Kassam, A.H. (1979). Yield response to water. Irrigation and drainage paper, 33, 257.
- Elnmer, A., Khadr, M., & Zeidan, B.A. (2015). Optimal water productivity of crop pattern in central Nile delta, Egypt. In Proceedings of the 18th International Water Technology Conference (IWTC18), Sharm ElSheikh, Egypt. (pp. 12-14).
- Eriyagama, N., Smakhtin, V., & Udamulla, L. (2020). How much artificial surface storage is acceptable in a river basin and where should it be located: a review. Earth-Science Reviews, 208, 103294. doi: [10.1016-2020-103294](https://doi.org/10.1016-2020-103294)
- Fernández García, I., Lecina, S., Ruiz-Sánchez, M.C., Vera, J., Conejero, W., Conesa, M.R., Domínguez, A., Pardo, J.J., Lélis, B.C., & Montesinos, P. (2020). Trends and challenges in irrigation scheduling in the semi-arid area of Spain. Water, 12(3), 785. doi: [10.3390/w12030785](https://doi.org/10.3390/w12030785)
- Mahesh, R. (1999). Causes and consequences of change in cropping pattern: A location-specific study (p. 56). Kerala Research Programme on Local Level Development, Centre for Development Studies.
- Rawabdeh, H., Shatanawi, M., Scardigno, A., & Todorovic, M. (2010). Optimization of the cropping pattern in Northern and Southern part of the Jordan Valley under drought conditions and limited water availability. Economics of Drought and Drought Preparedness in a Climate Change Context. Options Méditerranéennes Série A, 95, 199-206.
- Steinmetz, M., & Sundqvist, N. (2014). Environmental impacts of small hydropower plants-a case study of Borås Energi och Miljö's hydropower plants. Master of Science thesis. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- USDA. (1997). Irrigation Guide. Natural Resources Conservation Service, (September), 754.

## Effects of Different Levels of drought Stress on Yield and Yield Components of Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd.*)

H. Beyrami<sup>1\*</sup>, R. Yazdani-Biouki<sup>1</sup>, M. Salehi<sup>2</sup>

1,2- Assistant Professor & Associate Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.

\*(Corresponding Author Email: beyrami.h@hotmail.com)

Received: 01-07-2023

Revised: 01-08-2023

Accepted: 12-08-2023

Available Online: 12-02-2024

## اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (رقم تیتیکاکا)

حسین بیرامی<sup>۱\*</sup>، رستم یزدانی بیوکی<sup>۱</sup>، معصومه صالحی<sup>۲</sup>

۱ و ۲- به ترتیب استادیار و دانشیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

\*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: beyrami.h@hotmail.com)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱

### Abstract

Due to the limited quality of water resources and considering that the majority of the country is arid and semi-arid, it is important to cultivate plants with a high tolerance to drought and salinity. This research was conducted to determine the effect of different moisture levels on yield and yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) under lysimetric conditions in the spring and autumn cropping seasons. Treatments included irrigation after draining 0.2, 0.4, 0.6, and 0.8 of the total available water (TAW). Irrigation was done based on the soil moisture depletion and the leaching requirement of about 20%. At the end, dry biomass, seed yield, and yield components were measured. The results showed that with an increase in the moisture depletion from 0.6 to 0.8 TAW, the biomass and seed yield had a significant decrease of 24 and 37% in the spring and 34 and 47% in the autumn cropping season, respectively. But the increase in moisture depletion from 0.2 to 0.4 and 0.4 to 0.6 did not cause a significant decrease in these traits. The results indicated that changes in moisture depletion levels caused significant differences in plant height ( $P<0.01$ ), stem diameter, and 1000-seed weight ( $P<0.05$ ) in spring cropping, but their effect on panicle length and width and the number of secondary stems was not significant. In the autumn cropping season, the results showed that changes in moisture levels caused significant differences in plant height and the 1000-seed weight ( $P<0.01$ ), but the effect on other yield components was not significant.

**Keywords:** Yield Components, Drought Stress, Soil moisture, Quinoa.

### چکیده

به دلیل محدودیت منابع آبی با کیفیت و قرارگیری بخش عمده مساحت کشور جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک، کشت گیاهان متحمل به تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری اهمیت دارد. تحقیق حاضر به منظور تعیین اثر سطوح مختلف رطوبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا رقم تیتیکاکا در شرایط لایسیمتری در دو کشت بهار و پاییز انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل، آبیاری پس از تخلیه ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ کل آب قابل دسترس بود. پس از کشت، آبیاری بر اساس میزان تخلیه رطوبت خاک و با لحاظ نیاز آبخوبی حدود ۲۰ درصد انجام گردید. در انتهای مرحله رسیدگی، بوته‌های کینوا برداشت و پس از خشک شدن، وزن خشک زیست‌توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت و اجزاء عملکرد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با افزایش تخلیه رطوبتی از ۰/۶ به ۰/۸ کل آب قابل دسترس، کاهش معنی‌دار ۲۴ و ۳۷ درصدی به ترتیب در میزان زیست‌توده و عملکرد دانه در کشت بهار و کاهش ۳۴ و ۴۷ درصدی در کشت پاییز مشاهده شد، اما افزایش تخلیه رطوبتی از ۰/۲ به ۰/۴ و ۰/۴ به ۰/۶ موجب کاهش معنی‌دار در این صفات نشد. همچنین نتایج نشان داد تغییرات سطوح تخلیه رطوبتی موجب اختلاف معنی‌دار ارتفاع بوته ( $P<0.01$ )، قطر ساقه و وزن هزار دانه ( $P<0.05$ ) در کشت بهار شد، اما اثر آن بر طول و عرض پانیکول و تعداد ساقه فرعی معنی‌دار نبود. در کشت پاییز تغییرات سطوح تخلیه رطوبتی موجب اختلاف معنی‌دار ارتفاع بوته و وزن هزار دانه ( $P<0.01$ ) شد، اما اثر آن بر بقیه اجزاء عملکرد در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود.

**واژه‌های کلیدی:** اجزای عملکرد، تنش خشکی، رطوبت خاک، کینوا.



کینوا<sup>۱</sup> جزو زیر خانواده کنوپودیاسه<sup>۲</sup> از خانواده آمارانتاسه بوده و طبق مستندات موجود، کینوا یک گیاه شورزیست اختیاری است و کشت آن تا شوری سطح دریا امکان پذیر است (Jacobsen و همکاران، ۲۰۰۱؛ Adolf و همکاران، ۲۰۱۳). کینوا یک گیاه مقاوم به خشکی و شوری معرفی شده است که در شرایط مختلف خاک و اقلیم قابلیت رشد و تولید محصول را دارد (تافته و امداد، ۱۴۰۰). این گیاه بومی کوه‌های آند در کشورهای بولیوی، شیلی و پرو است و بنام دانه مادر، خاویار سبزی و برنج اینکا هم معروف است. کینوا در طی ۵۰۰ سال به‌طور مداوم مورد تغذیه مردم آن مناطق در کشورهای: پرو، بولیوی، اکوادور و شیلی بوده است. کینوا گیاهی با ارزش غذایی مطلوب و پتانسیل بالای رشد در شرایط نامساعد محیطی است. ایران تنوع اقلیمی فراوانی دارد و به‌عنوان مثال کشت کینوا از نظر تولید به‌خصوص در مناطق جنوبی موجب ایجاد تنوع در محصولات زراعی و تولید پایدار و ایجاد افزایش درآمد کشاورزان و امنیت غذایی خواهد شد (جمالی و انصاری، ۱۳۹۸). به‌طور کلی، کینوا یکی از گیاهانی است که در بین شورزیست‌ها خصوصیات برجسته اقتصادی و زراعی دارد و علاوه بر تولید دانه‌های روغنی و پروتئین، از نظر تولید علوفه نیز حائز اهمیت است (Bhargava و همکاران، ۲۰۰۷). دانه کینوا منبع عالی از منگنز، آهن و پتاسیم، مس، روی و فسفر است و حاوی ویتامین‌های گروه ب از جمله ریبوفلاوین، تیامین و نیاسین است. کینوا مقدار پروتئین زیادتری نسبت به اکثر غلات داشته و کیفیت پروتئین آن بالاتر و توازن اسید آمینه بیشتری دارد. کینوا سیستم کارآمدی برای تنظیم فشار اسمزی برای تنش افزایش ناگهانی کلرید سدیم دارد (Hariadi و همکاران، ۲۰۱۰). کینوا را می‌توان در بسیاری از محیط‌های مبتلا به خشک‌سالی و یا تنش شوری که در حال حاضر بهره‌وری بسیار پایین دارند، کشت کرد (Jacobsen و همکاران، ۲۰۰۳؛ بیرامی و همکاران، ۱۳۹۸). در نواحی که آب عامل محدودکننده می‌باشد، افزایش بهره‌وری آب می‌تواند برای کشاورز بسیار مفیدتر از افزایش محصول باشد (English، ۱۹۹۰)؛ به عبارت دیگر هدف کم آبیاری، پایداری تولید محصول و رسیدن به بالاترین بهره‌وری نسبت به افزایش تولید محصول می‌باشد (Geerts، ۱۹۹۹؛ Oweis و Zhang). همکاران (۲۰۰۶) مشاهده نمودند کم آبیاری یک انتخاب ارزشمند برای پایداری در تولید محصول کینوا در نواحی مختلف بولیوی که دوره‌های خشک درون فصلی دارد، می‌باشد.

Hirich و همکاران (۲۰۱۴) آزمایش‌های مختلفی طی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ برای بررسی اثر کم آبیاری با استفاده از فاضلاب بر روی چند گیاه از جمله کینوا بررسی نمودند. در مطالعه مذکور شش سطح آبیاری از ۱۰۰ درصد آبیاری کامل تا ۵۰ درصد آبیاری کامل

را اعمال شد. در تمامی گیاهان بیشترین بهره‌وری آب و محصول زمانی که کم آبیاری در مرحله رشد رویشی اعمال شد، مشاهده شد. Algosaiibi و همکاران (۲۰۱۷) اثر دوره‌های مختلف آبیاری (دوبار در هفته، یکبار در هفته و یکبار در دوهفته) را بر روی رشد و عملکرد محصول کینوا در مصر بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد با افزایش حجم آب مصرفی صفات زراعی مانند شاخص برداشت، تعداد دانه و عملکرد محصول (دانه و علوفه) کاهش یافت. همچنین آنان مقدار ضرایب گیاهی کینوا در ابتدا، میانه و انتهای فصل رشد را به ترتیب ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ برآورد نمودند. Yazar و همکاران (۲۰۱۵) پاسخ محصول کینوا به آبیاری با آب غیر شور و شور در شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ در آدانا ترکیه را بررسی مزرعه‌ای کردند. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری کامل با آب غیر شور و آبیاری کامل با آب شور با شوری‌های متفاوت (۴۰، ۳۰، ۲۰ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر)، کم آبیاری با آب غیر شور (۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ آبیاری کامل) و کم آبیاری با آب شور ۴۰ دسی زیمنس بر متر بود. نتایج آنان نشان‌دهنده کاهش جزئی محصول دانه در آبیاری با آب شور تا سطح ۳۰ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با آب غیرشور بود.

جمالی و انصاری (۱۴۰۰) در تحقیق خود چهار سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی کینوا (به ترتیب T<sub>۱</sub>، T<sub>۲</sub>، T<sub>۳</sub> و T<sub>۴</sub>) را بررسی کردند. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین میزان شاخص CWSI به ترتیب در تیمارهای T<sub>۴</sub> (با ۰/۷۲) و T<sub>۱</sub> (با ۰/۰۵) مشاهده شد. مقادیر متوسط CWSI در تیمارهای مختلف T<sub>۱</sub>، T<sub>۲</sub>، T<sub>۳</sub> و T<sub>۴</sub> در روز قبل از آبیاری، به ترتیب برابر با ۰/۱۹، ۰/۴۸ و ۰/۷۲ بود. کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ۷۵ درصد نیاز آبی منجر به افزایش ۳/۸ برابری در شاخص CWSI شد. گلستانی فر و همکاران (۱۴۰۱) میزان نیاز آبی کینوا در آبیاری با آب حدود ۳/۹ دسی زیمنس بر متر ۵۵۳۴ متر مکعب بر هکتار را به دست آوردند. نتیجه تحقیقات مصطفائی و همکاران (۱۴۰۲) نشان داد اجزای عملکرد در مواجهه با شرایط کم آبیاری، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، نتایج سطوح آبیاری و تراکم نشان داد بالاترین عملکرد در ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم ۱۰۰ بوته به میزان ۴۲۶۸/۵۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد و سطح بهینه تراکم در سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب ۱۱۳، ۱۰۵ و ۸۰ بوته در متر مربع بود. مسکینی ویشکایی و همکاران (۱۴۰۲) بیان نمودند بیشترین عملکرد دانه کینوا در تیمار آبیاری کامل (۳۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) با نیاز آبی ۳۱۲ میلی‌متر بود. همچنین آنان گزارش نمودند، باوجود اینکه کینوا گیاهی متحمل به خشکی است اما باید توجه کرد اعمال تنش کم آبی در دو مرحله اولیه و میانی (مراحل حساس به تنش کم آبی گیاه کینوا)، موجب کاهش معنی‌دار عملکرد کینوا خواهد شد. Bozkurt Çolak و همکاران (۲۰۲۱) عملکرد و واکنش بهره‌وری آب کینوا را به کم آبیاری تنظیم شده (RDI)، خشکی



جزئی ناحیه ریشه (PRD) و کم آبیاری معمولی (DI) و آبیاری کامل (FI) با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی (SD) و قطره‌ای زیرسطحی (SSD) در منطقه مدیریتانه شرقی ترکیه بررسی نمودند. آنان در تحقیقات خود گزارش نمودند به نظر می‌رسد RDI (کم آبیاری تنظیم‌شده) و DI75 (کم آبیاری به اندازه ۷۵ درصد آبیاری کامل) جایگزین‌های خوبی برای FI برای تولید پایدار کینوا در مناطق مدیریتانه‌ای هستند.

باتوجه به اهمیت کینوا به عنوان یک گیاه زراعی مقاوم به خشکی و شوری و همچنین وسعت رو به افزایش زمین‌های شور و نیز کاهش و کمبود منابع آب کشور و کاهش کیفیت آن، ضروری است با لحاظ ارزش غذایی این گیاه بر روی موضوعات نیاز آبی و نیز مناسب‌ترین مدیریت آبیاری آن در شرایط با و بدون محدودیت آب در مناطق مورد توصیه کشت کینوا تحقیقات جامعی به منظور توسعه کشت این محصول انجام پذیرد. بنابراین باتوجه به توسعه کشت کینوا در ایران در سال‌های اخیر یکی از مهمترین و اساسی‌ترین سؤالات در زمینه کشت این گیاه، اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد آن می‌باشد که در این تحقیق سعی شده به آن پاسخ داده شود.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در میکروولایسیمترهای تعبیه شده در مزرعه‌ای واقع در شهرستان یزد با مختصات جغرافیایی ۵۵° ۳۱' شمالی و ۱۶° ۵۴' شرقی انجام گرفت. شروع کشت پاییز، اول شهریور سال ۱۳۹۸ و شروع کشت بهار، اول اسفند سال ۱۳۹۸ بود. آزمایش‌ها در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تیمار شامل شروع آبیاری در سطوح تخلیه رطوبتی ۰/۸، ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۲ کل آب قابل‌دسترس<sup>۴</sup> در سه تکرار انجام گرفت. به این منظور تعداد ۱۲

عدد میکروولایسیمتر وزنی (از جنس پلی اتیلن) با ابعاد تقریبی ۵۰×۵۰×۴۰ سانتی‌متر تهیه شده و پس از پرکردن با خاکی با بافت سبک (لوم شنی که بافت غالب خاک منطقه است) با چگالی یکنواخت ۱/۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب، بر روی پایه و ترازوهای الکترونیکی مجزا قرار داده شدند (بیرامی و همکاران، ۱۳۹۹ الف). در قسمت پایینی میکروولایسیمترها برای زهکشی مناسب از شن ریز به عنوان فیلتر در ضخامتی حدود ۳ تا ۴ سانتی‌متر استفاده شد. تعیین ارتفاع میکروولایسیمترها (۵۰ سانتی‌متر) بر اساس بیشترین تراکم ریشه گزارش شده در تحقیقات بود. بر اساس تحقیقات Alvarez-Flores و همکاران (۲۰۱۴) بیشترین توسعه ریشه کینوا در عمق ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متری دیده شد، یعنی بیشترین تراکم ریشه در این عمق وجود داشت (۰/۳۵ cm root/cm<sup>3</sup> soil)، اما طول ریشه بستگی به شرایط محیطی می‌تواند بیشتر هم باشد اما در اعماق پایین تراکم ریشه به شدت کم می‌شود. Azhar و همکاران (۲۰۱۸) نیز حداکثر طول ریشه کینوا را حدود ۲۵ سانتی‌متر گزارش نمودند. خصوصیات عمومی فیزیکی (مانند بافت، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) و شیمیایی (مانند pH، EC) در خاک مورد نظر قبل از شروع آزمایش اندازه‌گیری شد (جدول ۱). برای اندازه‌گیری رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) خاک از دستگاه صفحات فشاری استفاده شد. خاک مورد نظر دارای کلاس بافت لوم شنی و متوسط بافت بوده (خاک مطلوب برای این گیاه شن لومی تا لوم شنی گزارش شده است (باقری، ۱۳۹۷)، دارای شوری نسبتاً بالا و pH خنثی بود. این خاک ماده آلی ناچیزی دارد و مقدار نیتروژن کل نیز در آن اندک بود. قبل از کاشت، لوازم و اتصالات آبیاری، مخازن ذخیره آب برای تأمین آب با شوری مورد نیاز تهیه شد. همچنین خصوصیات شیمیایی آب استفاده شده برای آبیاری در این پژوهش در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در زمان شروع آزمایش

| ویژگی | شن (%) | سیلت (%) | رس (%) | EC <sub>e</sub> (dS m <sup>-1</sup> ) | pH   | رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) (درصد حجمی) | رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) (درصد حجمی) |
|-------|--------|----------|--------|---------------------------------------|------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| مقدار | ۶۸/۵۸  | ۱۵/۴۲    | ۱۶     | ۵/۲                                   | ۷/۴۶ | ۲۵                                    | ۹                                         |

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری تیمارهای آزمایش

| ویژگی                  | EC (dS m <sup>-1</sup> ) | pH   | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | SAR  |
|------------------------|--------------------------|------|------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------|------|
| (meq l <sup>-1</sup> ) |                          |      |                  |                  |                  |                               |                 |                |                 |                               |      |
| مقدار                  | ۵/۰                      | ۸/۰۵ | ۳/۱۵             | ۸/۹              | ۰/۰              | ۲/۷۷                          | ۶۳/۳۲           | ۰/۱۷           | ۶۶/۵۱           | ۶/۲۶                          | ۲۵/۸ |

میزان تخلیه رطوبت خاک و اعمال ضریب آبشویی حدود ۲۰ درصد در هر نوبت انجام شد. برای محاسبه ضریب آبشویی از رابطه (۱) استفاده شد. در این رابطه LR ضریب آبشویی، EC<sub>iw</sub> هدایت الکتریکی آب آبیاری و EC<sub>e</sub> هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

کینوا به صورت بذری به طور یکنواخت در میکروولایسیمترها کشت و برای جلوگیری از اثر واحه‌ای و انتقال گرما از اطراف به میکروولایسیمترها، کشت بافر در پیرامون آن‌ها در مزرعه نیز انجام شد. آبیاری با آب دارای شوری ۵ دسی زیمنس بر متر بر اساس

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تخلیه رطوبتی بر اجزای عملکرد و عملکرد کینوا در کشت بهار در جداول (۳) و (۴) آورده شده است. همان‌طور که در این جداول دیده می‌شود، نتایج نشان داد تغییرات سطوح تخلیه رطوبتی موجب اختلاف معنی‌دار در صفات ارتفاع بوته ( $P < 0.01$ )، قطر ساقه و وزن هزاردانه ( $P < 0.05$ ) شده است، اما اثر آن بر صفات طول و عرض پانیکول و تعداد ساقه فرعی معنی‌دار نبود. با تغییر سطوح رطوبتی در حقیقت طول دوره آبیاری یا به عبارتی فواصل آبیاری تغییر می‌یابد که در این رابطه، Algosaibi و همکاران (۲۰۱۷) اثر دوره‌های مختلف آبیاری بر تغییرات رشد و عملکرد محصول کینوا در مصر و تغییر معنی‌دار عملکرد و اجزا عملکرد گیاه کینوا در اثر تغییرات حجم و دور آب مصرفی را گزارش نمودند. جمالی و همکاران (۱۳۹۵) نیز در تحقیق خود گزارش نمودند کاهش مقدار آب آبیاری و افزایش شوری سبب تغییر معنی‌دار عملکرد و اجزا عملکرد گیاه کینوا می‌شود. بررسی اثر تغییرات سطوح رطوبتی شروع آبیاری بر عملکرد زیست‌توده و عملکرد بذر و شاخص برداشت (جدول ۴) در کشت بهار نشان می‌دهد که تغییرات سطوح رطوبتی موجب تغییر معنی‌دار عملکرد زیست‌توده ( $P < 0.01$ ) و عملکرد بذر ( $P < 0.05$ ) شده است، اما بر مقدار شاخص برداشت اثر معنی‌دار نداشته است.

می‌باشد که گیاه دچار تنش نشود و عملکرد پتانسیل را داشته باشد که در مورد کینوا عدد شش دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد (صالحی و دهقانی، ۱۳۹۷).

(۱)  $LR = EC_{iw} / (5EC_e - EC_{iw})$

شروع آبیاری زمانی بود که میزان رطوبت به سطح مورد نظر (بر اساس تیمار خاص به یکی از سطوح ۰/۸، ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۲ کل آب قابل دسترس) برسد که باتوجه به پایش وزن هر میکرو لایسمتر در زمان‌های مختلف تعیین شد. پایش حجم (برای محاسبه بیلان آب مصرفی) و شوری زه‌آب (برای کنترل تغییرات شوری خاک) خروجی از ناحیه ریشه نیز در هر نوبت آبیاری انجام شد. میزان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بر اساس آزمون خاک و علائم کمبود به‌خصوص از نظر نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار در سه مرحله قبل از کشت، غنچه‌دهی و گل‌دهی، هر مرحله ۵۰ کیلوگرم در هکتار)، فسفر (۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات در هکتار قبل از کشت) و پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم در هکتار قبل از کشت) به‌صورت کودی به خاک اضافه شد. همچنین اجزای عملکرد (وزن دانه، وزن خشک کل زیست‌توده) و خصوصیات مورفولوژیک (طول بوته، طول پانیکول، عرض سنبله و ...) کینوا پس از برداشت حدود سه ماه پس از کشت (برداشت در کشت بهار در اوایل خرداد و در کشت پاییز در اوایل آذر) در هر دو کشت اندازه‌گیری شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2013 و برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SPSS 16.0 استفاده شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تخلیه رطوبتی بر اجزای عملکرد کینوا در کشت بهار (سال ۹۸-۹۹)

| منابع تغییرات    | درجه آزادی | ارتفاع بوته | تعداد ساقه فرعی    | قطر ساقه | طول پانیکول         | عرض پانیکول        | وزن هزاردانه |
|------------------|------------|-------------|--------------------|----------|---------------------|--------------------|--------------|
| تیمار            | ۳          | ۹۶/۸۶**     | ۰/۷۵ <sup>ns</sup> | ۱/۷۵*    | ۱۲/۲۳ <sup>ns</sup> | ۰/۸۳ <sup>ns</sup> | ۰/۷۶**       |
| خطا              | ۸          | ۱۰/۰۸       | ۱/۵۰               | ۰/۲۸     | ۳/۴۲                | ۰/۳۳               | ۱/۰۱         |
| ضریب تغییرات (%) | -          | ۶/۵۱        | ۱۶/۸۹              | ۹/۹۷     | ۱۶/۸۰               | ۱۸/۰۱              | ۴/۶۹         |

\*, \*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و ns عدم معنی‌داری

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تخلیه رطوبتی بر عملکرد کینوا و شاخص برداشت در کشت بهار

| منابع تغییرات    | درجه آزادی | زیست‌توده   | عملکرد دانه | شاخص برداشت          |
|------------------|------------|-------------|-------------|----------------------|
| تیمار            | ۳          | ۴۴۳۸۲۸۰/۴۴* | ۸۷۵۳۸۸/۵۳*  | ۰/۰۰۳۳ <sup>ns</sup> |
| خطا              | ۸          | ۷۳۲۹۵۰/۶۷   | ۱۴۱۴۰۳/۱۱   | ۰/۰۰۱۸               |
| ضریب تغییرات (%) | -          | ۱۰/۶۰       | ۱۴/۵۳       | ۱۳/۶۵                |

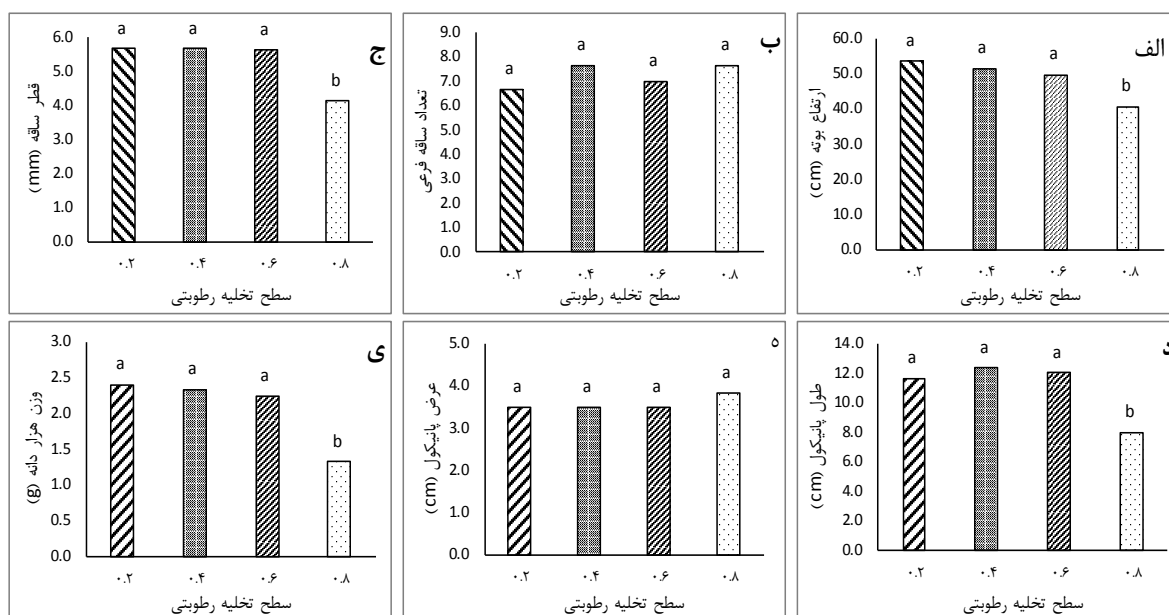
\*, \*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و ns عدم معنی‌داری

بوته نشده است، اما افزایش سطح تخلیه رطوبتی به ۰/۸ آب قابل دسترس موجب کاهش ۱۸ درصدی ارتفاع بوته نسبت به تیمار سطح تخلیه رطوبتی ۰/۶ آب قابل دسترس شده است. در مورد تعداد ساقه فرعی، طول پانیکول و عرض پانیکول اثر سطوح رطوبتی

نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح تخلیه رطوبتی مختلف بر اجزاء عملکرد کینوا در کشت بهار در شکل (۱) نشان داده شده است. در شکل (۱-الف) مشاهده می‌شود تغییرات سطوح تخلیه رطوبتی از ۰/۲ به ۰/۶ کل آب قابل دسترس موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع

معنی‌دار نبود یعنی میانگین این صفات اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد ندارند (شکل ۱). تیمار با سطح تخلیه رطوبتی برابر ۰/۸ کل آب قابل دسترس کمترین میزان قطر ساقه را دارد و اثر سطوح رطوبتی بر روی این پارامتر معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بود. وزن هزار دانه

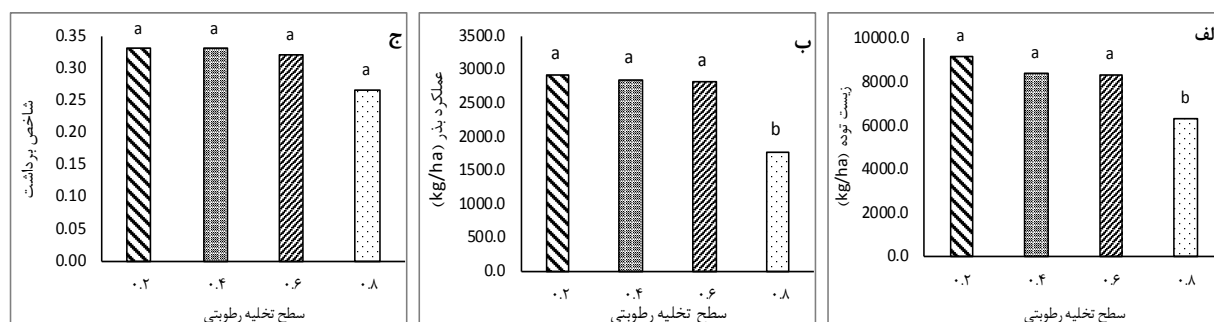
با افزایش سطح تخلیه رطوبتی شروع آبیاری از ۰/۶ به ۰/۸ یا به عبارتی با افزایش فواصل آبیاری کاهش معنی‌دار داشت. وزن هزار دانه در تیمار با سطح تخلیه رطوبتی برابر ۰/۸ با کاهش ۴۱ درصدی نسبت به سطح تخلیه رطوبتی ۰/۶ به مقدار ۱/۳ گرم رسید.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح رطوبتی بر ارتفاع بوته (الف)، تعداد ساقه فرعی (ب)، قطر ساقه (ج)، طول پانیکول (د)، عرض پانیکول (ه) و وزن هزاردانه (ی) کینوا در کشت بهار (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند)

در بین سطوح تخلیه رطوبتی مختلف بیشترین وزن زیست‌توده (۹۱۷۸ کیلوگرم در هکتار) در سطح تخلیه رطوبتی ۰/۲ آب قابل دسترس مشاهده شد (شکل ۲). با کاهش سطح تخلیه رطوبتی شروع آبیاری از ۰/۶ به ۰/۸، میزان وزن زیست‌توده کاهش ۲۴ درصدی داشت (شکل ۲-الف). کمترین میزان وزن زیست‌توده در سطح تخلیه رطوبتی ۰/۸ مشاهده شد که دلیل آن می‌تواند تنش ایجاد شده در اثر افزایش فاصله آبیاری باشد، اما بین تیمارهای

دیگر از نظر وزن زیست‌توده اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) مشاهده نشد. همچنین با افزایش سطوح تخلیه رطوبتی از ۰/۶ به ۰/۸ کل آب قابل دسترس، میزان عملکرد بذر کاهش ۳۷ درصدی داشت (شکل ۲-ب) ولی بین تیمارهای دیگر از نظر عملکرد بذر اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) مشاهده نشد. در مورد شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری بین تیمارها دیده نشد (شکل ۲-ج).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح رطوبتی بر وزن زیست توده (الف)، عملکرد بذر (ب) و شاخص برداشت (ج) کینوا در کشت بهار (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند)

جداول (۵) و (۶) به ترتیب نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح رطوبتی بر اجزای عملکرد و عملکرد کینوا در کشت پاییز را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد تغییرات سطوح رطوبتی موجب اختلاف معنی‌دار در صفات ارتفاع بوته و وزن هزار دانه ( $P < 0.01$ ) شده است، اما اثر آن بر بقیه اجزاء عملکرد در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. جدول (۶) نشان می‌دهد اثر تغییرات سطوح رطوبتی بر عملکرد زیست‌توده و عملکرد بذر معنی‌دار ( $P < 0.01$ ) بوده است، اما اثر آن بر مقدار شاخص برداشت معنی‌دار نبود. همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح رطوبتی مختلف بر اجزاء عملکرد کینوا در کشت بهار در شکل (۳) نشان داده شده است. در شکل (۳-الف) مشاهده می‌شود تغییرات سطوح تخلیه رطوبتی شروع آبیاری از ۰/۲ تا ۰/۶ موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته

نشده است، اما افزایش سطح تخلیه رطوبتی به ۰/۸ موجب کاهش ۲۳ درصدی ارتفاع بوته نسبت به تیمار سطح تخلیه رطوبتی ۰/۶ شده است. در مورد تعداد ساقه فرعی، قطر ساقه، طول پانیکول و عرض پانیکول اثر سطوح رطوبتی معنی‌دار نبود یعنی میانگین این صفات اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد ندارند (شکل ۳). وزن هزار دانه با افزایش سطوح تخلیه رطوبتی شروع آبیاری از ۰/۶ به ۰/۸ یا به عبارتی با افزایش فواصل آبیاری کاهش معنی‌دار داشت. وزن هزار دانه در تیمار با سطح تخلیه رطوبتی برابر ۰/۸ کل آب قابل دسترس با کاهش ۴۲ درصدی نسبت به سطح تخلیه رطوبتی ۰/۶ کل آب قابل دسترس به مقدار ۱/۴ گرم رسید. Sezen و همکاران (۲۰۱۶) بیان نمودند کم‌آبیاری و افزایش فواصل آبیاری موجب کاهش اجزای عملکرد به‌ویژه وزن هزار دانه شد.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر سطوح رطوبتی بر اجزای عملکرد کینوا در کشت پاییز (سال ۹۹-۱۳۹۸)

| منابع تغییرات    | درجه آزادی | ارتفاع بوته | تعداد ساقه فرعی    | قطر ساقه | طول پانیکول         | عرض پانیکول        | وزن هزاردانه |
|------------------|------------|-------------|--------------------|----------|---------------------|--------------------|--------------|
| تیمار            | ۳          | ۹۶/۸۶**     | ۰/۷۵ <sup>ns</sup> | ۱/۷۵*    | ۱۲/۲۳ <sup>ns</sup> | ۰/۸۳ <sup>ns</sup> | ۰/۷۶**       |
| خطا              | ۸          | ۱۰/۰۸       | ۱/۵۰               | ۰/۲۸     | ۳/۴۲                | ۰/۳۳               | ۱/۰۱         |
| ضریب تغییرات (%) | -          | ۶/۵۱        | ۱۶/۸۹              | ۹/۹۷     | ۱۶/۸۰               | ۱۸/۰۱              | ۴/۶۹         |

\*, \*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و ns عدم معنی‌داری

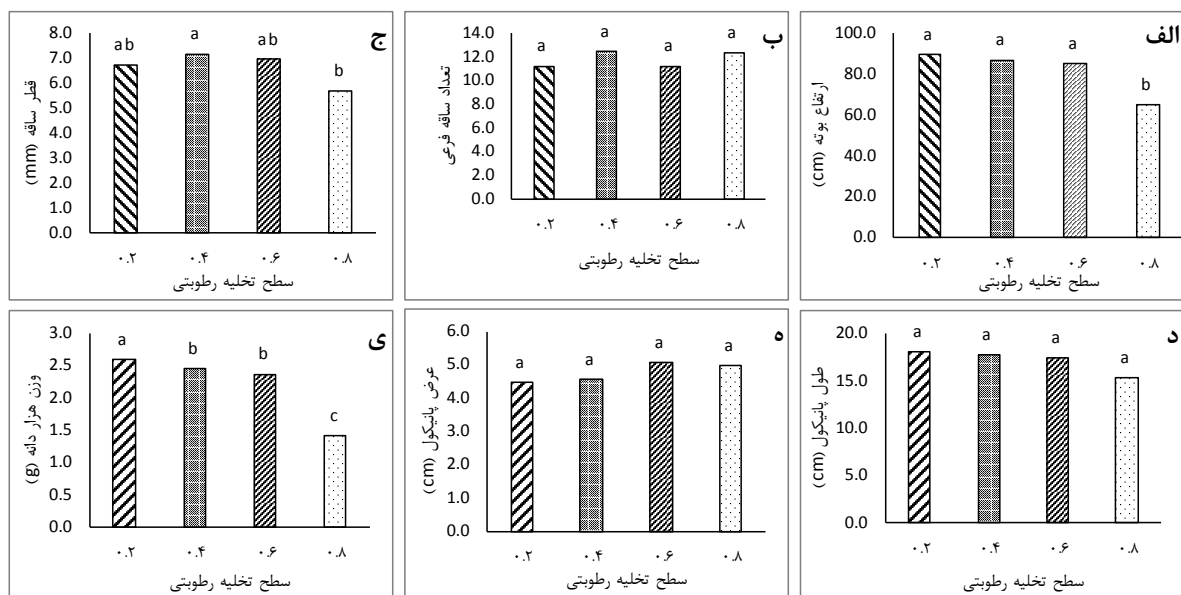
جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح رطوبتی مختلف بر عملکرد کینوا و شاخص برداشت در کشت پاییز

| منابع تغییرات    | درجه آزادی | زیست‌توده   | عملکرد دانه | شاخص برداشت          |
|------------------|------------|-------------|-------------|----------------------|
| تیمار            | ۳          | ۴۴۳۸۲۸۰/۴۴* | ۸۷۵۳۸۸/۵۳*  | ۰/۰۰۳۳ <sup>ns</sup> |
| خطا              | ۸          | ۷۳۲۹۵۰/۶۷   | ۱۴۱۴۰۳/۱۱   | ۰/۰۰۱۸               |
| ضریب تغییرات (%) | -          | ۱۰/۶۰       | ۱۴/۵۳       | ۱۳/۶۵                |

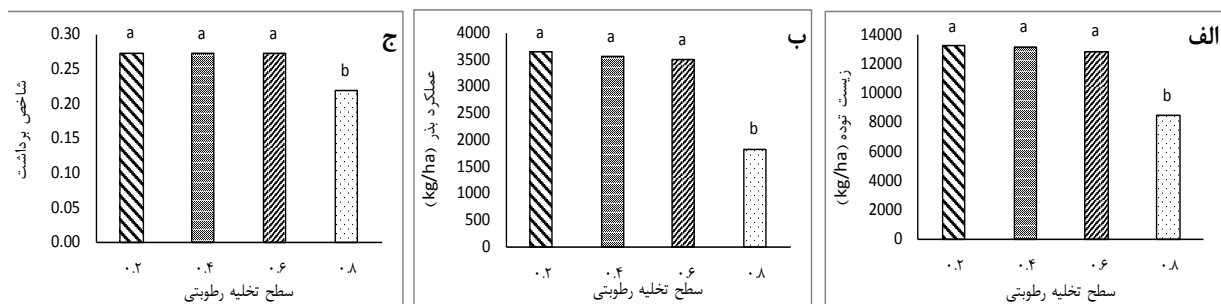
\*, \*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و ns عدم معنی‌داری

در بین سطوح رطوبتی مختلف بیشترین وزن زیست‌توده در کشت پاییز (۱۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سطح تخلیه رطوبتی ۰/۲ مشاهده شد. با افزایش سطح تخلیه رطوبتی از ۰/۶ به ۰/۸، میزان وزن زیست‌توده کاهش ۳۴ درصدی داشت (شکل ۴). کمترین میزان وزن زیست‌توده در سطح تخلیه رطوبتی ۰/۸ مشاهده شد که دلیل آن می‌تواند تنش ایجاد شده در اثر افزایش فاصله آبیاری باشد، اما بین تیمارهای دیگر از نظر وزن زیست‌توده اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) مشاهده نشد. همچنین با افزایش سطوح تخلیه رطوبتی از ۰/۶ به ۰/۸، میزان عملکرد بذر کاهش ۴۷/۵ درصدی داشت (شکل ۴-ب) ولی بین تیمارهای دیگر از نظر عملکرد بذر اختلاف معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) مشاهده نشد. در مورد شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری بین تیمارها دیده نشد (شکل ۴-ج).

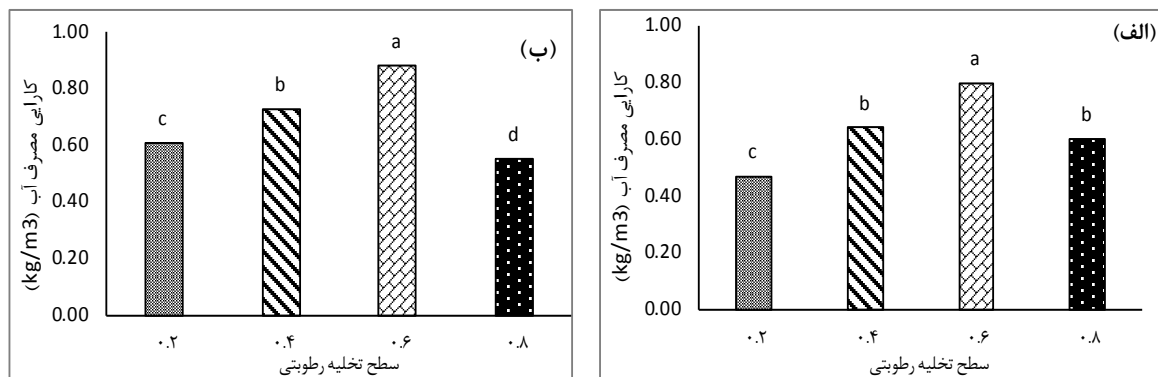
میزان تبخیر و تعرق تجمعی تیمارها مختلف (از سطح تخلیه رطوبتی ۰/۲ تا ۰/۸ درصد کل آب در دسترس) در کشت بهار بین ۶۱۸/۱ تا ۲۹۵/۵ میلی‌متر (نیاز آبی خالص ۶۱۸۱ تا ۲۹۵۵ مترمکعب در هکتار) و در کشت پاییز بین ۵۹۷/۸ تا ۳۳۴/۸ میلی‌متر (نیاز آبی خالص ۵۹۷۸ تا ۳۳۴۸ مترمکعب در هکتار) متغیر بود (باتوجه به اینکه ورودی و خروجی لایسمترها کاملاً مشخص و قابل کنترل است، بنابراین راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد). براساس اندازه‌گیری‌ها و محاسبات انجام شده، شاخص کارایی مصرف آب کینوا (WUE) در کشت بهار بین ۰/۴۷ تا ۰/۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب و در کشت پاییز بین ۰/۵۵ تا ۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود. بیشترین کارایی مصرف آب در کشت بهار و پاییز در سطح تخلیه رطوبتی شروع آبیاری برابر ۰/۶ کل آب قابل دسترس مشاهده شد (شکل ۵).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح رطوبتی بر ارتفاع بوته (الف)، تعداد ساقه فرعی (ب)، قطر ساقه (ج)، طول پانیکول (د)، عرض پانیکول (ه) و وزن هزار دانه (و) کینوا در کشت پاییز (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند)



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح رطوبتی بر وزن زیست توده (الف)، عملکرد پذر (ب) و شاخص برداشت (ج) کینوا در کشت پاییز (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند)



شکل ۵- کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف سطح تخلیه رطوبتی (الف) در کشت بهار، (ب) در کشت پاییز (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند)



نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با کاهش رطوبت خاک در شروع آبیاری تا سطح ۰/۴ کل آب قابل دسترس (یعنی حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی برابر ۰/۶) صفات رشدی و عملکردی کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد، اما با افزایش فواصل آبیاری یعنی شروع آبیاری در رطوبت خاک پایین‌تر (سطح تخلیه رطوبتی ۰/۸ کل آب در دسترس)، این صفات به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار می‌گیرند. Algosaiibi و همکاران (۲۰۱۷) بیان نمودند در پژوهشی که در ارتباط با اثر فواصل آبیاری بر روی عملکرد کینوا انجام دادند، افزایش در رشد رویشی تا دور آبیاری ۱۰ روز مشاهده شد. با این وجود در فواصل آبیاری طولانی‌تر یا به عبارتی، وقتی که در سطوح رطوبتی پایین‌تری آبیاری شروع می‌شود ایجاد تنش موجب کاهش وزن زیست‌توده و ارتفاع گیاه در فواصل آبیاری طولانی‌تر شده است. البته در برخی تحقیقات کاهش وزن زیست‌توده در دوره‌های آبیاری نزدیک‌تر یا فواصل آبیاری کوتاه‌تر مشاهده شده که ناشی از شستشوی عناصر غذایی و در نتیجه کاهش رشد رویشی بود (Davis و McDonald، ۱۹۹۶؛ بیرامی و همکاران، ۱۳۹۹ ب). Yazar و همکاران (۲۰۱۵) نیز بیان نمودند تنش آبی در تیمارهای کم‌آبیاری، عملکرد زیست‌توده گیاه را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. به عبارت دیگر شوری و تنش خشکی در کنار یکدیگر باعث افزایش مقاومت روزه می‌شوند. Jensen و همکاران (۲۰۰۰) و Jacobsen و همکاران (۲۰۰۳) بیان نمودند مکانیسم‌های متفاوتی از مقاومت به خشکی شامل فرار از خشکی، تحمل و اجتناب از خشکی در گیاه کینوا وجود دارد. این گیاه توانایی تنظیم پتانسیل آب برگ توسط تجمع یون‌های نمکی در بافت‌های خود دارد که گیاه را قادر به حفظ فشار تورژسانس سلولی و کاهش تعرق در شرایط شور می‌سازد (Jacobsen و همکاران، ۲۰۰۱؛ Gómez-Pando و همکاران، ۲۰۱۰). با این حال Yazar و همکاران (۲۰۱۵) بیان نمودند تجمع املاح در پروفایل خاک معمولاً در خاک‌هایی که از منابع آب شور، آبیاری می‌شوند، ایجاد می‌شود، بنابراین نیاز است که این تجمع نمک با استفاده از آبسویی از منطقه ریشه به لایه‌های عمیق‌تر خاک انتقال یابد. در این تحقیق مشاهده می‌شود که تا سطح رطوبتی حدود ۰/۴ TAW، گیاه به‌خوبی به تنش خشکی مقاومت داشته است و مقدار عملکرد دانه و زیست‌توده چندان تحت تأثیر معنی‌دار قرار نگرفته است. Algosaiibi و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان نمودند نیاز آبی کینوا پایین بوده و این گیاه می‌تواند در شرایط تنش رطوبتی بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد رشد نماید. با این وجود Gonzalez و Gallardo (۱۹۹۲) گزارش نمودند که سطح رطوبت خاک نقش مهمی در تعیین زمان و سرعت رشد بذر و نهال کینوا دارد. در این پژوهش، همچنین آبیاری در سطوح رطوبتی پایین‌تر به علت تنش خشکی مقدار عملکرد و برخی از صفات مورفولوژیک تا حدی کاهش یافته

است. وزن هزار دانه با کاهش سطح رطوبتی از ۰/۴ به ۰/۲ کل آب قابل دسترس به‌طور معنی‌دار کاهش داشته است، Sezen و همکاران (۲۰۱۶) و بیرامی و همکاران (۱۳۹۹ ب) کاهش وزن هزار دانه در اثر کم‌آبیاری را گزارش نمودند و بیان کردند تیمار آبیاری کامل بیشترین وزن هزار دانه را تولید نمود.

#### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی از این پژوهش می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که تغییرات سطوح مختلف رطوبتی شروع آبیاری موجب اختلاف معنی‌دار در برخی صفات مانند ارتفاع بوته و عملکرد دانه و زیست‌توده می‌شود، اما در برخی اجزای عملکرد تأثیر معنی‌دار ندارد. باتوجه به مقایسه میانگین‌های انجام یافته در عملکرد دانه و زیست‌توده مشاهده شد که این گیاه تا سطح تخلیه رطوبتی شروع آبیاری ۰/۶ کل آب قابل دسترس مقاومت خوبی در برابر تنش رطوبتی داشته و عملکرد دانه و زیست‌توده کاهش معنی‌دار نداشته است، اما با کاهش رطوبت شروع آبیاری یا به عبارتی افزایش تخلیه رطوبتی به ۰/۸ کل آب قابل دسترس کاهش معنی‌دار در عملکرد دانه و زیست‌توده مشاهده شد. باتوجه به نتایج مطالعات مختلف که نشان داده گیاه کینوا توانایی تنظیم پتانسیل آب برگ توسط تجمع یون‌های نمکی در بافت‌های خود دارد و گیاه را قادر به حفظ فشار تورژسانس سلولی و کاهش تعرق در شرایط شور می‌نماید و اینکه گیاه کینوا مکانیسم‌های متفاوتی جهت مقاومت به خشکی دارد، بنابراین کشت کینوا در مناطقی که دچار کمبود آب می‌باشند توصیه می‌شود.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1-Chenopodium quinoa Willd.
- 2-Chenopodiaceae
- 3-Amaranthaceae
- 4-Total available water

#### منابع

باقری محمود. (۱۳۹۷). زراعت کینوا. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، چاپ اول. کرج، ایران.

بیرامی، حسین، رحیمیان، محمدحسن، صالحی، معصومه، و یزدانی بیوکی، رستم. (۱۳۹۸). تأثیر سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر عملکرد و اجزاء عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa*) در کشت بهاره. تولید گیاهان زراعی، ۲(۴)، ۱۱۱-۱۲۰. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.16239.2209>

- Adolf, V.I., Jacobsen, S.E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.004>
- Algosaibi, A.M., Badran, A E, Almadini, A.M., & El-Garawany, M.M. (2017). The Effect of Irrigation Intervals on the Growth and Yield of Quinoa Crop and Its Components. *Journal of Agricultural Science*, 9(9), 182-191. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n9p182>
- Alvarez-Flores, R., Winkel, T., Nguyen-Thi-Truc, A., & Joffre, R. (2014). Root foraging capacity depends on root system architecture and ontogeny in seedlings of three Andean *Chenopodium* species. *Plant and Soil*, 380, 415-428. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2105-x>
- Azhar, M.F., Aziz, S., Aziz, A., Javaid, M., Aatif, H.M., Wasaya, A., Yasir, T.A., & Baloch, A.W. (2018). Morphological features of different accessions of *Chenopodium quinoa*. *Pure and Applied Biology*, 7(1), 374- 383. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2018.70046>
- Bhargava, A., Shukla, S., Rajan, S., & Ohri D. (2007). Genetic diversity for morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 54, 167-173. <https://doi.org/10.1007/s10722-005-3011-0>
- Bozkurt Çolak, Y., Yazar, A., Alghory, A., & Tekin, S. (2021). Yield and water productivity response of quinoa to various deficit irrigation regimes applied with surface and subsurface drip systems. *The Journal of Agricultural Science*, 159(1-2), 116-127. <https://doi.org/10.1017/S0021859621000265>
- English, M., (1990). Deficit irrigation. I. Analytical framework. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering - ASCE*, 116, 399-412. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1990\)116:3\(399\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1990)116:3(399))
- Gallardo, M.G., & Gonzalez, J.A. (1992). Efecto de algunos factor ambiental sobre la germinación de *Chenopodium quinoa* W. y susposibilidades de cultivo en algunas zonas de la Provincia de Tucumán (Argentina). *LILLOA*, XXXVIII, 55-64.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Del Castillo, C., & Buytaert, W. (2006). Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano, A case study (۱۳۹۹ الف). برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی دو گونه سالیکورنیا در یزد. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)، ۳۴(۳)، ۴۱۴-۴۰۱. <https://doi.org/10.22092/jwra.2020.342669.784>
- بیرامی، حسین، رحیمیان، محمدحسن، صالحی، معصومه، یزدانی بیوکی، رستم، شیران تفتی، مهدی، و نیکخواه، مجید. (۱۳۹۹ ب). تاثیر دور آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa*) در شرایط شور. دانش کشاورزی و تولید پایدار (دانش کشاورزی)، ۳۰(۳)، ۳۴۷-۳۵۷. <https://doi.org/20.1001.1.24764310.1399.30.3.20.5>
- تافته، آرش، و امداد، محمد رضا. (۱۴۰۰). تعیین ضرایب حساسیت عملکرد محصول نسبت به آب (Ky) در مدیریت های کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا. مدیریت آب در کشاورزی، ۸(۲)، ۱۰۱-۱۱۶. <https://doi.org/20.1001.1.24764531.1400.8.2.9.5>
- جمالی، صابر، شریفان، حسین، هزار جریبی، ابوالطالب، و سپهوند، نیازعلی. (۱۳۹۵). بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر جوانه زنی و شاخص های رشد دو رقم گیاه کینوا. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۱(۶)، ۸۷-۹۸.
- جمالی، صابر، و انصاری، حسین. (۱۳۹۸). اثر کیفیت آب و مدیریت آبیاری روی رشد و عملکرد گیاه کینوا. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۳(۳)، ۳۳۹-۳۵۲. <https://doi.org/20.1001.1.22287140.1398.33.3.3.2.2.9>
- جمالی، صابر، و انصاری، حسین. (۱۴۰۰). برنامه ریزی آبیاری گیاه کینوا تحت سطوح مختلف آبیاری با استفاده شاخص تنش آبی گیاه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۵(۶)، ۱۲۶۳-۱۲۷۴. <https://doi.org/20.1001.1.20087942.1400.15.6.3.3>
- صالحی، معصومه، و دهقانی، فرهاد. (۱۳۹۷). راهنمای کاشت، داشت و برداشت کینوا در شرایط شور. نشر آموزش کشاورزی، چاپ اول. تهران، ایران.
- گلستانی فر، فرزانه، خاشعی سیوکی، عباس، و محمودی، سهراب. (۱۴۰۱). تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی گیاه کینوا به روش لایسیمتری در دشت بیرجند. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۶(۴)، ۴۰۵-۴۲۰. <https://doi.org/10.22092/jwra.2023.360244.950>
- مسکینی ویشکایی، فاطمه، تافته، آرش، گوشه، محی الدین. (۱۴۰۲). تعیین نیاز آبی کینوا و ضرایب پاسخ به تنش کم آبی در مراحل مختلف رشد گیاه در اقلیم خوزستان. علوم آب و خاک، ۲۷(۱)، ۲۷۵-۲۸۶. <https://doi.org/20.1001.1.24763594.1402.27.1.18.2>
- مصطفائی، مسلم، جامی الاحمدی، مجید، صالحی، معصومه، و شهیدی، علی. (۱۴۰۲). بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته. پژوهش های زراعی ایران، ۲۱(۱)، ۲۹-۴۶. doi: [10.22067/JCESC.2022.74044.1126](https://doi.org/10.22067/JCESC.2022.74044.1126)

- dium quinoa) under Mediterranean conditions. *Crop and Pasture Science*, 66(10), 993-1002. 2015. <https://doi.org/10.1071/CP14243>
- Zhang, H., & Oweis, T. (1999). Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, 38, 195-211. DOI: [10.1016/S0378-3774\(98\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00069-9)
- for quinoa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139, 399-412. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.08.018>
- Go'mez-Pando, L. R., Ivarez-Castro, R., & Eguiluz-de la Barra, A. (2010). Effect of salt stress on Peruvian germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd., a promising crop. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 196, 391-396. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00429.x>
- Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S. E., & Shabala, S. (2010). Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of experimental botany*, 62(1), 185-193. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq257>
- Hirich, A., Choukr-Allah, R., Fahmi, H., Rami, A., Laajaj, K., Jacobsen, S., & El-Omari, H. (2014). Using deficit irrigation to improve crop water productivity of sweet corn, chickpea, faba bean and quinoa: a synthesis of several field trials. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 2(1), 15-22.
- Jacobsen, S.E., Quispe, H., & Mujica, A. (2001). Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. In: *Scientists and Farmer-Partners in Research for the 21st Century*. CIP Program Report 1999-2000, 403-408.
- Jacobsen, S.-E., Mujica, A., & Jensen, C.R. (2003). The Resistance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Adverse Abiotic Factors. *Food Reviews International*, 19, 99-109.
- Jensen C.R., Jacobsen S.E., Andersen M.N., Nuñez N., Andersen S.D., Rasmussen L., & Mogensen, V.O. (2000). Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European Journal of Agronomy*, 13, 11-25. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00055-1](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00055-1)
- McDonald, A.J.S., & Davis, W.J. (1996). Keeping in touch: Responses of the whole plant to deficits in water and nitrogen supply. *Advances in Botanical Research*, 22, 229-300. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)60059-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60059-2)
- Sezen, S.M., Yazar, A., Tekin, S., & Yildiz, M. (2016). Use of drainage water for irrigation of quinoa in a mediterranean environment. 2nd World Irrigation Forum (WIF2), Chiang Mai, Thailand.
- Yazar, A., Incekaya, C., Sezen, S.M., & Jacobsen, S.E. (2015). Saline water irrigation of quinoa (*Chenopo-*

## Providing a Risk Assessment and Management Model for Water and Sewage Infrastructures with the Passive Defense Approach (Case Study: The border Province)

S. E. Abtahi<sup>1\*</sup>, A. A. Amir Kardoost<sup>2</sup>, D. Sedaghat Shaygan<sup>2</sup>

1- Ph.D. Student in Civil Engineering-Construction Engineering and Management, Researcher at Imam Hossein University, Tehran, Iran. 2-Assistant Professor of Civil Department, Faculty of Engineering and Technology, Islamic Azad University, Rudehen Branch, Tehran, Iran.

\*(Corresponding Author Email: ehsan\_ab3001@yahoo.com)

Received: 01-07-2023

Revised: 26-08-2023

Accepted: 13-09-2023

Available Online: 16-02-2024

## ارائه مدل ارزیابی و مدیریت ریسک زیرساخت‌های حوزه آب و فاضلاب با رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: استان مرزی\*)

سیداحسان ابطی<sup>۱\*</sup>، علی اصغر امیر کار دوست<sup>۲</sup>، داوود صداقت شایگان<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-مهندسی و مدیریت ساخت، پژوهشگر دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. ۲- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، ایران.

\*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: ehsan\_ab3001@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷

### Abstract

The supply and distribution of sustainable drinking water is one of the most basic responsibilities of governments, and the protection and maintenance of water supply and distribution infrastructure is of particular importance. Currently, with the occurrence of natural threats such as drought and climate change in the country, the enemy can abuse these threats and carry out hostile actions such as creating disruptions or interrupting the provision of services as well as psychological operations to incite people against the government and sovereignty. Therefore, paying attention to drinking water infrastructure, industry, and agriculture is considered necessary and inevitable to increase resilience, continue essential activities, and facilitate crisis management. Our research method is practical and developmental in terms of purpose. The research approach is descriptive and analytical. The aim of this research is to provide an efficient model that helps identify the base threats and vulnerable points of the infrastructure of the border regions. In this article, in the form of a case study using the method of identifying and assessing the potential of natural and human hazards in a region (FEMA), firstly, the assets of the water and sewerage area of Marzi province have been identified and screened. Vulnerabilities are identified and assessed, and the risk of each asset is calculated. At the end, solutions are presented to reduce the risk to the water and sewage infrastructure of the border province.

**Keywords:** Fema Method, Threat Assessment, Vulnerability Assessment, Water and Wastewater Infrastructure.

### چکیده

تأمین و توزیع آب شرب پایدار، یکی از اساسی‌ترین مسئولیت‌های حکومت‌ها به شمار می‌آید و حفاظت و حفظ زیرساخت‌های تأمین و توزیع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در حال حاضر با بروز تهدیدات طبیعی از جمله خشکسالی و تغییر اقلیم در سطح کشور، دشمن می‌تواند با سوء استفاده از این تهدیدات و انجام اقداماتی خصمانه همچون ایجاد اختلال و یا وقفه در ارائه خدمات و همچنین عملیات روانی مردم را علیه دولت و حاکمیت تحریک نماید. بنابراین توجه به زیرساخت‌های آب شرب، صنعت و کشاورزی برای افزایش تاب‌آوری، تداوم فعالیت‌های ضروری و تسهیل مدیریت بحران امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شود. روش تحقیق در این پژوهش، به لحاظ هدف، کاربردی و توسعه‌ای می‌باشد. رویکرد پژوهش نیز، توصیفی و تحلیلی می‌باشد. هدف این پژوهش ارائه مدلی کارآمد که به شناخت تهدیدات مبنا و نقاط آسیب‌پذیر زیرساخت‌های مناطق مرزی کمک نماید، است. در این مقاله به صورت مطالعه موردی با استفاده از روش شناسایی و ارزیابی پتانسیل خطرهای طبیعی و انسانی در یک منطقه (FEMA)، ابتدا دارایی‌های حوزه آب و فاضلاب استان مرزی شناسایی و غربالگری شده است. سپس بر اساس تهدیدات مبنا احصاء شده آسیب‌پذیری‌ها به شناسایی و ارزیابی و ریسک هر یک از دارایی‌ها، محاسبه می‌شود. در پایان راهکارهایی برای کاهش خطر در زیرساخت‌های آب و فاضلاب استان مرزی ارائه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** روش FEMA، ارزیابی تهدید، ارزیابی آسیب‌پذیری، دارایی‌های حوزه آب و فاضلاب.

\* به دلیل محدودیت‌های پدافند غیرعامل، نام استان ذکر نشده است.



برنامه‌ریزی برای مناطق مرزی یکی از عرصه‌های نوین در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری برای توسعه کشور است (کریمی و وفایی، ۱۳۹۲). مرز به عنوان خطی است، که محدوده سرزمین کشورها را از هم جدا می‌کند. مناطق مرزی تاریخی به قدمت شکل‌گیری دولت‌ها دارند. تا قبل از شکل‌گیری دولت‌های نوین در عرصه سیاسی مناطق به صورت سرحدی اداره می‌شد. مناطق سرحدی به صورت نیمه مستقل اداره می‌شدند و به نوعی تحت حاکمیت مشترک دو امپراتوری مجاور بودند که با افزایش یا کاهش قدرت هر کدام از دیگری اطاعت می‌کردند. کنترل و امنیت در مناطق سرحدی نسبت به مناطق مرکزی پایین‌تر بود، در نتیجه مناطق سرحدی عوامل چندان قوی و دقیقی در جدایی مکانی و فضایی نبود. دسترسی به فناوری‌های پیشرفته و تعیین مختصات دقیق باعث شد، قوانین بین‌المللی در زمینه مرزها شکل بگیرد. در نتیجه مرزها به عنوان عواملی قوی در ایجاد فضایی خاص با ویژگی‌های منحصربه‌فردی نقش‌آفرینی کردند (Buzan و Waever، ۲۰۰۲).

فضایی که در مناطق مرزی ایجاد شده است، چالش‌ها و فرصت‌هایی را برای ساکنان آن منطقه ایجاد کرده است. به عنوان مثال مردمان ساکن در مناطق مرزی، نخستین شهروندان واقع در يك قلمرو سیاسی هستند، که با هرگونه تحول ایجاد شده در واحدهای سیاسی، روبه‌رو می‌شوند. تحولات بیان شده می‌توانند طیف وسیعی از دگرگونی‌ها از جمله تصمیم‌گیری‌های سیاستمداران برای افزایش یا کاهش همکاری بین مرزهایشان، تا وقوع جنگ را شامل شوند. از طرف دیگر، مناطق مرزی به علت مجاورت با کشورهای همسایه و شرایط جغرافیایی و سیاسی متمایز آن‌ها، ویژگی‌های خاص خود را دارند و باید به درستی مورد توجه قرار گیرند. فقدان توجه به مناطق مرزی، تهدید بزرگی در برابر توسعه و امنیت کشورها محسوب می‌شود. بنابراین باید در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های کشوری مورد توجه قرار گیرد. باید توجه داشت، بی‌توجهی به مناطق مرزی باعث عدم تعادل میان مناطق مرزی و مرکزی کشور می‌شود که بر توسعه این مناطق نیز تأثیر منفی خواهد گذاشت. مناطق مرزی در هر کشوری دارای ویژگی‌های خاصی بوده و به طور اساسی با مناطق داخلی کشور تفاوت‌هایی دارند (زرقانی و بخشی شادمهری، ۱۳۹۳).

کشور ایران به دلیل واقع شدن در منطقه خاورمیانه با مخاطرات، چالش‌ها و تحولاتی عمده در محیط امنیتی خود روبرو بوده و این یک واقعیت است که محیط راهبردی آن، از جمله امنیت ملی در معرض حوزه‌های متعدد ژئوپلیتیک بیرونی قرار دارد. مناطق بی‌ثبات همجوار ایران به خصوص در شرق کشور باعث دغدغه‌ها و نگرانی‌های اساسی شده و فقدان رشد دموکراسی و ناپایداری دولت‌های پیرامونی و گسترش اقتدار قومی آنها بر آسیب‌پذیری

مرزهای جغرافیایی و امنیتی ایران افزوده است. گذشته از این تهدیدات، موقعیت جغرافیایی استان‌های مرزی و حضور تعداد کثیری از اتباع بیگانه، سبب تشدید عملیات تروریستی در این استان‌ها شده و در نهایت بی‌ثباتی و بروز چالش‌های امنیتی را به دنبال داشته است. ضمناً کشور ایران به دلیل داشتن مرزهای بسیار طولانی، رویارویی با نظام استکباری آمریکا، رژیم صهیونیستی و گروه‌های تروریستی تحت حمایت این رژیم و رژیم‌های مرتجع منطقه و بی‌ثباتی اقتصادی در مناطق مرزی با ضعف‌های بسیاری مواجه است (اعظمی و همکاران، ۱۳۹۱).

اسناد بالادستی کشور از جمله قانون برنامه پنجم توسعه به صراحت در ماده ۲۰۱ قانون مذکور، به لزوم نقش پدافند غیرعامل در طراحی و ساخت زیرساخت‌های کشور اشاره شده است. این بدین معنا است که به کارگیری اصول و ضوابط حاکم بر پدافند غیرعامل در مطالعات مربوط به طراحی و ساخت زیرساخت‌ها از درجه اهمیت بالایی برخوردار است (سازمان پدافند غیرعامل، ۱۳۹۶).

همچنین برای تبدیل ریسک‌های مضر به ریسک‌های مثبت، انجام تحقیقات مرحله به مرحله در مورد پروژه‌ها، به کارگیری دانش سازمانی و آموختن درس‌هایی برای کاهش چالش‌های پروژه پیشنهاد شده است (Shahebrahimi و همکاران، ۲۰۲۲). بررسی و ارزیابی نقش الزامات پدافند غیرعامل و کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌های حوزه آب در مناطق مرزی، اقدامی ضروری است که تاخیر در آن باعث آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر هرگونه مخاطره می‌شود و در حال حاضر عمده‌ترین هدف پدافند غیرعامل، مصونیت‌سازی و کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌های مورد نیاز مردم است، تا به تدریج شرایطی را برای امنیت ایجاد نماید، از این رو می‌توان گفت که در جهت رسیدن به توسعه مطلوب و پایدار شهری باید مساله امنیت یا محافظت در برابر خطر به عنوان یک مورد ضروری در بطن زندگی مردم قرار داده شود.

آب به عنوان اصلی‌ترین نیاز بشر همواره مورد توجه بوده است. امروزه تأمین و توزیع آب شرب، یکی از اساسی‌ترین مسئولیت‌های حکومت‌ها به شمار می‌آید. اکثر کارشناسان جنگ بر این باور هستند که جنگ جهانی سوم بر سر آب خواهد بود. بنابراین، تأمین آب و حفاظت و حفظ زیرساخت‌های مربوط به آن حائز اهمیت است، زیرا تأسیسات آبرسانی جزء زیرساخت‌های اساسی هر کشور می‌باشد که همواره مورد توجه و تهدید دشمنان به اشکال مختلف بوده است (کاظمی بلگه شیری و گلستانه، ۱۳۹۳).

اهمیت آب شیرین و زیرساخت‌های آبی برای انسان و سلامتی اکوسیستم و عملکرد صحیح یک سیستم اقتصادی، صنعتی و تجاری موجب می‌شود که آب و سیستم‌های آبی اهدافی برای تروریسم باشند. زیرساخت‌های آبی را می‌توان مستقیماً مورد هدف قرار داده و یا اینکه آب را از طریق سموم و عوامل بیماری‌زا آلوده کرد. آسیب از طریق صدمه زدن به مردم، توزیع



آب غیرقابل استفاده و تخریب زیرساخت تصفیه و تأمین انجام می‌شود (آرمین و قربان‌نیا خیبری، ۱۳۹۸).

در این مقاله پرکاربردترین روش‌های ارزیابی ریسک شامل: دستورالعمل معیارهای طراحی فضا، ضوابط طراحی یکپارچه وزارت دفاع ایالات متحده آمریکا، راهبردهای مبانی ساختمان، روش مدیریت خطرپذیری رمکپ، روش ارزیابی آسیب‌پذیری امنیت، روش استفاده از ماتریس رمکپ بررسی شد. پس از آن از طریق مقایسه نتایج و شاخص‌های مربوط به آن توسط خبرگان پدافند غیرعامل و مدیریت بحران استان، سازمان‌های متولی و همچنین رویکرد دفاعی مطالعات، روش 'Department of FEMA (Homeland Security, ۲۰۱۱) که شاخص‌های آن تطابق بهتری با زیرساخت‌های حوزه آب دارد، برای محاسبه عدد ریسک استفاده شد. برای این منظور شناخت میدانی دارایی‌های حوزه آب و آسیب‌پذیری‌های آنها لازم است. براساس ارزش این دارایی‌ها، عدد آسیب‌پذیری و عدد تهدید مبنا، ریسک این دارایی‌ها محاسبه می‌شود. در نهایت باتوجه به اهمیت این ریسک‌ها، راهکارهایی برای کاهش آسیب‌پذیری آنها ارائه می‌شود.

زرقانی (۱۳۸۵) عوامل متعددی را در تأمین امنیت مناطق مرزی مؤثر می‌داند که بعضی از این عوامل تقریباً ثابت و در بیشتر کشورها مشابه است و بعضی عوامل خاص یک کشور یا حتی یک منطقه ویژه بوده و در گذر زمان ممکن است میزان تأثیرگذاری آن عوامل کاهش یا افزایش پیدا کند (زرقانی، ۱۳۸۵).

زرقانی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای اشاره می‌کنند حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی و دارایی‌های کلیدی این زیرساخت‌ها از مهمترین وظایف و ماموریت‌های هر دولتی محسوب می‌شود، چرا که تخریب یا وارد آمدن آسیب به این دارایی‌ها، به راحتی می‌تواند تداوم عملکرد زیرساخت‌های حیاتی کشور را با مشکل مواجه سازد و امنیت آن را به لحاظ سیاسی، اقتصادی و دفاعی به شکل جدی به خطر اندازد. همچنین آنها در مقاله خود بیان می‌کنند که تحلیل تهدیدات تروریستی مستلزم بررسی انواع تهدیدات تروریستی، منبع و منشا تهدیدات و شناخت مهمترین مناطق شهری و مرزی مورد تهدید است (زرقانی و همکاران، ۱۳۹۵).

کاظمی بلگه شیر و گلستانه (۱۳۹۳) تهدیدات مخازن ذخیره آب را شناسایی و باتوجه به شرایط مناطق مختلف نمره‌دهی نموده تا در برابر تهدیدات احتمالی محافظت شوند. همچنین در این مطالعه، کشور به دو منطقه مرکزی و مرزی و شهرها نیز به دو دسته کوچک و بزرگ تقسیم شدند. آنها پس از تهیه پرسشنامه‌ها بر اساس تهدیدات و تکمیل آن توسط کارشناسان و اساتید این حوزه و تجزیه و تحلیل نتایج آنها مشخص نمودند که تهدیدات لازم با این تهدیدات در هر منطقه با مناطق دیگر متفاوت می‌باشد. آنها نتیجه گرفتند که در مناطق و شهرهای مرزی به هیچ عنوان نباید زیرساخت‌های آبرسانی به صورت سطحی و قابل مشاهده باشند اما در مناطق

غیرمرزی می‌تواند این تأسیسات به صورت سطحی احداث شود و حساسیت‌ها کمتر است (کاظمی بلگه شیر و گلستانه، ۱۳۹۳). آرمین و قربان‌نیا (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای سوابق حملات گذشته به سیستم‌های آبرسانی و آسیب‌پذیری‌ها و خطرات مهم پیش‌روی این سیستم‌ها را بررسی و در نهایت راهکارهایی پیشنهادی برای کاهش این خطرات ارائه نموده و نتیجه گرفتند که حفاظت از زیرساخت‌های حساس آبرسانی با استفاده از ترکیب موانع فیزیکی، پایش و کنترل مستمر و تصفیه بیولوژیکی و شیمیایی در سریعترین زمان و ایجاد سیستم‌های واکنش هوشمند و یکپارچه در تمامی سطوح حیاتی است (آرمین و قربان‌نیا خیبری، ۱۳۹۸).

مرادی و بیگلری (۱۴۰۱) در پژوهشی باتوجه به اهمیت زیرساخت‌های آب، به تحلیل خطرپذیری زیرساخت‌های آب آشامیدنی در مقابل تهدیدات پایه زیستی، سایبری، نظامی و امنیتی با رویکرد پدافند غیرعامل پرداخته و برای پاسخ به پرسش اصلی به شکل تلفیقی از روش‌های کتابخانه‌ای برای شناسایی و دسته‌بندی دارایی‌ها، تهدیدات و آسیب‌پذیری‌ها در حوزه تأمین و توزیع آب استفاده نمودند. روش تحقیق آنها از لحاظ هدف، کاربردی و توسعه‌ای بود (مرادی و بیگلری، ۱۴۰۱).

جلالی فراهانی و همکاران (۱۴۰۱) باتوجه به بروز تهدیدات طبیعی ازجمله خشکسالی و تغییر اقلیم در سطح کشور، و رویکرد دشمن برای انجام اقدامات خصمانه از جمله ایجاد اختلال و وقفه در خدمت‌رسانی زیرساخت‌های حوزه آب و همچنین انجام عملیات روانی و تحریک مردم بر علیه حکومت، مطالعه‌ای را با هدف شناسایی مولفه‌ها و شاخص‌های تاب‌آوری زیرساخت‌های آب شرب کشور صورت دادند (جلالی فراهانی و همکاران، ۱۴۰۱). همانطور که در بخش‌های قبلی مقاله اشاره شد، روش‌های مختلفی برای ارزیابی و مدیریت ریسک زیرساخت‌های حوزه آب و فاضلاب از قبیل روش رمکپ، روش بومی سازمان پدافند غیرعامل کشور و ... وجود دارد، اما در این مقاله که بر مبنای یک پروژه ملی تأیید شده تدوین شده است، پس از بررسی روش‌های مختلف، روش FEMA به عنوان یک روش کاربردی محاسبه ریسک که تطابق بهتری با هدف مطالعات یعنی ارزیابی کمی مخاطرات و ارائه راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها دارد، انتخاب می‌شود.

#### مواد و روش‌ها

روش تحقیق معمولاً بر اساس ماهیت موضوع و اهداف هر تحقیق تنظیم می‌شود. طی مراحل مختلف سعی شده است با شناخت علمی و سیستماتیک، زیرساخت‌های مهم استان مرزی بررسی شود و در نهایت با شناخت و ارزیابی آسیب‌پذیری این زیرساخت‌ها، زمینه کاهش آسیب‌های احتمالی فراهم شود. روش تحقیق در پژوهش حاضر کمی است. فعالیت‌های پژوهشی

کمی براساس تجزیه و تحلیل یک یا چند پیشنهاد فرضی و ذهنی درباره روابط علت و معلولی میان دو یا چند متغیر بنا می‌شود و هدف، آزمودن این روابط می‌باشد. تحقیق به لحاظ هدف، تحقیق کاربردی-توسعه‌ای می‌باشد. تحقیق کاربردی-توسعه‌ای یا تحقیق توسعه محور کاربردی، نوعی تحقیق است که هدف آن برطرف کردن نیازهای عملی و عمومی جامعه، تحسین عملکرد و افزایش توانمندی‌ها، ایجاد تغییرات مثبت و کاربردی در عملکرد واقعی است. در این نوع تحقیق، تمرکز اصلی بر روی مسائل عملی و یافتن راهکارهای عملی و قابل اجرا است. از نظر رویکرد پژوهش نیز، توصیفی-تحلیلی می‌باشد. تحقیق توصیفی شامل مجموعه‌ای از روش‌هایی است که هدف آن‌ها توصیف کردن شرایط یا پدیده‌های مورد بررسی است. روش تحقیق توصیفی-تحلیلی برعکس تحقیقات تاریخی زمان حال را بررسی می‌کند و شرایط و روابط موجود را توصیف و تفسیر می‌کند. در این مقاله پس از بررسی انواع روش‌های ارزیابی ریسک از لحاظ مطلوبیت و سازگاری با زیرساخت‌های حوزه آبرسانی، با استفاده از روش ارزیابی خطرپذیری FEMA، ابتدا دارایی‌های حوزه آب و فاضلاب استان مرزی غربالگری شده، سپس بر مبنای تهدیدات مبنای به شناسایی و ارزیابی آسیب‌پذیری‌ها پرداخته و ریسک هریک از دارایی‌ها، محاسبه و در پایان راهکارهایی برای کاهش خطر در زیرساخت‌های حوزه آب و فاضلاب ارائه می‌شود. همچنین به منظور بررسی دقت نتایج حاصل از ارزیابی باید در گام اول شاخص‌های ارزیابی وزن‌دهی شوند. این امر به این دلیل است که تأثیر هر شاخص به اندازه‌ی وزن خود در ارزیابی لحاظ شود، زیرا شاخص‌های ارزیابی که در بخش‌های مختلف ارزیابی دارایی، تهدیدات و آسیب‌پذیری معرفی شده وزن یکسانی ندارند. در وزن‌دهی شاخص‌های مختلف در یک مطالعه، روش‌های گوناگونی مطرح است که از آن میان دو روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> و روش ماتریس تعمیم<sup>۲</sup> از سایر روش‌ها پذیرفته‌تر و پرکاربردتر هستند. در این مطالعه باتوجه به هدف مطالعه، روش تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش تحلیل سلسله مراتبی بر مبنای سه اصل تجزیه، مقایسه جفتی، جمع‌بندی و اولویت‌بندی گزینه‌ها استوار است. در این روش معیارهایی که دارای اهمیت بیشتری هستند، در ردیف‌های بالاتر این ساختار شاخه‌ای قرار می‌گیرند. از آنجایی که مبنای تمامی محاسبات در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، برخلاف روش ماتریس تعمیم که بیشتر بر مبنای محاسبات ریاضی بنا نهاده شده، نظر کارشناسی است، نتایج دارای انعطاف‌پذیری بیشتری بوده و این ویژگی از نقاط قوت این روش محسوب می‌شود. همچنین استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی این امکان را فراهم می‌کند که شاخص‌های ارزیابی دارایی، تهدید و آسیب‌پذیری که از نظر کارشناسان و خبرگان حوزه آب و فاضلاب استان بر این زیرساخت‌ها اثرگذاری

بیشتری دارند، با همان اهمیت در مسئله بررسی می‌شوند. به‌منظور وزن‌دهی شاخص‌های بیان شده، پس از تنظیم پرسشنامه و توزیع آن میان جامعه خبرگان استان و اخذ نظرات آنها، با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی در نرم‌افزار (CHOICE EXPERT)، وزن هر شاخص به‌دست می‌آید و اولویت‌بندی بر اساس وزن هر کدام صورت می‌گیرد.

## ۱- دارایی‌شناسی

### • شناسایی و غربالگری دارایی

هدف از بررسی، شناسایی و غربالگری دارایی‌های حوزه آب و فاضلاب، نقش و تأثیر آن‌ها در شرایط بحران و کاهش آسیب‌پذیری استان‌های مرزی می‌باشد، لذا به‌وسیله شاخص‌های زیر، غربالگری اولیه در میان این دارایی‌ها صورت گرفته و صرفاً مواردی که حداقل با یکی از شاخص‌های جدول (۱) مطابقت دارند، مطرح و بررسی می‌شود (کلهر و همکاران، ۱۴۰۰-الف).

جدول ۱- شاخص غربالگری دارایی

| ردیف | شاخص‌های غربالگری                                                                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | محصول یا عملکرد آن در زمان‌های بحرانی مؤثر بوده و برای مدیریت بحران اثرگذار باشد و برای آن شرح وظایف مشخصی در زمان بحران تعریف شده یا قابل تعریف باشد. |
| ۲    | نمونه مشابه در استان وجود نداشته باشد و دارایی محصول یا خدمتی منحصر به فرد در سطح استان را ارائه می‌دهد.                                               |
| ۳    | دارایی و زیرساخت‌های مربوط به آن، از ارزش سرمایه‌ای مادی و معنوی بالایی برخوردار است                                                                   |

دارایی‌هایی که حداقل با یکی از شاخص‌های بالا سازگار هستند، در مرحله بعد با تعیین حوزه اثرگذاری (بخش، شهرستان، فراشهرستان، استان و فرا استان) سنجش و غربالگری ثانویه می‌شوند و باتوجه به سطح بررسی‌های کلان، دارایی‌هایی که حوزه تأثیر پایین‌تر از شهرستان دارند، در مراحل بعدی مطالعات غربال شده و بررسی و ارزیابی نمی‌شوند. در گام بعدی دارایی‌های غربال شده، از نظر میزان گستردگی جغرافیایی اثرگذاری آن‌ها در صورت اختلال، در سطوح اهمیتی چهارگانه (حیاتی/حساس/مهم/قابل حفاظت) دسته‌بندی می‌شوند. همچنین مطابق با الگوی مورد استفاده در مطالعات، پس از تعیین سطح اهمیت، لازم است تا ارزش دارایی‌های مربوط به هر یک از زیرساخت‌های حوزه آب و فاضلاب استخراج و کمی‌سازی شود. تجزیه تحلیل و ارزیابی سطح تأثیرگذاری و ارزش دارایی‌های سیستم آبرسانی، بر اساس اهمیت و حساسیت (بر اساس پیامدهای کوتاه‌مدت و بلندمدت ناشی از خسارت و تخریب آن دارایی‌ها) مطابق با حوزه عملکردی آن دارایی بر استان، صورت می‌پذیرد.

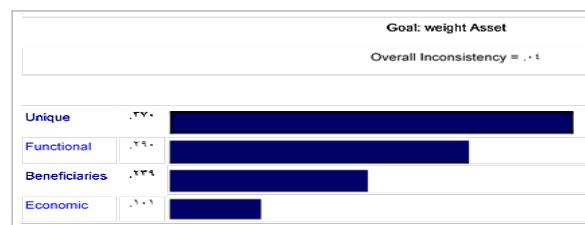
## • ارزیابی دارایی

جدول ارزش دارایی بر پایه یک سری از شاخص‌ها تهیه و داراییها بر اساس آن ارزیابی می‌شوند. این شاخص‌ها شامل؛ ارزش اقتصادی یا سرمایه‌ای، ارزش عملکردی، منحصر به فرد بودن و امکان جایگزینی، سطح پوشش بهره‌برداران و ضرورت تداوم عملکرد در زمان بحران می‌شود (کلهر و همکاران، ۱۴۰۰-الف). حال به‌منظور بررسی دقت نتایج به‌دست آمده از ارزیابی دارایی باید در گام اول شاخص‌های ارزیابی دارایی وزن‌دهی شوند. این موضوع به این دلیل است که تاثیر هر شاخص باید به اندازه وزن خود در ارزیابی دارایی لحاظ شود، زیرا شاخص‌های ارزیابی دارایی معرفی شده از وزن یکسانی برخوردار نیستند. در این مطالعه با توجه به هدف، روش تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور وزن‌دهی شاخص‌های بیان شده، پس از تنظیم پرسشنامه و توزیع آن میان جامعه خبرگان پدافند غیرعامل و مدیریت بحران استان و اخذ نظرات آنها، با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی در نرم‌افزار CHOICE EXPERT، وزن هر یک از شاخص‌های ارزیابی دارایی به‌دست می‌آید و سپس اولویت‌بندی براساس وزن هر کدام مطابق جدول (۲) صورت می‌گیرد.

جدول ۲- وزن‌دهی شاخص‌های ارزیابی دارایی

| اولویت | شاخص ارزیابی دارایی                | وزن   |
|--------|------------------------------------|-------|
| ۱      | منحصر به فرد بودن و امکان جایگزینی | ۰/۳۷  |
| ۲      | ارزش عملکردی                       | ۰/۲۹  |
| ۳      | سطح پوشش بهره‌برداران              | ۰/۲۳۹ |
| ۴      | ارزش اقتصادی                       | ۰/۱۰۱ |

نرخ ناسازگاری اوزان شاخص‌های ارزیابی دارایی به دست آمده از نرم‌افزار CHOICE EXPERT، که بر مبنای روش گوگوس و بوچر در سال ۱۹۹۸ (Gogus و Boucher، ۱۹۹۸) می‌باشد، به‌صورت شکل (۱) معادل ۰/۰۴ محاسبه شده است که مقدار آن باتوجه‌به اینکه از ۰/۱ کوچکتر است، قابل قبول می‌باشد. (ابطحی و همکاران، ۱۴۰۲).



شکل ۱- نرخ ناسازگاری اوزان شاخص‌های ارزیابی دارایی

## ۲- شناسایی تهدیدات

### • شناسایی و تعیین تهدیدات مبنا

تهدیدات از منظر پدافند غیرعامل، می‌تواند منشأ مخاطرات باشد. بر این مبنا، دو دسته مخاطرات طبیعی و مخاطرات انسان‌ساخت

قابل تعریف خواهد بود. مخاطرات و تهدیدات طبیعی، مخاطراتی هستند که منشأ ایجاد آن از طبیعت بوده که خود به انواع مخاطرات زمین‌شناختی، مخاطرات جوی، مخاطرات زیستی و مخاطرات بیولوژیکی، تقسیم‌بندی می‌شوند و مخاطرات و تهدیدات انسان‌ساخت که منشأ انسانی دارند. تهدیدات انسان‌ساخت به دو نوع غیرعمدی (تصادفی) و عمدی تقسیم می‌شود. طی استانداردهای متنوع صادر شده از سوی مؤسسه NFPA، تهدیدات دسته‌بندی‌های متنوعی دارند، برای مثال در NFPA 730 که شامل ارزیابی ریسک ناشی از تهدیدات امنیتی در محیط‌های مسکونی، آموزشی، تجاری و خرده‌فروشی و صنعتی است، تهدیدات مطابق جدول (۳) دسته‌بندی می‌شوند.

جدول ۳- تهدیدات انسان‌ساخت استاندارد NFPA 730 (NFPA 730، ۲۰۲۳)

| ردیف | تهدیدات انسان‌ساخت عمدی          |
|------|----------------------------------|
| ۱    | تروریسم                          |
| ۲    | حملات سایبری                     |
| ۳    | انفجار ساختمان                   |
| ۴    | تهدیدات همپی                     |
| ۵    | تسلیمات شیمیایی و بیولوژیکی      |
| ۶    | تسلیمات هسته‌ای و الکترومغناطیسی |

در استاندارد دیگر صادر شده از این مؤسسه موسوم به NFPA 1600 در رابطه با مدیریت سانحه/شرایط اضطراری و تداوم فعالیت، تهدیدات هر عامل انسان‌ساخت، طبیعی یا ناشی از وجود فناوری مطابق جدول (۴) معرفی می‌شود.

جدول ۴- تهدیدات استاندارد NFPA 1600 (NFPA 1600، ۲۰۱۹)

| ردیف | تهدیدات انسان‌ساخت عمدی                                    |
|------|------------------------------------------------------------|
| ۱    | تروریسم (متعارف، شیمیایی، هسته‌ای، زیستی و نرم‌افزاری)     |
| ۲    | اغتصابات شهری شامل آشوب‌های عمومی، تشنج‌های جمعی و شورش‌ها |
| ۳    | شایعات دروغ یا اطلاعات نادرست در جامعه                     |
| ۴    | حمله دشمن-جنگ                                              |
| ۵    | ضربات الکترومغناطیسی                                       |
| ۶    | خرابکاری                                                   |
| ۷    | اعتصاب                                                     |
| ۸    | ایجاد حریق عمدی                                            |
| ۹    | جنایت                                                      |

در این مقاله، باتوجه‌به رویکرد پدافند غیرعامل، تهدیدات انسان‌ساخت عمدی مورد توجه است و تهدیدات طبیعی از حوزه بررسی حذف می‌شود. اکنون به منظور تعیین بسته تهدیدات

محتمل طرح، از سه روش به شناسایی تهدیدات انسان ساخت عمدی متوجه استان های مرزی که در جدول (۵) نشان داده شده است، پرداخته خواهد شد:

- ۱- بررسی منابع کتابخانه ای داخلی و خارجی؛
- ۲- استخراج نظرات کارشناسان، متخصصان و خبرگان حوزه پدافند غیرعامل استان؛
- ۳- بررسی سوابق رخداد تهدیدات انسان ساخت عمدی در استان؛

جدول ۵- دسته بندی تهدیدات انسان ساخت بر پایه سند راهبردی سازمان پدافند غیرعامل

| منشاء تهدید          | حوزه تهدید | موضوع تهدید |
|----------------------|------------|-------------|
| انسان ساخت<br>(عمدی) | مردم محور  | اقتصادی     |
|                      |            | سیاسی       |
|                      |            | اجتماعی     |
|                      |            | فرهنگی      |
|                      |            | محیط زیستی  |
| سخت                  | نظامی      | زمینی       |
|                      |            | هوایی       |
|                      |            | دریایی      |
|                      |            | موشکی       |
|                      |            | تروریستی    |
| امنیتی               | خرابکاری   | سایبری      |
|                      |            | زیستی       |
|                      |            | پرتوی       |
|                      |            | شیمیایی     |
|                      |            | گرافیتی     |
| الکترومغناطیسی       | فناور پایه |             |
|                      |            |             |
|                      |            |             |
|                      |            |             |
|                      |            |             |

## • ارزیابی تهدیدات

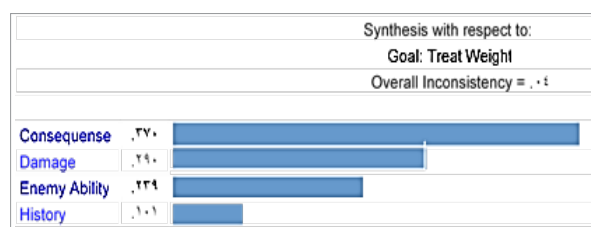
ارزیابی تهدیدات باعث تشخیص نقاط آسیب پذیر برای ارائه راهکارهایی برای کاهش آسیب پذیری خواهد بود. پس از شناخت تهدیدات پایه باید احتمال اجرایی شدن هر کدام از آنها توسط دشمن علیه دارایی های استان های مرزی ارزیابی شود. تهدیداتی دارای احتمال وقوع بیشتری می باشند که بالاترین عمق خسارت اقتصادی، سیاسی، نظامی، نیروی انسانی، معیشتی و ... را با کمترین هزینه و زمان ایجاد نمایند و مردم را با چالش های اساسی در تامین نیازهای ضروری، معیشتی، اطلاعاتی، روحی و روانی و ... روبه رو نمایند، احتمال وقوع تهدیدات باتوجه به شاخص هایی مانند؛ شدت خسارت، توانمندی دشمن، سابقه تهدید و تبعات منفی تهدید بررسی و ارزیابی می شوند (کلهر و همکاران، ۱۴۰۰-الف). حال به منظور بررسی دقت نتایج حاصل از ارزیابی تهدیدات باید

در گام اول شاخص های ارزیابی تهدیدات وزن دهی شوند، زیرا شاخص های تهدیدات معرفی شده از وزن یکسانی برخوردار نیستند. به منظور وزن دهی شاخص های فوق الذکر، پس از تنظیم پرسشنامه و توزیع آن میان جامعه خبرگان پدافند غیرعامل و مدیریت بحران استان و اخذ نظرات آنها، با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی در نرم افزار CHOICE EXPERT، وزن هر شاخص به دست می آید و سپس اولویت بندی شاخص های تهدیدات بر اساس وزن هر کدام مطابق جدول (۶) صورت می گیرد.

جدول ۶- وزن دهی شاخص های ارزیابی تهدید

| اولویت | شاخص ارزیابی تهدید   | وزن  |
|--------|----------------------|------|
| ۱      | تبعات منفی برای دشمن | ۰/۳۷ |
| ۲      | شدت خسارت            | ۰/۲۹ |
| ۳      | توانایی دشمن         | ۰/۲۴ |
| ۴      | سابقه تهدید          | ۰/۱  |

نرخ ناسازگاری اوزان شاخص های ارزیابی تهدیدات به دست آمده از نرم افزار CHOICE EXPERT، که بر مبنای روش گوگوس و بوچر در سال ۱۹۹۸ (Boucher و Gogus، ۱۹۹۸) می باشد، به صورت شکل (۲) معادل ۰/۰۴ محاسبه شده است که مقدار آن باتوجه به اینکه از ۰/۱ کوچکتر است، قابل قبول می باشد (ابطحی و همکاران، ۱۴۰۲).



شکل ۲- نرخ ناسازگاری اوزان و شاخص های ارزیابی تهدید

پس از شناسایی بسته تهدیدات مطابق جدول (۵)، بر مبنای شاخص های ارزیابی تهدید که بر اساس نظرات خبرگان حوزه آب و فاضلاب و حوزه پدافند غیرعامل استان مربوطه وزن دهی شده اند، تهدیدات مبنا شناسایی شده و عدد تهدید با توجه به نظر مقامات استانی برای سه تهدید مبنا که در جدول (۷) آمده اند، محاسبه می شود. در این مقاله برای کاهش حجم مطالب که بایستی به صورت چکیده آورده شود، محاسبات برای اولین تهدید مبنا که تهدید تروریستی می باشد، محاسبه شده است.

جدول ۷- رتبه تهدیدات مبنا بر پایه بسته تهدیدات غربال شده

| رتبه | تهدید مبنا                 |
|------|----------------------------|
| ۱    | تهدید سخت تروریستی         |
| ۲    | تهدید سخت زمینی            |
| ۳    | تهدید مردم محور محیط زیستی |

|                             |      |  |
|-----------------------------|------|--|
| Synthesis with respect to:  |      |  |
| Goal: Vulnerability Weight  |      |  |
| Overall Inconsistency = .01 |      |  |
| Discovery                   | .352 |  |
| Access                      | .300 |  |
| Protection                  | .190 |  |
| Confrontation               | .156 |  |

شکل ۳- نرخ ناسازگاری اوزان شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری

برای محاسبه عدد آسیب‌پذیری، پس از مطالعات میدانی و دریافت دیدگاه خبرگان حوزه پدافند غیرعامل و آب و فاضلاب استان، مطابق شاخص‌های وزن‌دهی شده در جدول (۸)، نقاط ضعف احصاء می‌شود. سپس برای هر یک از تهدیدات مبنا، عدد آسیب‌پذیری محاسبه می‌شود. در اینجا برای رعایت اختصار، عدد آسیب‌پذیری فقط برای تهدید تروریستی محاسبه شده است.

#### ۴- ارزیابی خطرپذیری

##### • روش محاسبه خطرپذیری

در این مطالعه برای تعیین عدد خطرپذیری دارایی‌ها، همانطور که قبلاً هم اشاره شد پس از بررسی روش‌های مختلف ارزیابی خطر، روشی را که دارای مطلوبیت و سازگاری بیشتری با رویکرد دفاعی مطالعات می‌باشد، انتخاب می‌شود. بنابراین از روش تحلیل خطرپذیری FEMA استفاده می‌شود. در این روش، خطرپذیری به پتانسیل خرابی یا از بین رفتن دارایی‌ها اطلاق می‌شود و بر اساس رابطه ارزش دارایی، تهدید و آسیب‌پذیری محاسبه می‌شود. نتایج ارزیابی ارزش دارایی‌ها، ارزیابی تهدید و آسیب‌پذیری کنار هم قرار داده شده و مقدار عددی خطرپذیری برای هر دارایی در مقابل تهدید پایه با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$(۱) \text{ آسیب‌پذیری} \times \text{تهدید} \times \text{دارایی} = \text{خطر}$$

$$R = A \times T \times V$$

پس از محاسبه عدد خطرپذیری براساس رابطه (۱)، دارایی‌ها به سه طیف دارایی با خطر زیاد، متوسط و کم مطابق جدول (۹) تقسیم می‌شوند.

جدول ۹- طیف ریسک دارایی

|            |               |           |
|------------|---------------|-----------|
| زیاد (خطر) | متوسط (هشدار) | کم (عادی) |
| ۱۷۴ - ۱۰۰۰ | ۶۰ - ۱۷۴      | ۰ - ۶۰    |

#### نتایج و بحث

##### ۱- محاسبه ارزش دارایی، عدد تهدید مبنا، عدد آسیب‌پذیری و عدد خطرپذیری

برای محاسبه ارزش دارایی‌های استان‌های مرزی فقط دارایی‌هایی را که دارای ارزش سرمایه‌ای بالا هستند و حوزه اثرگذاری فراشهرستان

### ۳- شناسایی آسیب‌پذیری

#### • شناخت آسیب‌پذیری دارایی‌ها

آسیب‌پذیری به میزان خسارات و صدمات ناشی از عوامل و پدیده‌های بالقوه و بالفعل خسارت‌زا نسبت به نیروی انسانی، تجهیزات و تأسیسات با شدت صفر تا صد درصد اطلاق می‌شود. به طور کلی آسیب‌پذیری‌ها به دو نوع ذاتی و اکتسابی تقسیم می‌شوند. آسیب‌پذیری ذاتی، به صورت ماهوی در دارایی‌ها وجود دارند و وابسته به محیط پیرامونی و سیاست‌های امنیتی و دفاعی نمی‌شوند اما آسیب‌پذیری اکتسابی، تابع استحکامات و سیاست‌های امنیتی و دفاعی هر دارایی و همچنین ویژگی‌هایی است که قابلیت اصلاح و دست بردن، داشته باشند (طرح راهبردی حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی، ۱۴۰۱).

#### • ارزیابی آسیب‌پذیری

در ارزیابی آسیب‌پذیری، تحلیل کاملی از خصوصیات دارایی‌های استان و اجزای مختلف آن و همچنین شاخص‌های محل جامه‌ای صورت می‌گیرد، تا کمبودها و نقاط ضعف موجود مشخص شده و ارائه راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری آسان‌تر شود. ارزیابی آسیب‌پذیری، معین نمودن پتانسیل آسیب‌پذیری دارایی‌های استان در مقابل محدوده وسیعی از تهدیدها و خطرات با احتمال وقوع بالا است. به‌طور کلی بررسی و ارزیابی آسیب‌پذیری دارایی‌های استان‌های مرزی بر اساس چهار شاخص امکان کشف و شناسایی، امکان دسترسی، ضعف بازدارندگی و ضعف ابزارهای حفاظتی، تهدیدات ایمنی و اقدامات دفاعی انجام می‌شود (ابطحی و همکاران، ۱۴۰۲). شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه شده، همگی اهمیت یکسانی ندارند، لذا در این مطالعه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و توضیحات ارائه شده در بخش ارزیابی دارایی و ارزیابی تهدیدات مطابق جدول (۸) وزنی اختصاص می‌یابد و شاخص‌ها اولویت‌بندی می‌شوند.

جدول ۸- جدول وزن‌دهی شاخص‌های آسیب‌پذیری

| اولویت | شاخص                       | وزن   |
|--------|----------------------------|-------|
| ۱      | امکان کشف و شناسایی        | ۰/۳۵۳ |
| ۲      | امکان دسترسی               | ۰/۳   |
| ۳      | ضعف حفاظتی و تهدیدات دفاعی | ۰/۱۹  |
| ۴      | ضعف رویارویی               | ۰/۱۵۶ |

نرخ ناسازگاری اوزان شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری به‌دست آمده از نرم‌افزار CHOICE EXPERT، که بر مبنای روش گوگوس و بوچر در سال ۱۹۹۸ (Gogus و Boucher، ۱۹۹۸) می‌باشد، به‌صورت شکل (۳) معادل ۰/۰۴ محاسبه شده است که مقدار آن باتوجه‌به اینکه از ۰/۱ کوچکتر است، قابل قبول می‌باشد (ابطحی و همکاران، ۱۴۰۲).



به بالا داشته و در شرایط بحران مؤثر هستند، مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و با توجه به شاخص‌های ارزیابی دارایی، ارزش‌شان محاسبه می‌شود. برای محاسبه عدد تهدید مبنا نیز باتوجه‌به تهدیدات محتمل استان‌های مرزی که بر اساس بازدیدهای میدانی و با استفاده از منابع کتابخانه‌ای داخلی و خارجی و سوابق رخداد تهدیدات و همچنین نظرات خبرگان پدافند غیرعامل استان به دست آمده است، تهدید تروریستی را به عنوان تهدید مبنا در نظر گرفته و بر اساس آن عدد تهدید محاسبه می‌شود.

پس از تبیین شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری و وزن‌دهی هر یک از شاخص‌ها، می‌توان عدد آسیب‌پذیری هر یک دارایی‌های استان

را بر اساس تهدید مبنا (تهدید تروریستی) به دست آورد. اکنون با توجه به محاسبه ارزش دارایی، عدد تهدید و عدد آسیب‌پذیری می‌توان خطرپذیری هر یک از دارایی‌ها را بر اساس روش FEMA به دست آورد. نتایج محاسبات در جدول (۱۰) آمده است. همانطور که در جدول (۱۰) مشاهده می‌شود، برخی از دارایی‌ها همچون خط انتقال (زز شماره ۲ و ۴) با عدد خطرپذیری بالای نزدیک به ۲۰۰ و همچنین خط انتقال (زز ۱ و ۳) با عدد خطرپذیری بیش از ۱۷۴، جزء زیرساخت‌های با خطرپذیری بالا محسوب شده و در نتیجه باید در ارائه راهکارها برای کاهش آسیب‌پذیری آنها اولویت‌هایی را در نظر گرفت.

جدول ۱۰- جدول ارزش دارایی‌ها، عدد تهدید دارایی‌ها، عدد آسیب‌پذیری و عدد خطرپذیری دارایی‌های حوزه آب و فاضلاب

| ردیف          | دارایی                          | ارزش دارایی | عدد تهدید | عدد آسیب‌پذیری | عدد ریسک |
|---------------|---------------------------------|-------------|-----------|----------------|----------|
| سدها          |                                 |             |           |                |          |
| ۱             | سد مخزنی ( پ )                  | ۵/۴         | ۴         | ۴/۲۵           | ۹۱/۸     |
| ۲             | سد مخزنی ( ش )                  | ۳/۴         | ۴         | ۴/۲۵           | ۵۷/۸     |
| ۳             | سد مخزنی ( خ )                  | ۵/۴         | ۴         | ۴/۲۵           | ۹۱/۸     |
| ۴             | سد مخزنی ( ز )                  | ۴/۴         | ۴         | ۴/۲۵           | ۷۴/۸     |
| ۵             | سد مخزنی ( م ع )                | ۵/۴         | ۴         | ۴/۲۵           | ۹۱/۸     |
| ۶             | سد مخزنی ( م س )                | ۵/۴         | ۴         | ۴/۲۵           | ۹۱/۸     |
| ۷             | سد مخزنی ( ک )                  | ۴/۴         | ۴         | ۴/۲۵           | ۷۴/۸     |
| تصفیه‌خانه آب |                                 |             |           |                |          |
| ۸             | تصفیه خانه (س)                  | ۵/۶         | ۵         | ۴/۷            | ۱۳۱/۶    |
| ۹             | تصفیه خانه (ز)                  | ۵/۶         | ۵         | ۴/۷            | ۱۳۱/۶    |
| ۱۰            | تصفیه‌خانه RO (ز)               | ۵/۶         | ۵         | ۴/۷            | ۱۳۱/۶    |
| ۱۱            | تصفیه‌خانه RO (چ ک)             | ۵/۶         | ۵         | ۴/۷            | ۱۳۱/۶    |
| ایستگاه پمپاژ |                                 |             |           |                |          |
| ۱۲            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (س)    | ۵/۶         | ۵         | ۴/۷            | ۱۳۱/۶    |
| ۱۳            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (ز)    | ۲/۸         | ۵         | ۴/۷            | ۶۵/۸     |
| ۱۴            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه RO (ز) | ۲/۸         | ۵         | ۴/۸۶           | ۶۸/۰۴    |
| ۱۵            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (زه)   | ۲/۸         | ۵         | ۴/۸۶           | ۶۸/۰۴    |
| ۱۶            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (ه)    | ۲/۸         | ۵         | ۴/۷            | ۶۵/۸     |
| ۱۷            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (ا)    | ۲           | ۵         | ۴/۷            | ۴۷       |
| ۱۸            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (ف)    | ۲           | ۵         | ۴/۷            | ۴۷       |
| ۱۹            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (ن)    | ۲           | ۵         | ۴/۷            | ۴۷       |
| ۲۰            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (ج)    | ۲           | ۵         | ۴/۷            | ۴۷       |
| ۲۱            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (ش ۱)  | ۲           | ۵         | ۴/۷            | ۴۷       |
| ۲۲            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (ش ۲)  | ۲           | ۵         | ۴/۷            | ۴۷       |
| ۲۳            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (ش ق)  | ۲/۶         | ۵         | ۴/۷            | ۶۱/۱     |
| ۲۴            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (آ ز)  | ۲           | ۵         | ۴/۷            | ۴۷       |
| ۲۵            | ایستگاه پمپاژ تصفیه‌خانه (آ ب)  | ۲           | ۵         | ۴/۷            | ۴۷       |

| ردیف                            | دارایی                       | ارزش دارایی<br>خط انتقال | عدد تهدید | عدد آسیب پذیری | عدد ریسک |
|---------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------|----------------|----------|
| ۲۶                              | خط انتقال (ز ز) شماره ۱      | ۵/۴                      | ۶         | ۵/۴۶           | ۱۷۶/۹    |
| ۲۷                              | خط انتقال (ز ز) شماره ۲      | ۵/۴                      | ۶         | ۶/۱۶           | ۱۹۹/۵۸   |
| ۲۸                              | خط انتقال (ز ز) شماره ۳      | ۵/۴                      | ۶         | ۵/۴۶           | ۱۷۶/۹    |
| ۲۹                              | خط انتقال (ز ز) شماره ۴      | ۵/۴                      | ۶         | ۶/۱۶           | ۱۹۹/۵۸   |
| تصفیه خانه فاضلاب               |                              |                          |           |                |          |
| ۳۰                              | تصفیه خانه فاضلاب (ز ا ه)    | ۲/۶                      | ۲         | ۲/۶۶           | ۱۳/۸۳    |
| ۳۱                              | تصفیه خانه فاضلاب (ز ا ب)    | ۵/۴                      | ۳         | ۲/۹۸           | ۴۸/۲۷    |
| ایستگاه پمپاژ تصفیه خانه فاضلاب |                              |                          |           |                |          |
| ۳۲                              | ایستگاه پمپاژ فاضلاب (ز ا ه) | ۳                        | ۵         | ۴/۵۴           | ۶۸/۱     |
| ۳۳                              | ایستگاه پمپاژ فاضلاب (م ر)   | ۵                        | ۵         | ۴/۳۵           | ۱۰۸/۷۵   |
| ۳۴                              | ایستگاه پمپاژ فاضلاب (ا ح)   | ۵                        | ۵         | ۴/۳۵           | ۱۰۸/۷۵   |
| ۳۵                              | ایستگاه پمپاژ فاضلاب (م پ)   | ۵                        | ۴         | ۳/۶۸           | ۷۳/۶     |
| ۳۶                              | ایستگاه پمپاژ فاضلاب (س ش)   | ۵                        | ۴         | ۳/۶۸           | ۷۳/۶     |
| ۳۷                              | ایستگاه پمپاژ فاضلاب (م آ)   | ۵                        | ۴         | ۳/۶۸           | ۷۳/۶     |
| ۳۸                              | ایستگاه پمپاژ فاضلاب (ش ژ)   | ۵                        | ۴         | ۳/۶۸           | ۷۳/۶     |
| ۳۹                              | ایستگاه پمپاژ فاضلاب (ق آ)   | ۵                        | ۴         | ۳/۶۸           | ۷۳/۶     |
| ۴۰                              | ایستگاه پمپاژ فاضلاب (پ گ)   | ۵                        | ۴         | ۳/۶۸           | ۷۳/۶     |
| ۴۱                              | ایستگاه پمپاژ فاضلاب (ب ک)   | ۵                        | ۴         | ۳/۶۸           | ۷۳/۶     |

## ۲- ارائه جدول SWOT زیرساخت های حوزه آب و فاضلاب

در این بخش با توجه به ویژگی ها و نتایج به دست آمده از تهدیدشناسی استان، نقاط ضعف، قوت، تهدیدها و فرصت ها به صورت مجزا و تخصصی تر در خصوص زیرساخت های حوزه آب و فاضلاب در قالب جدول (۱۱) ارائه می شود.

## ۳- ارائه راهکارهای کاهش آسیب پذیری

پس از شناخت نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت ها و تهدیدات زیرساخت های حوزه آب، می توان راهکارهای کاهش آسیب پذیری را با بهره گیری از نقاط قوت و کاهش نقاط ضعف ارائه نمود (کلهر و همکاران، ۱۴۰۰ ب).

همانطور که در جدول (۱۳) مشاهده می شود، خطرپذیری برخی از زیرساخت های آب همچون سدها زیاد بوده و این نشان دهنده این موضوع است، که این دارایی ها برای دشمن جذابیت بیشتری دارند. یکی از راه های کاهش آسیب پذیری رفع نقاط ضعف است که بعضی مواقع با توجه به اصل هزینه-فایده توجیه اقتصادی ندارد، راه دیگر افزایش هزینه دشمن جهت آسیب رسانی به یک زیرساخت از طریق ایجاد تنوع و گستردگی در منابع تأمین آب مورد استفاده است، به طوری که اگر یکی از منابع، خطوط انتقال یا توزیع آب مختل شد، مسیرهای جایگزین دیگری برای

استفاده موجود باشد و خدمات رسانی آن سیستم مختل نشود، به عنوان مثال چنانچه امکان استفاده از منابع سطحی وجود نداشت، بتوان از منابع زیرزمینی استفاده نمود. بنابراین باتوجه به مواردی که پیش تر گفته شد، برای کاهش اثرات تهدید می توان راهکارهای زیر را ارائه نمود.

۱) اجرای طرح پایدارسازی تأمین آب مورد نیاز شرب و بخش کشاورزی از منابع گوناگون و متنوع (قنوات، چاه های عمیق، سدها، رودخانه های فصلی و ...).

۲) طرح ساماندهی، تعمیر و نگهداری، کنترل و حفاظت فیزیکی زیرساخت ها و شبکه آب استان.

۳) اجرای سامانه رصد و پایش بیوآنلاین تصفیه خانه های آب استان.

۴) طرح جایگزین سامانه گندزدایی تصفیه خانه های آب استان از گازی به سیستم نوین گندزدایی (الکترولیز نمک) با هدف حذف گاز خطرناک کلر.

۵) طرح جداسازی آب آشامیدنی و آب بهداشتی (نظافت) در سطح شهرها و منازل مسکونی با هدف تصفیه مجدد و صرفه جویی در منابع.

۶) اجرای طرح استفاده از سامانه های نوین آبیاری در بخش کشاورزی استان.

۷) اجرای طرح نوسازی سامانه‌ها و شبکه انتقال و توزیع آب و فاضلاب استان.

۸) اجرا و پیاده‌سازی نظام آموزش و فرهنگ‌سازی مصرف بهینه آب در سطح استان.

۹) به کارگیری دیپلماسی فعال در ارتباط با مسئولین کشور همسایه برای انعقاد توافقنامه دائمی جذب حق‌آبه کشور از منابع آبی مشترک جهت پایدارسازی تامین آب در استان.

جدول ۱۱- جدول SWOT دارایی‌های حوزه آب و فاضلاب

| جدول SWOT حوزه آب                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| نقاط قوت (Strengths)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | نقاط ضعف (Weaknesses)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>۱- تجربه انجام پروژه‌های بزرگ و کوچک تأمین آب به ویژه در انتقال آب.</p> <p>۲- وجود نیروهای متخصص و نهادهای آموزشی تخصصی در بخش آب استان.</p> <p>۳- استقرار سیستم GIS در مدیریت منابع آب استان.</p> <p>۴- وجود قوانین مرتبط با بهینه سازی و صرفه‌جویی مصرف آب.</p> <p>۵- وجود شبکه آب شرب سالم در اکثر شهرهای استان.</p> <p>۶- وجود رویکرد استفاده بهینه در حوزه‌ی آب استان.</p> <p>۷- وجود سامانه آب شیرین کن پیشرفته برای تأمین آب شرب مصرفی.</p>                                                                                                                                                                                          | <p>۱- عدم وجود برنامه بلندمدت و هدفمند در امر فرهنگ‌سازی مصرف آب.</p> <p>۲- رهاسازی فاضلاب‌های صنعتی در آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی و کشاورزی.</p> <p>۳- عدم تناسب ساختار و تشکیلات موجود با نیازهای بخش آب.</p> <p>۴- پایین بودن ظرفیت رودخانه‌های مناسب برای مصارف کشاورزی و شرب.</p> <p>۵- وابستگی استان به تأمین آب از کشورهای همسایه (عدم وجود منابع پایدار تأمین آب در استان).</p> <p>۶- سهم ناچیز استان از آب شیرین به علت شرایط خاص جغرافیایی و آب و هوایی.</p> <p>۷- آلودگی منابع آب زیرزمینی و سطحی به دلیل استفاده نادرست کودها و سم‌ها در بخش کشاورزی و عدم تصفیه پساب‌ها و پسماندهای شهری.</p> <p>۸- بهره‌وری پایین در مصرف آب به‌ویژه در بخش آب کشاورزی.</p> <p>۹- فرسوده بودن شبکه انتقال آب در اکثر نقاط استان.</p> <p>۱۰- ضعف در شبکه آب شرب سالم در اکثر روستاهای استان.</p> <p>۱۱- عدم حراست فیزیکی مناسب تاسیسات آب استان.</p> <p>۱۲- عدم کنترل هوشمند تاسیسات تصفیه آب استان.</p> <p>۱۳- آسیب‌پذیر بودن اکثر زیرساخت‌های آب استان در برابر تهدیدات (به لحاظ امکان دسترسی، امکان شناسایی و تمهیدات دفاعی و امنیتی).</p> <p>۱۴- ضعف در تأمین و تخصیص اعتبارات مورد نیاز تهیه و تجهیز سامانه‌های نوین رصد و پایش کیفیت آب تصفیه شده.</p> |
| فرصت‌ها (Opportunities)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | تهدیدات (Threats)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p>۱- امکان استفاده از فناوری‌های نوین در صنعت آب.</p> <p>۲- امکان استفاده از فاینانس‌های خارجی و روش‌های نوین و متنوع جذب منابع مالی برای پروژه‌های تأمین آب.</p> <p>۳- وجود تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب شهری در شهرهای بزرگ استان.</p> <p>۴- وجود سدها و تاسیسات آبی با عملکرد مناسب و امکان تعمیر و بهره‌برداری مطلوب از آنها.</p> <p>۵- امکان استقرار سیستم‌های آب شیرین‌کن در استان با هدف تأمین آب شرب و کشاورزی در شرایط بحران و قحطی آب به‌منظور مصارف استانی و ملی.</p> <p>۶- امکان تأمین آب شرب و کشاورزی از طریق راه‌اندازی نیروگاه‌های هسته‌ای کوچک در کنار سواحل استان و دستیابی به آب تصفیه شده دریا به‌واسطه عملکرد نیروگاه.</p> | <p>۱- عدم امکان تأمین کافی و به موقع قطعات تاسیسات نوین تصفیه آب به واسطه تحریم اقتصادی.</p> <p>۲- ایجاد بحران تأمین آب شرب و کشاورزی در استان به واسطه تغییرات اقلیمی و کاهش بارش‌ها.</p> <p>۳- کاهش سفره‌های آب زیرزمینی و پدیده فرونشست به دلیل برداشت بیش از ظرفیت از آن.</p> <p>۴- بحران‌های ناشی از سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها و فصلی بودن عمده رودخانه‌های استان.</p> <p>۵- عدم پایداری منابع آب شرب و وابستگی آب شرب به منابع خارج از استان.</p> <p>۶- محدود بودن منابع تأمین آب.</p> <p>۷- امکان وقوع تهدیدات بیولوژیکی در منابع آب استان.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

- 1-FEMA 426-Risk management series
- 2-Analytical Hierarchy process
- 3-Technique for Order of Preference
- 4-National Fire Protection Association 730
- 5-National Fire Protection Association 1600

## منابع

- آرمین، محسن، و قربان‌نیا خیبری، وجیهه. (۱۳۹۸). نقش پدافند غیرعامل در امنیت زیرساخت‌های تأمین، تصفیه و توزیع آب شهری. ششمین کنگره ملی عمران، معماری و توسعه شهری. تهران. ایران. <https://civilica.com/doc/1002867>
- ابطحی، سیداحسان، کلهر، رضا، و میرزا ابراهیم طهرانی، مهناز. (۱۴۰۲). ارتقاء سطح ایمنی و کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌های حمل و نقل استان‌های مرزی با هدف افزایش تاب‌آوری. پدافند غیرعامل، ۱۴(۱)، ۳۷-۵۳. <https://dori.net/dor/20.1001.1.20086849.1402.14.1.4.4>
- اعظمی، هادی، خلیلی، محسن، و دهمرده، معصومه. (۱۳۹۱). بررسی و تحلیل چالش‌های امنیتی مرزهای استان سیستان و بلوچستان. همایش ملی شهرهای مرزی و امنیت؛ چالش‌ها و رهیافت‌ها. دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. <https://civilica.com/doc/179106>
- جلالی‌فرهانی، غلامرضا، نکویی، محمدعلی، و آب‌پور، احمد. (۱۴۰۱). تاب‌آوری زیرساخت‌های آب شرب کشور با رویکرد پدافند غیرعامل. مطالعات دفاعی استراتژیک، ۲۰(۹۰)، ۱۱۵-۱۳۶. <https://dori.net/dor/20.1001.1.20084897.1401.20.90.6.8>
- زرقانی، سید هادی. (۱۳۸۵). عوامل موثر در امنیت مرزی با تأکید بر مرز شرقی ایران. علوم جغرافیایی، ۱، ۱۶۶-۱۹۱. <https://noormags.ir/view/fa/articlepage/369489>
- زرقانی، سید هادی، و بخشی شادمهری، فاطمه. (۱۳۹۳). تحلیل فرصت‌ها و چالش‌های روستاهای مرزی در امنیت مرزهای استان خراسان رضوی با مدل SWOT. همایش ملی مرزنشینی، توسعه پایدار و فرصت‌های سرمایه‌گذاری. دانشگاه آزاد واحد پارس‌آباد مغان. اردبیل، ایران. <https://civilica.com/doc/317121>
- زرقانی، سید هادی، و بخشی شادمهری، فاطمه. (۱۳۹۹). واکاوی ارتباط بین متغیر اقتصاد مرزنشینان با امنیت پایدار در مناطق مرزی با تأکید بر مناطق مرزی ایران. همایش ملی ابعاد نظری و کاربردی توسعه و امنیت پایدار مناطق مرزی با رویکرد آمایشی. مشهد، ایران. <https://civilica.com/doc/1129488>
- زرقانی، سید هادی، خوارزمی، امید علی، و بخشی شادمهری، فاطمه. (۱۳۹۵). جایگاه پدافند غیرعامل در امنیت زیرساخت‌های شهری با تأکید بر زیرساخت آب. کنفرانس ملی پدافند غیرعامل و توسعه پایدار. وزارت کشور، تهران، ایران. <https://sid.ir/paper/830857/fa>
- سازمان پدافند غیرعامل. (۱۳۹۶). پدافند غیرعامل در آئینه قانون، معاونت طرح و برنامه و امور مجلس سازمان پدافند غیرعامل کشور.
- کاظمی بلگه‌شیری، محمدجواد، و گلستانه، محمد. (۱۳۹۳). مطالعه پدافند غیرعامل در مخازن ذخیره آب و خط انتقال آن. پدافند غیرعامل، ۵(۴)، ۴۱-۵۰. [https://pd.ihu.ac.ir/article\\_200648.html](https://pd.ihu.ac.ir/article_200648.html)
- کریمی، مرتضی، و وفایی، علی‌اکبر. (۱۳۹۲). امنیت‌سازی با توسعه پایدار در مناطق مرزی (مطالعه موردی، شهر مریوان). پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۴(۱۵)، ۹۵-۱۱۲. <https://dori.net/dor/20.1001.1.22285229.1392.4.15.6.4>
- کلهر، رضا، میرزا ابراهیم طهرانی، مهناز، و ابطحی، سیداحسان. (۱۴۰۰الف). ارزیابی و مدیریت ریسک با رویکرد حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه جامع امام حسین (ع). چاپ اول. تهران.
- کلهر، رضا، میرزا ابراهیم طهرانی، مهناز، و ابطحی، سید احسان. (۱۴۰۰ب). مهندسی سلامت، ایمنی و محیط زیست در بحران‌های ناشی از تهاجم. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه جامع امام حسین (ع). چاپ اول. تهران.
- مرادی، عبدالله، و بیگلری، مرتضی. (۱۴۰۱). تحلیل خطرپذیری در تهدیدات امنیتی محتمل علیه زیرساخت‌های آب شهری آشامیدنی با رویکرد پدافند غیرعامل. مطالعات بین رشته‌ای دانش راهبردی، ۱۲(۴۹)، ۵۵-۸۱. <https://dori.net/dor/20.1001.1.24234621.1401.12.49.3.9>
- Buzan, B., & Waeber, O. (2003). Regions and Powers: The Structure of International Security. Cambridge University Press. Cambridge, England.
- Department of Homeland Security. (2011). Risk Management Series. Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings (Fema426). USA.
- Gogus, O., & Boucher, T. (1998). Strong Transitivity, Rationality and Weak Monotonicity in Fuzzy Pairwise Comparisons, Department of Industrial Engineering, Rutgers University P.O. Box 909, Piscataway, NJ 08855, USA, 94(1), 133-144. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(96\)00184-4](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(96)00184-4)

NFPA 730. (2023). Guide for Premises Security. National Fire Protection Association, USA.

NFPA 1600. (2019). Standard on Continuity Emergency and Crisis Management. National Fire Protection Association, USA.

Shahebrahimi, SS., Lork, A., & Sedaghat Shayegan, D. (2022). Knowledge Management to Investigate The Failure Factors in Managing of Gas and Oil Industry Transmission Lines Projected. Iran University of Science & Technology, 12(2), 215-233. <http://ijocce.iust.ac.ir/article-1-517-en.html>



## Analysis of Spatiotemporal Changes in the Baseflow of Iran's Rivers over the Past 30 Years

E. Parizi<sup>1\*</sup>, E. Hosseinizadeh<sup>2\*</sup>, S. M. Hosseini<sup>3\*</sup>

1,3- Ph.D. in Hydrogeomorphology & Associate Professor of Water Resources Engineering, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. 2- Ph.D. Student of Environmental Engineering, Department of Water Resources, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

\*(Corresponding Author Email: smhosseini@ut.ac.ir)

Received: 02-08-2023

Revised: 28-09-2023

Accepted: 30-09-2023

Available Online: 08-02-2024

## تحلیل تغییرات مکانی- زمانی جریان پایه رودخانه‌های ایران طی ۳۰ سال اخیر

اسماعیل پاریزی<sup>۱</sup>، عماد حسینی‌زاده<sup>۲</sup>، سید موسی حسینی<sup>۳</sup>

۱ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری هیدروژئومورفولوژی و دانشیار مهندسی منابع آب، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ۲- دانشجوی دکتری مهندسی محیط‌زیست، گروه منابع آب، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

\*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: smhosseini@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

### Abstract

The aim of this study is to estimate and analyze the spatio-temporal changes in the baseflow of 266 rivers across Iran in a 30-year period (1987-2017) in order to determine the degree of influence of groundwater sources and snowmelt in the studied rivers. The daily baseflows were separated from the streamflows recorded at the hydrometric stations using the Chapman-Maxwell digital filter method. A non-parametric Mann-Kendall test was used to analyze the baseflow time trend, and Moran's I spatial autocorrelation index was used to analyze the spatial autocorrelation of baseflow and baseflow index (baseflow ratio to streamflow). The monthly analysis of baseflow showed a regular seasonal pattern with the highest and lowest values of 9.08 and 1.95 million cubic meters per month, corresponding to the months of April and September, respectively. The results of the baseflow index showed that the share of baseflow in the surface water supply of the studied rivers is between 0.15% and 0.99% (72% on average). The results of the long-term trend of the baseflow indicated that 83.08% of the rivers experienced a significant downward trend (at a level of 0.95) in the studied period. The findings of the spatial autocorrelation test confirmed that there are several clusters with high baseflow and baseflow indexes in the Zagros and Alborz mountain ranges. The results of this research can provide a general picture of the temporal and spatial changes in the baseflow of rivers at the scale of the country and provide outstanding help to decision-makers in order to achieve integrated management of surface water resources.

**Keywords:** River Baseflow, Surface Water Resources, Mann-Kendall Test, Moran's I Spatial Autocorrelation, Eco-system Sustainability.

### چکیده

هدف از تحقیق حاضر، برآورد و تحلیل تغییرات مکانی- زمانی جریان پایه ۲۶۶ رودخانه در سرتاسر ایران در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۷) به منظور آگاهی از میزان تأثیر منابع آب زیرزمینی و رواناب ذوب برف در رودخانه‌های مورد مطالعه می‌باشد. در این راستا، جریان‌های پایه روزانه با استفاده از روش فیلتر دیجیتالی چپمن- ماکسول (Chapman-Maxwell) از جریان‌های کل ثبت‌شده در محل ایستگاه‌های هیدرومتری تفکیک شدند. از آزمون ناپارامتری من-کندال برای تحلیل روند زمانی جریان پایه و از شاخص خودهمبستگی فضایی موران (Moran's) برای تحلیل خودهمبستگی مکانی جریان پایه و شاخص جریان پایه (نسبت جریان پایه به جریان کل) بهره گرفته شد. تحلیل ماهانه جریان پایه، یک الگوی منظم فصلی را نشان داد که بیشترین و کمترین آن با مقادیر ۹/۰۸ و ۱/۹۵ میلیون مترمکعب در ماه به ترتیب مربوط به ماه‌های فروردین و شهریور بودند. نتایج شاخص جریان پایه نشان داد که سهم جریان پایه در تأمین آب سطحی رودخانه‌های مطالعاتی، بین ۰/۱۵ تا ۰/۹۹ درصد (به‌طور متوسط ۷۲ درصد) است. نتایج روند درازمدت جریان پایه حاکی از آن بود که ۸۳/۰۸ درصد رودخانه‌ها، یک روند نزولی معنی‌دار (در سطح ۰/۹۵) را در بازه زمانی مورد مطالعه تجربه کرده‌اند. یافته‌های آزمون خودهمبستگی مکانی مؤید آن بود که چندین خوشه با جریان پایه و شاخص جریان پایه بالا در رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز وجود دارند. نتایج این تحقیق می‌تواند تصویر کلی از تغییرات مکانی و زمانی دبی پایه رودخانه‌ها در مقیاس کشور ارائه نموده و کمک شایانی به تصمیم‌گیران در راستای دستیابی به مدیریت یکپارچه منابع آب سطحی نماید.

**واژه‌های کلیدی:** جریان پایه رودخانه، منابع آب سطحی، آزمون من-کندال، خودهمبستگی فضایی موران، پایداری اکوسیستم.

جریان پایه به حفظ حداقل جریان آب در طول دوره خشکی کمک می‌کند و منبع آب قابل‌اعتمادی را برای اهداف مختلف مانند آب آشامیدنی، کشاورزی و مصارف صنعتی فراهم می‌نماید (زارعی و همکاران، ۱۳۹۹). در این راستا، ارزیابی تغییرات مقدار دبی پایه رودخانه‌ها ضروری به نظر می‌رسد و می‌تواند در مدیریت بهینه منابع آب مؤثر باشد. از طرف دیگر، به دلیل آنکه جریان رودخانه‌های ایران دارای تغییرپذیری زیادی در مقیاس‌های زمانی و مکانی است، بررسی تغییرات مکانی-زمانی دبی پایه رودخانه‌ها که اکثراً متأثر از جریان آب‌های زیرزمینی و آب حاصل از ذوب برف می‌باشد، اهمیت ویژه‌ای دارد (مهری و همکاران، ۱۳۹۶). اگرچه آگاهی از تغییرات مکانی-زمانی جریان پایه نقش مهمی در برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی منابع آب ایران دارد اما تاکنون چنین ارزیابی در سطح ایران انجام نشده است و این پژوهش قصد دارد برای اولین بار این خلأ تحقیقاتی را در راستای ارائه تصویر کلی از تغییرات مکانی-زمانی دبی پایه رودخانه‌های کشور که دارای آمار کافی (حداقل ۳۰ ساله) باشند، پر نماید.

## مواد و روش‌ها

### • داده‌ها

داده‌های اولیه این پژوهش بر اساس داده‌های روزانه جریان کل رودخانه‌ها<sup>۱</sup> برای ۲۶۶ ایستگاه هیدرومتری در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۷) از دفتر پایه مطالعات منابع آب ایران گردآوری شدند (<https://data.wrm.ir>). با توجه به روش مورد مطالعه، از بین ۱۷۷۷ ایستگاه هیدرومتری فعال کشور، آن‌هایی که ۴ شرط لازم ذیل را داشتند، انتخاب شدند: ۱- ایستگاه‌های هیدرومتری بر روی رودخانه اصلی واقع باشند. ۲- به دلیل اهمیت طول مسیر جریان آب<sup>۲</sup> (Santhi و همکاران، ۲۰۰۸)، مساحت حوضه بالادست ایستگاه‌ها کمتر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع باشد (برآورد جریان پایه با استفاده از روش‌های فیلتر دیجیتال در حوضه‌های آبریز بزرگ مرسوم نمی‌باشد (Santhi و همکاران، ۲۰۰۸)). ۳- جهت کاهش دخالت‌های انسانی، کمتر از ۲ درصد مساحت حوضه توسط مناطق غیرقابل نفوذ مصنوعی (برای مثال مناطق شهری) اشغال شده باشد و بالادست ایستگاه هیدرومتری سدی وجود نداشته نباشد (Beck و همکاران، ۲۰۱۳). ۴- ۳۰ سال داده جریان کل (Santhi و همکاران، ۲۰۰۸؛ Beck و همکاران، ۲۰۱۳) به صورت پیوسته با حداقل کمبود داده داشته باشد (شکل ۱). شایان ذکر است که برای برآورد کردن شرط سوم از نقشه کاربری اراضی (ESA-WorldCover) Shapefile موقعیت سدهای ایران (۲۰۲۰) با وضوح ۱۰ متر و Shapefile موقعیت سدهای ایران استفاده شد. (<https://data.wrm.ir>)

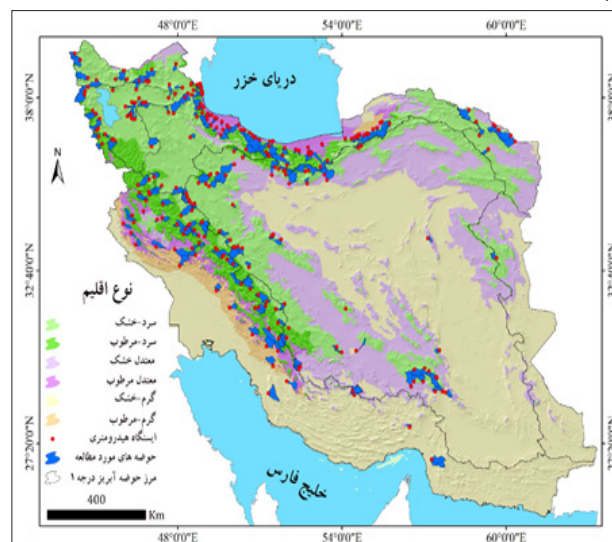
حوضه‌های درجه ۱ دریای مازندران و خلیج فارس با ۹۶ و ۶۸ ایستگاه، بیشترین تعداد حوضه مورد مطالعه و حوضه‌های قره

جریان پایه<sup>۱</sup> یکی از مؤلفه‌های مهم جریان رودخانه است که بین رویدادهای بارش یا دوره‌های خشک‌سالی رخ می‌دهد، در نتیجه اکوسیستم‌های آبی را حفظ می‌کند و قابلیت اطمینان بهره‌برداری از سیستم‌های آب‌های سطحی را افزایش می‌دهد (Partington و همکاران، ۲۰۱۲). جریان پایه از منابع مختلف از جمله آب‌های زیرزمینی، ذوب شدن برف و یخ، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و دیگر آب‌های سطحی با تأخیر زمان نسبت به رواناب سطحی ناشی از وقوع بارش، منشأ می‌گیرد (Beck و همکاران، ۲۰۱۳). با افزایش رویدادهای ناگهانی، از جمله کاهش رواناب در طول خشک‌سالی‌ها و تغییرات آب و هوایی، مطالعه جریان پایه رودخانه اهمیت فزاینده‌ای پیدا می‌کند زیرا اغلب عامل اصلی جریان آب رودخانه‌ای در طول خشک‌سالی است (Ayers و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، نظارت بر الگوهای فصلی جریان پایه و تغییرات آن در طول زمان می‌تواند به توسعه استراتژی‌ها برای استفاده پایدار از منابع آب سطحی، حفاظت از اکوسیستم‌ها و برنامه‌ریزی برای نیازهای آبی آینده کمک کند (Tan و همکاران، ۲۰۲۰).

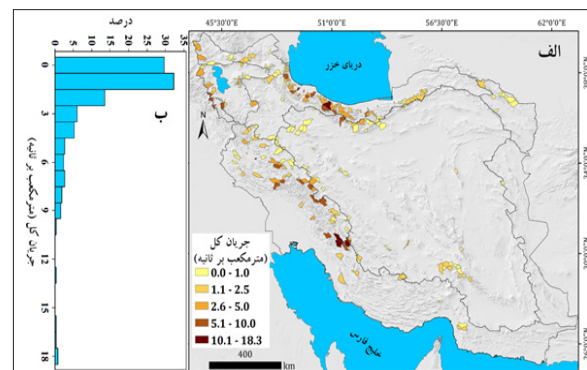
میزان جریان پایه در رودخانه‌ها توسط عوامل پیچیده‌ای از جمله شرایط آب زیرزمینی، ویژگی‌های زمین‌شناسی، فاکتورهای آب و هوایی (به‌عنوان مثال، بارش، دما، تبخیر و تعرق و پوشش برف)، ویژگی‌های خاک (بافت، رطوبت و عمق)، پوشش گیاهی، توپوگرافی (شیب و ارتفاع) و فعالیت‌های انسانی (به‌عنوان مثال، استخراج آب و تغییر کاربری زمین) کنترل می‌شود (Rumsey و همکاران، ۲۰۱۵). جریان پایه معمولاً با استفاده از سه رویکرد برآورد می‌شود: ۱) رویکردهای آماری، تجربی و نیمه تجربی از جمله روش‌های گرافیکی (Sloto و Crouse، ۱۹۹۶) و فیلترهای دیجیتال (Eckhardt، ۲۰۰۵)، ۲) مدل‌های فیزیکی تعامل آب سطحی/آب زیرزمینی (Werner و همکاران، ۲۰۰۶) و ۳) روش‌های مبتنی بر ردیاب شیمیایی (Stewart و همکاران، ۲۰۰۷). روش‌های دیگر شامل اندازه‌گیری مستقیم دبی آب‌های زیرزمینی (به‌عنوان مثال، استفاده از نشت سنج<sup>۲</sup>)، اندازه‌گیری جریان تفاضلی<sup>۳</sup>، مدل‌های رودخانه و رویکردهای تعادل آب هستند که اغلب به توصیف جریان پایه در مقیاس حوضه اجازه نمی‌دهند یا از خطاهای بزرگ در نمایش جریان کم، رنج می‌برند (Frederiksen و همکاران، ۲۰۱۸). در میان این روش‌ها، فیلترهای دیجیتال<sup>۴</sup> یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها در عمل هستند، از نظر محاسباتی کارآمد می‌باشند، به پارامترهای کمی متکی هستند و می‌توانند برای تجزیه و تحلیل رکوردهای جریان طولانی‌مدت استفاده شوند (Li و همکاران، ۲۰۱۳).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران که بارندگی کم و نامنظم است، معمولاً جریان پایه خیلی محدود است. با این وجود،

قوم و مرزی شرق با ۹ و ۱ ایستگاه، کمترین حوضه مطالعاتی در این پژوهش را دارند. حوضه‌های آبریز بالادست این ۲۶۶ ایستگاه هیدرومتری دارای طیف وسیعی از اقلیم‌ها (از سرد-خشک تا گرم-مرطوب) توپوگرافی‌ها، زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی هستند و تنوع بالا برای حصول به نتیجه جامع که بتواند نماینده ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های ایران باشد، دارند. توزیع مکانی داده‌های روزانه جریان کل رودخانه‌ها برای مناطق مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است. حوضه‌هایی با میانگین کل جریان بالا (بیش از ۵ مترمکعب بر ثانیه) در شمال، غرب و شمال غرب ایران بر رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس واقع شده‌اند (شکل ۲). حداقل و حداکثر دبی کل جریان با مقادیر ۰/۰۳ و ۱۸/۲۶ مترمکعب بر ثانیه به ترتیب مربوط به حوضه‌های نیریزشتکوه در استان یزد و تنگ بریم در استان فارس می‌باشد. هیستوگرام داده‌های جریان کل نشان می‌دهد که میانگین و انحراف معیار داده‌ها به ترتیب برابر با ۲/۰۹ و ۲/۹۰ است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری و حوضه‌های مورد مطالعه (منبع نقشه اقلیم‌ها: سازمان هواشناسی و موسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۹۸)



شکل ۲- توزیع مکانی (الف) و هیستوگرام (ب) میانگین درازمدت دبی کل جریان برای حوضه‌های مورد مطالعه (۱۹۸۷-۲۰۱۷)

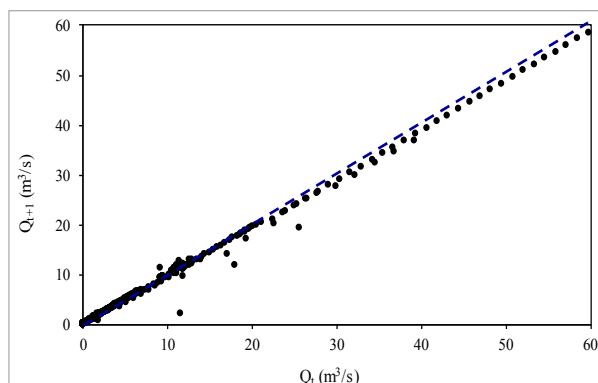
## • روش‌ها

### ۱- محاسبه جریان پایه

در این مطالعه، جهت تفکیک جریان پایه<sup>۷</sup> روزانه از کل جریان روزانه در ۲۶۶ ایستگاه با داده‌های بلندمدت (۱۹۸۷-۲۰۱۷) از روش چپمن-ماکسول<sup>۸</sup> (Chapman و Maxwell، ۱۹۹۶) استفاده شد. عملکرد بهتر فیلتر دیجیتال چپمن-ماکسول در سرتاسر جهان توسط Tan و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شده است. آن‌ها بر اساس تحلیل ۲۳۷۴ ایستگاه هیدرومتری در سرتاسر جهان، نشان دادند که این روش نسبت به روش‌های UKIH، Lynne-Hollick و Eckhardt می‌تواند جریان پایه را از جریان کل با دقت بالاتری تفکیک نماید. این روش مطابق با رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$Q_{bt} = \frac{k}{2-k} Q_{bt-1} + \frac{1-k}{2-k} Q_t \quad (1)$$

که  $Q_{bt}$  جریان پایه،  $Q_t$  جریان کل،  $t$  برابر با زمان و  $k$  پارامتر فیلتر یا ضریب فروکش<sup>۹</sup> است. در این زمینه، ابتدا مقدار پارامتر  $k$  برای هر ایستگاه با استفاده از HYDRORECESSION toolbox (Arciniega-Esparza و همکاران، ۲۰۱۷) در محیط برنامه‌نویسی MATLAB محاسبه شد. برای تعیین  $k$ ، منحنی‌های فروکش طی چندین سال (در اینجا ۳۰ سال، ۱۹۸۷-۲۰۱۷) رسم می‌شوند. این منحنی‌های فروکش با رسم جریان کل در روز  $t$  در مقابل جریان کل در روز  $t+1$  به دست می‌آیند. پارامتر فیلتر  $k$  شیب خطی است که مرز بالایی بین دو جریان را تشکیل می‌دهد (Eckhardt، ۲۰۰۸). شکل (۳) نمونه‌ای از نحوه محاسبه پارامتر فیلتر  $k$  را برای یکی از رودخانه‌های مطالعاتی (رودخانه گراب، استان فارس) طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ نشان می‌دهد. بعد از تعیین پارامتر  $k$  برای هر ایستگاه هیدرومتری، جریان پایه روزانه با استفاده از GrWat package (Samsonov و همکاران، ۲۰۲۲) در نرم‌افزار R (نسخه 4.3.1) تفکیک گردید.



شکل ۳- نمودار پراکندگی دبی فروکش زمان  $t+1$  در برابر دبی فروکش در زمان  $t$  در طول دوره فروکش رودخانه گراب طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷. خط‌چین: خط از طریق مبدأ با شیب  $k=0.986$  که بر اساس روش چپمن-ماکسول (۱۹۹۶) برابر ضریب فروکش در نظر گرفته می‌شود.

## ۲- شاخص جریان پایه

به نسبت میانگین درازمدت دبی جریان پایه به میانگین درازمدت دبی کل جریان رودخانه، شاخص جریان پایه<sup>۱۱</sup> گفته می‌شود (Beck و همکاران، ۲۰۱۳). این نسبت به عنوانی شاخصی برای نشان دادن توانایی حوضه در ذخیره و آزادسازی آب طی دوره‌های خشک به کار می‌رود. مقادیر بالای شاخص مذکور حاکی از پایداری رژیم جریان حوضه بوده و توانایی حوضه در حفظ جریان رودخانه طی دوره خشکی را نشان می‌دهد. به طور کلی، شاخص جریان پایه به خصوصیات مانند شرایط هیدرولوژیک، خصوصیات زمین‌شناسی و سایر ویژگی‌های مرتبط با قدرت ذخیره‌سازی خاک وابستگی زیادی دارد (Gregor، ۲۰۱۰). این شاخص بر اساس رابطه (۲) و از تقسیم مقادیر جریان پایه روزانه به کل جریان رودخانه در طول دوره آماری مورد نظر به دست می‌آید:

$$BFI = \frac{\sum_{t=1}^n Q_{bt}}{\sum_{t=1}^n Q_t} \quad (2)$$

جاییکه  $Q_{bt}$  دبی جریان پایه در دوره  $t$ ام و  $Q_t$  برابر با دبی کل جریان رودخانه در دوره مورد نظر است (Brušková، ۲۰۰۸).

## ۳- تحلیل روند زمانی دبی پایه

بررسی روند علاوه بر مشخص کردن نوسانات طولانی‌مدت فرایندهای هیدرولوژیک، دوره تناوب و دیگر خصوصیات آن‌ها را مشخص می‌کند (باقریور و همکاران، ۱۳۹۶). بدین منظور، در طی سال‌های گذشته محققین روش‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری را جهت بررسی روند ارائه دادند. در روش‌های پارامتری نیاز است که داده‌ها مستقل بوده و از توزیع نرمال پیروی کنند. در صورتی که در روش‌های غیر پارامتری نیاز نیست داده‌ها از توزیع نرمال پیروی کنند و این روش‌ها نسبت به داده‌های پرت و گم‌شده حساسیت کمتری دارند. از بین آزمون‌های روند غیر پارامتری برای تشخیص روند سری‌های زمانی هیدرولوژیک، روش من-کندال (Mann، ۱۹۴۵؛ Kendall، ۱۹۴۸) مناسب‌تر است، مخصوصاً برای داده‌های هیدرولوژی که نامتوازنند و داده‌های پرت دارند (Hamed، ۲۰۰۸). این آزمون توسط روابط (۳) و (۴) تعریف می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{(S-1)}{\sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{(S+1)}{\sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}}} & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

که  $n$  طول توالی<sup>۱۱</sup> و  $S$  یک مقدار آماری است:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (4)$$

که  $\text{sgn}(X_i - X_j)$  تابع علامت و برابر است با ۱، صفر و -۱ زمانی که  $(X_i - X_j)$  به ترتیب بزرگ‌تر، مساوی یا کمتر از صفر باشد (Shi و همکاران، ۲۰۱۹). یکی از بهترین کارها جهت بهبود محاسبه

روندهای بلندمدت در جریان پایه، حذف نوسانات فصلی در جریان پایه با استفاده از الگوریتم میانگین متحرک اتورگرسیوی فصل زدایی شده<sup>۱۲</sup> (Salas، ۱۹۸۰) قبل از انجام آزمون من-کندال است.

## ۴- استخراج سطح پوشیده از برف

جهت پایش سطح پوشیده از برف و ارتباط آن با شاخص جریان پایه، از محصول (MODIS (MOD10A1 V6 با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ در پلتفرم گوگل ارث انجین (GEE)<sup>۱۳</sup> استفاده شد. در این زمینه، با استفاده از شاخص  $NDSI^{14}$  (Hall و همکاران، ۲۰۰۲) درصد مساحتی از حوضه که

دارای پوشش برف بود، محاسبه شد:

$$NDSI = \frac{Band\ 4 - Band\ 6}{Band\ 4 + Band\ 6} \quad (5)$$

که باندهای ۴ و ۶ به ترتیب بازتاب را در نوار سبز و مادون قرمز کوتاه نشان می‌دهند. به طور کلی، برف نسبت به سایر انواع سطوح با مقادیر  $NDSI$  بالاتر مشخص می‌شود و پیکسل‌های MODIS با ارزش‌های  $NDSI$  مساوی یا بالاتر از ۰/۴ به عنوان برف در نظر گرفته می‌شوند (Barnett و Klein، ۲۰۰۳).

## ۵- آنالیز خودهمبستگی مکانی

خودهمبستگی مکانی<sup>۱۵</sup> مفهومی است که در آمارهای مکانی برای توصیف میزان شباهت بین مقادیر یک متغیر در مکان‌های مختلف استفاده می‌شود. به عبارت ساده‌تر، به تمایل مکان‌های نزدیک به داشتن مقادیر مشابه یا مرتبط برای یک ویژگی یا متغیر خاص در حال مطالعه اشاره دارد (Qin و همکاران، ۲۰۱۹). در خودهمبستگی مکانی، مقدار یک متغیر در یک مکان معین با مقادیر مکان‌های همسایه مقایسه می‌شود. اگر درجه بالایی از شباهت بین مکان‌های همسایه وجود داشته باشد، خوشه‌بندی مکانی را پیشنهاد می‌کند. به این معنی که مقادیر مشابه تمایل به خوشه‌بندی با هم دارند. از سوی دیگر، اگر درجه تشابه کمی وجود داشته باشد، نشان‌دهنده پراکندگی مکانی یا تصادفی است، جایی که به نظر می‌رسد مقادیر به طور تصادفی در سراسر فضا توزیع شده‌اند (Parizi و همکاران، ۲۰۲۱). در این پژوهش، جهت تعیین خودهمبستگی مکانی محلی<sup>۱۶</sup> جریان پایه و شاخص جریان پایه از شاخص Moran's I (Moran، ۱۹۵۰) استفاده شد. این روش، الگوی توزیع مقادیر ویژگی‌های عنصر منفرد را در یک فضای ناهمگن بررسی می‌کند و می‌تواند میزان همبستگی مکانی محلی بین هر منطقه و مناطق اطراف آن را اندازه‌گیری کند (Anselin، ۱۹۹۵):

$$I = z_i \sum_j w_{ij} z_j \quad (6)$$

که  $I$  شاخص Local Moran's I،  $z_i$  و  $z_j$  مقادیری از جریان پایه و شاخص جریان پایه که به ایستگاه‌های  $i$  و  $j$  نرمال شده‌اند و  $w_{ij}$  عنصری از ماتریس وزن فضا است.



### • تغییرپذیری مکانی ضریب فروکش و جریان پایه

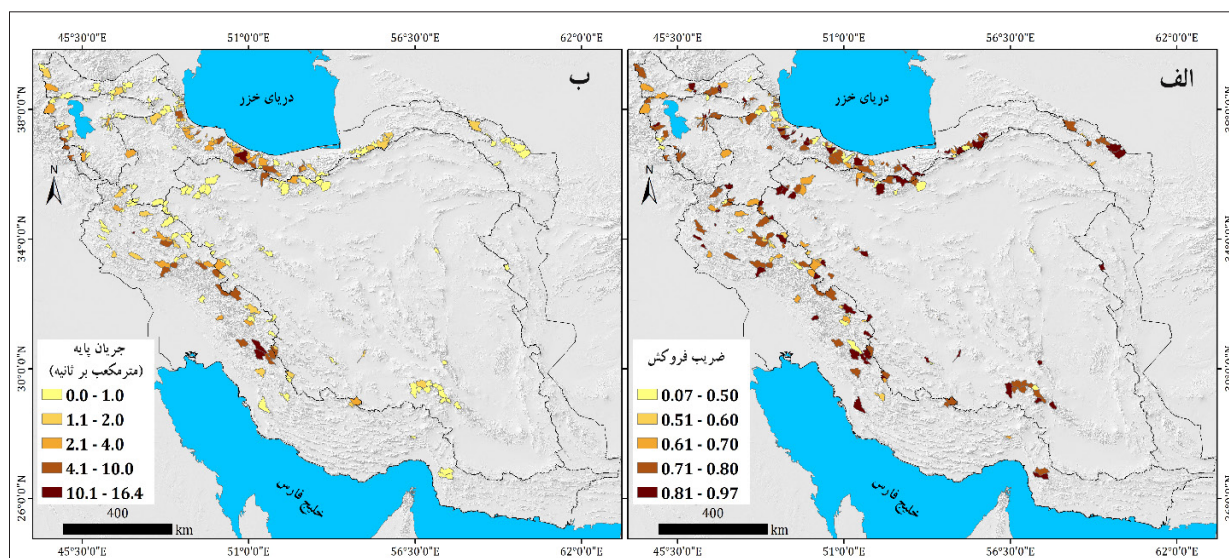
توزیع مکانی میانگین درازمدت (۱۹۸۷-۲۰۱۷) مربوط به ضریب فروکش برای ۲۶۶ رودخانه مطالعاتی، در شکل (۴-الف) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین ضریب فروکش ۰/۶۷۹ بوده و در دامنه ۰/۰۷۴ (ایستگاه مهربانی طبس، یزد) تا ۰/۹۶۸ (ایستگاه بند قدیمی، اصفهان) تغییر می‌کند. حوضه‌هایی با ضریب فروکش کمتر (کمتر از ۰/۵۰) اکثراً در شمال کشور واقع شده‌اند. توزیع‌های مکانی میانگین درازمدت جریان پایه برای حوضه‌های مطالعاتی، محاسبه شده با روش چپمن-ماکسول در شکل (۴-ب) نشان داده شده است. نتایج مؤید آن است که مقادیر جریان پایه در محدوده ۰/۰۲ مترمکعب بر ثانیه (ایستگاه نیریشکوه، یزد) تا ۱۶/۴۰ مترمکعب بر ثانیه (ایستگاه قورباغستان، کرمانشاه) با میانگین ۱/۶۰ مترمکعب بر ثانیه تغییر می‌کنند. حوضه‌هایی با میانگین جریان پایه بالاتر (بالاتر از ۱۰ مترمکعب بر ثانیه) در رشته‌کوه‌های البرز، زاگرس و جنوب غرب دریاچه ارومیه قرار گرفته‌اند (شکل ۴-ب). ۶۱/۳ درصد از رودخانه‌ها دارای نرخ جریان پایه کمتر از ۱ مترمکعب بر ثانیه هستند، ۲۸/۶ درصد بین ۱ تا ۴ مترمکعب بر ثانیه و تنها ۱۰/۲

درصد از حوضه‌ها دارای نرخ جریان پایه بین ۴ تا ۱۶/۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشند. مجموع مقدار جریان پایه برای ۲۶۶ ایستگاه مطالعاتی برابر با ۴۲۳/۹ مترمکعب بر ثانیه است.

نتایج میانگین ضریب فروکش و جریان پایه در سطح ۶ حوضه درجه ۱ ایران در جدول (۱) ارائه شده است. حوضه‌های خلیج فارس-دریای عمان و مرزی شرق به ترتیب با ضریب فروکش ۰/۶۴۶ و ۰/۸۰۷ دارای کمترین و بیشترین مقدار ضریب فروکش هستند. از طرف دیگر، بیشترین مقدار جریان پایه مربوط به حوضه خلیج فارس-دریای عمان (میانگین ۲/۶۲ مترمکعب بر ثانیه) و کمترین متعلق به مرزی شرق (میانگین ۰/۰۱۶ مترمکعب بر ثانیه) می‌باشد.

جدول ۱- میانگین ضریب فروکش و جریان پایه برای ۶ حوضه درجه ۱ ایران

| نام حوضه             | ضریب فروکش (-) | جریان پایه (مترمکعب بر ثانیه) |
|----------------------|----------------|-------------------------------|
| خلیج فارس-دریای عمان | ۰/۶۴۶          | ۲/۶۲۲                         |
| دریای مازندران       | ۰/۶۸۹          | ۱/۶۰۱                         |
| دریاچه ارومیه        | ۰/۶۹۶          | ۱/۳۰۵                         |
| فلات مرکزی           | ۰/۶۸۳          | ۰/۸۱۲                         |
| قره قوم              | ۰/۷۲۱          | ۰/۴۸۱                         |
| مرزی شرق             | ۰/۸۰۷          | ۰/۰۱۶                         |



شکل ۴- میانگین درازمدت (۱۹۸۷-۲۰۱۷) ضریب فروکش و جریان پایه برای حوضه‌های مطالعاتی

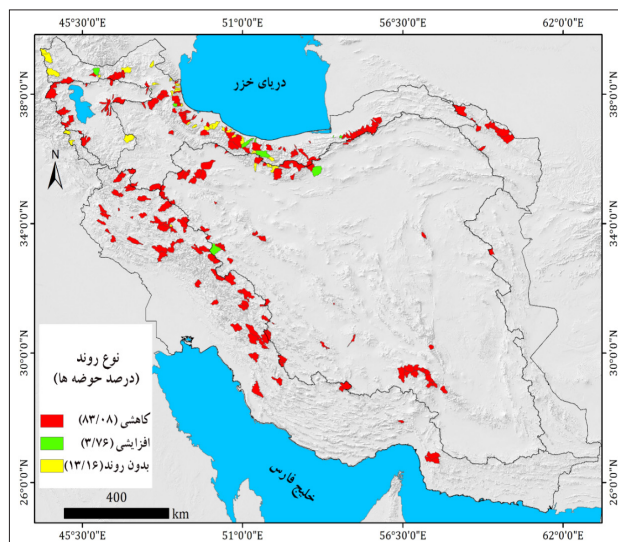
### • تغییرات فصلی جریان پایه

نظارت و درک تغییرات فصلی جریان پایه ضروری است زیرا این تغییرات نقش مهمی در حفظ اکوسیستم‌های آبی، برآورده کردن نیازهای آبی و مدیریت مؤثر منابع آب دارند. نتایج تغییرات فصلی جریان پایه ۲۶۶ رودخانه مطالعاتی ایران به شرح شکل (۵) می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که میانگین جریان پایه در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت به

بیشترین مقدار خود می‌رسد (میانگین ۷/۲۷، ۹/۰۸ و ۷/۲۸ میلیون مترمکعب در ماه) در حالیکه، ماه‌های مرداد، شهریور و مهر کمترین جریان پایه را تجربه می‌کنند (میانگین ۲/۰۱، ۱/۹۵ و ۲/۴۶ میلیون مترمکعب). انحراف معیار درازمدت (۱۹۸۷-۲۰۱۷) ماهانه جریان پایه در شکل (۵) مؤید آن است که ماه‌های فروردین و مرداد دارای بیشترین و کمترین تغییرات جریان پایه طی این ۳۰ سال بوده‌اند.



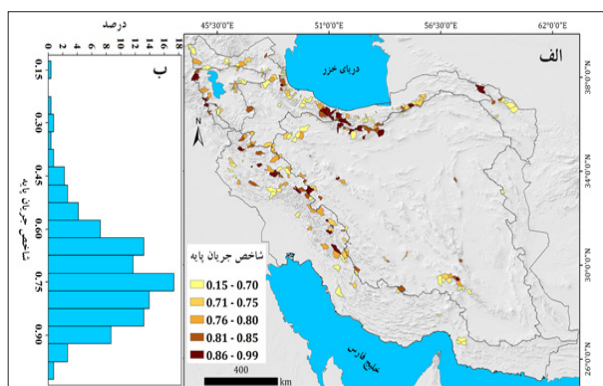
اخیر، ممکن است بر زمان و میزان تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی و همچنین مقدار و زمان ذوب برف تأثیر گذاشته باشد و به طور بالقوه جریان پایه را در مناطق مذکور افزایش داده است.



شکل ۶- توزیع مکانی نوع روند جریان پایه در حوضه‌های مورد مطالعه

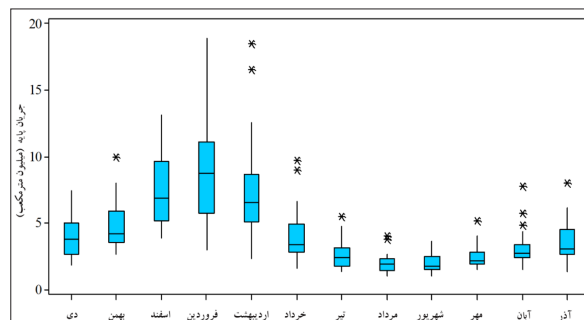
#### • شاخص جریان پایه

نتایج شاخص جریان پایه حوضه‌های مطالعاتی در شکل (۷) نشان داده شده است. شاخص جریان پایه در محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۹۹ متغیر می‌باشد و میانگین آن برای ۲۶۶ حوضه مطالعاتی برابر با ۰/۷۲ می‌باشد. به عبارت دیگر، نتایج شاخص جریان پایه نشان می‌دهد که به طور متوسط سهم جریان پایه در تأمین آب سطحی حوضه‌های مطالعاتی، ۷۲ درصد است که از منابع مختلف تأخیری نظیر آب‌های زیرزمینی و ذوب شدن برف نشأت می‌گیرند. مناطق با شاخص جریان پایه بالا (بیشتر از ۰/۸۶) اکثراً بر رشته‌های البرز و زاگرس واقع شده‌اند. حوضه‌های درجه ۱ ارومیه و مرزی شرق با میانگین شاخص جریان پایه ۰/۷۶۲ و ۰/۴۸۳ بیشترین و کمترین مقدار این شاخص را دارند.



شکل ۷- میانگین درازمدت (۱۹۸۷-۲۰۱۷) توزیع مکانی (الف) و

هیستوگرام (ب) شاخص جریان پایه



شکل ۵- نمودار جعبه‌ای توزیع ماهانه جریان پایه طی سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۸۷ در حوضه‌های مطالعاتی (علامت ستاره نشان دهنده داده پرت است)

به‌طورکلی، جریان پایه در ایران یک الگوی منظم فصلی را نشان می‌دهد که از جمله دلایل آن تغییرات فصلی پوشش برف و افزایش یا کاهش ذخیره آب زیرزمینی به دلیل تغییرات بارش طی ماه‌های مختلف می‌باشد. از یک طرف، با توجه به الگوی بارش و دما در ایران، چنین می‌توان تصور نمود افزایش جریان دبی پایه به ویژه در فروردین ماه منطبق با زمان ذوب برف حوضه‌ها است در حالیکه کاهش دبی جریان به ویژه در ماه شهریور منطبق با نبود یا کمبود مقدار برف حوضه‌ها می‌باشد. از طرف دیگر، در ماه‌های مرطوب به دلیل افزایش بارش، تغذیه آب زیرزمینی افزایش می‌یابد که منجر به جریان پایه بیشتر در رودخانه‌ها می‌شود و در طول ماه‌های خشک، سطح آب زیرزمینی و متعاقباً جریان پایه کاهش می‌یابد.

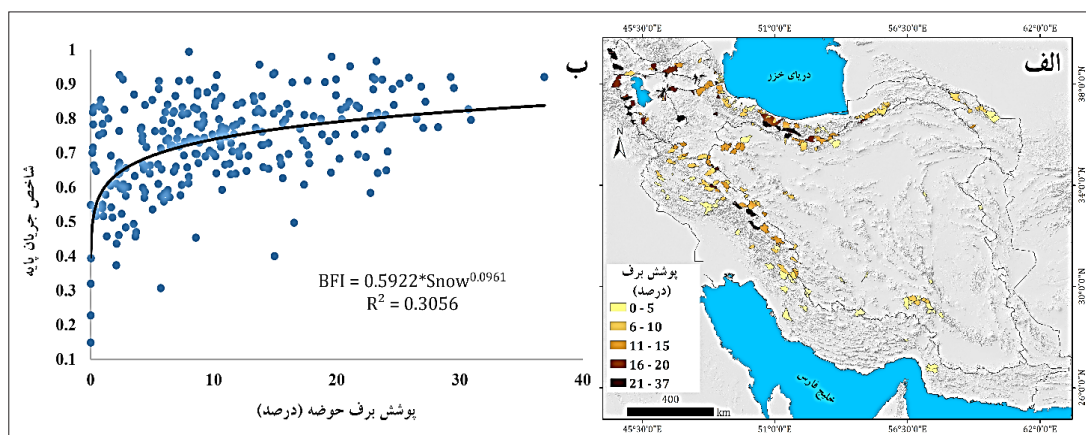
#### • روند جریان پایه

از طریق داده‌های جریان پایه فصلی‌زدایی‌شده طولانی‌مدت ماهانه و تجزیه و تحلیل آزمون روند Mann-Kendall در ۲۶۶ ایستگاه مطالعاتی از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷، ۲۳۱ رودخانه به سطح معنی‌داری  $\alpha = 0.05$  (در سطح ۰/۹۵) رسیدند (شکل ۶). در حالیکه ۲۲۱ رودخانه (۸۳/۰۸ درصد) روند جریان پایه نزولی و ۱۰ رودخانه (۳/۷۶ درصد) روند صعودی داشتند، ۳۵ رودخانه روند قابل‌توجهی در بازه زمانی مورد مطالعه نشان نمی‌دادند. در این زمینه، ایستگاه‌های قورباغستان و سردآبرود به ترتیب در استان‌های کرمانشاه و مازندران با مقادیر شیب ۱/۱۳۱- و ۰/۱۰۶- به ترتیب دارای حداکثر روند نزولی و صعودی بودند. به‌طورکلی، تجزیه و تحلیل روند نشان می‌دهد که اکثریت قابل‌توجهی از رودخانه‌های کشور روند کاهشی در جریان پایه را تجربه کردند که اکثراً در شمال شرق، جنوب و غرب ایران واقع شده‌اند. از طرف دیگر، اکثر حوضه‌های دارای روند صعودی در شمال ایران قرار گرفته‌اند. روند صعودی دبی جریان پایه در ۱۰ حوضه مطالعاتی احتمالاً ناشی از تغییرات آب و هوایی است. در واقع، افزایش دما (Behling و همکاران، ۲۰۲۲) و تغییر الگوهای بارندگی (Fallah و Ghalhari و همکاران، ۲۰۱۶) در برخی از مناطق ایران در ۳۰ سال

### • ارتباط بین شاخص جریان پایه و سطح پوشیده از برف

توزیع مکانی میانگین درازمدت (۲۰۰۱-۲۰۱۷) مربوط به درصد سطح پوشیده از برف حوزه‌های مطالعاتی در شکل (۸-الف) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین سطح پوشیده از برف حوزه‌های مطالعاتی ۱۰/۷۰ درصد بوده و در محدوده ۰/۰۱ درصد (حوضه اهرم، بوشهر) تا ۳۶/۸۹ درصد (حوضه دلیچای، مازندران) تغییر می‌کند. حوزه‌هایی با سطح پوشیده از برف بالا (بیش از ۲۰ درصد) اکثراً بر رشته‌کوه‌های زاگرس، البرز و شمال غرب کشور واقع شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که میانگین پوشش برف در حوزه‌های شاخص جریان

پایه بالاتر از ۰/۸۶ برابر با ۱۶ درصد است که نسبت به میانگین پوشش برف سایر حوزه‌ها (۹/۷ درصد) تقریباً ۴۰ درصد بیشتر است. این موضوع مؤید آن است که در این مناطق، پوشش برف نقش قابل‌توجهی در افزایش شاخص جریان پایه نسبت به حوزه‌های دیگر دارد. برای آشکارسازی نقش پوشش برف در شاخص جریان پایه، ارتباط بین این دو متغیر در حوزه‌های مطالعاتی با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون<sup>۱۷</sup> تعیین گردید. یافته‌ها حاکی از آن است که شاخص جریان پایه ارتباط معنی‌داری ( $R^2 = 0.30$ ) با مقدار پوشش برف حوزه‌ها در سطح معنی‌داری ۰/۹۹ دارد (شکل ۸-ب).

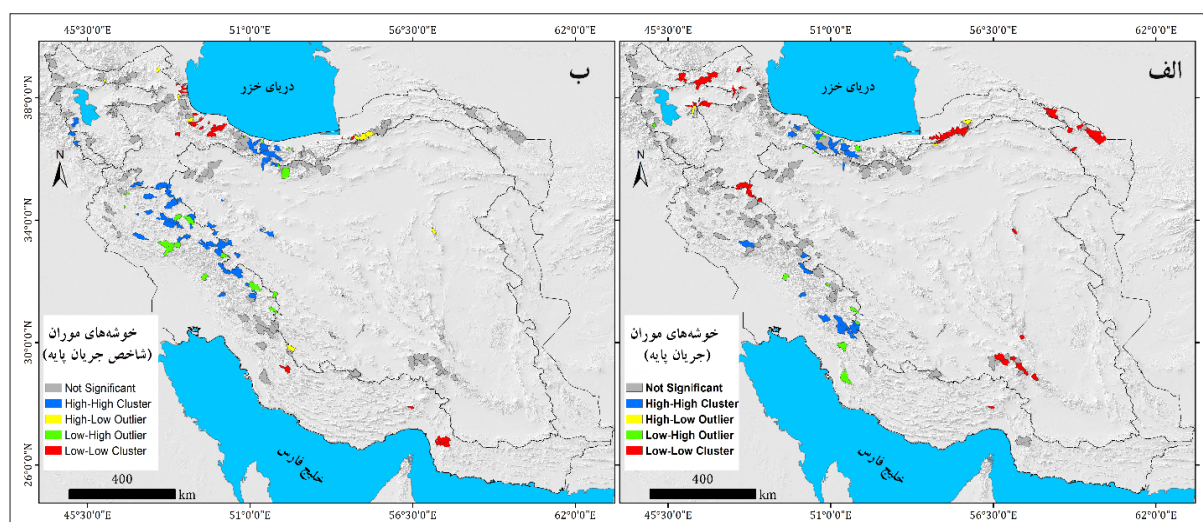


شکل ۸- ارتباط بین شاخص جریان پایه و سطح پوشش برف در حوزه‌های مطالعاتی

### • خودهمبستگی مکانی

برای درک ویژگی‌های مکانی و الگوی توزیع جریان پایه و شاخص جریان پایه در حوزه‌های مورد مطالعه، از آزمون خودهمبستگی Moran's I استفاده شد (شکل ۹). شکل (۹-الف) نشان می‌دهد که ۵ خوشه با دبی‌های جریان پایین-پایین<sup>۱۸</sup> (خوشه‌هایی که در آن حوزه‌های با مقدار جریان پایه کم با هم تشکیل یک خوشه را داده‌اند) در ایران وجود دارد (۵۸ حوضه) و خوشه‌های

با جریان پایه بالا-بالا<sup>۱۹</sup> (خوشه‌هایی که در آن حوزه‌های با مقدار جریان پایه زیاد با هم تشکیل یک خوشه را داده‌اند) در دو منطقه (رشته‌های زاگرس و البرز، ۲۲ حوضه) واقع شده‌اند. به عبارت دیگر، در این دو منطقه حوزه‌های هم‌جواری وجود دارد که دارای دبی‌های جریان پایه بالا مشابهی هستند. این در حالی است که ۱۶۹ حوضه مورد مطالعه، الگوی مکانی خاصی در جریان پایه را نشان نمی‌دهند.



شکل ۹- خوشه‌های محلی موران برای جریان پایه (الف) و شاخص جریان پایه (ب) در حوزه‌های مورد مطالعه

شکل (۹-ب) مؤید آن است که خوشه‌های با شاخص جریان پایه پایین-پایین در سه منطقه ایران وجود دارند (۲۴ حوضه) و خوشه‌های با شاخص جریان پایه بالا-بالا (۶۲ حوضه) در چهار منطقه واقع شده‌اند. از طرف دیگر، ۱۵۳ حوضه مورد مطالعه، الگوی مکانی خاصی در شاخص جریان پایه را نشان نمی‌دهند. مقایسه این نتایج حاکی از آن است که در حوضه‌های مورد مطالعه، شاخص جریان پایه نسبت به جریان پایه وضعیت بهتری دارد و حوضه‌های هم‌جوار دارای مشابهت بیشتری در شاخص جریان پایه نسبت به جریان پایه می‌باشند. این نتایج مؤید آن است که جریان پایه و شاخص جریان پایه در برخی از حوضه‌های نزدیک به هم در ایران، مقادیر تقریباً مشابهی دارند و می‌توانند با هم تشکیل یک خوشه را بدهند. احتمالاً یکی از دلایل اصلی آن شرایط آب و هوایی، زمین‌شناسی و توپوگرافی حوضه‌های هم‌جوار هم است. در مقابل، عدم شباهت جریان پایه و شاخص جریان پایه در حوضه‌های فاقد الگوی مکانی مشخص را می‌توان به تفاوت در آب‌وهوا، زمین‌شناسی و توپوگرافی آن‌ها نسبت داد.

#### نتیجه‌گیری

جریان پایه یک جزء حیاتی از جریان رودخانه است و نقش مهمی در حفظ اکوسیستم رودخانه و حمایت از مصارف مختلف آب دارد. این تحقیق بر اهمیت درک و پایش جریان پایه رودخانه‌های ایران برای حفظ و پایداری منابع آبی کشور تأکید داشت. در واقع، هدف از این مطالعه ارائه بینشی در مورد تغییرات مکانی-زمانی جریان پایه و شناسایی روندها، حمایت از فرآیندهای تصمیم‌گیری آگاهانه برای حفظ و استفاده کارآمد از منابع آب بود. این پژوهش یک الگوی فصلی منظم را در جریان پایه رودخانه‌ها شناسایی نمود که درک این تغییرات فصلی می‌تواند به برنامه‌ریزی فعالیت‌های مرتبط با آب در طول سال کمک کند. آزمون روند من-کندال بیانگر آن بود که نسبت قابل‌توجهی از رودخانه‌ها (۸۳/۰۸ درصد) روند نزولی در جریان پایه در طول دوره مورد مطالعه نشان دادند. این روند کاهشی می‌تواند پیامدهایی برای دسترسی به آب و سلامت اکوسیستم در ایران داشته باشد و ممکن است نیاز به اقدامات مدیریتی تطبیقی داشته باشد. نتایج شاخص جریان پایه نشان داد که به‌طور متوسط سهم جریان پایه در تأمین آب سطحی حوضه‌های مطالعاتی، ۷۲ درصد است. این نشان می‌دهد که منابع تأخیری مانند آب‌های زیرزمینی و پوشش برف حوضه‌ها نقش بسزایی در حفظ منابع آب سطحی ایران دارند. تجزیه و تحلیل خودهمبستگی مکانی با استفاده از شاخص موران، حضور خوشه‌هایی با دبی زیاد و کم جریان پایه را در حوضه‌های ایران نشان می‌دهد. این

اطلاعات می‌تواند به شناسایی مناطقی که ممکن است به توجه ویژه در استراتژی‌های مدیریت آب نیاز داشته باشند کمک کند. مجموع این یافته‌ها، می‌تواند سیاست‌ها و استراتژی‌هایی را با هدف حفظ و مدیریت مؤثر منابع آب ارائه کند.

#### پیشنهادهات

پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده مهم‌ترین عواملی که سبب تغییرات صعودی یا نزولی جریان پایه در حوضه‌های مطالعاتی شده‌اند، تعیین گردند. همچنین، با توجه به مبهم بودن میزان مشارکت عوامل گوناگون در تعیین مقدار شاخص جریان پایه، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی به این مبحث پرداخته شود.

#### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خویش را از شرکت مدیریت منابع آب که با در اختیار دادن داده‌های دبی کل روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری کشور، کمک شایانی به انجام پژوهش حاضر نمود، اعلام می‌نمایند.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1-Baseflow
- 2-Seepage Meters
- 3-Differential Stream Gauging
- 4-Digital Filters
- 5-Streamflow
- 6-Water Flow Routing
- 7-Baseflow Separation
- 8-Chapman-Maxwell
- 9-Recession Constant
- 10-Baseflow Index (BFI)
- 11-Sequence Length
- 12-Deasonalized Autoregressive Moving Average Algorithm
- 13-Google Earth Engine
- 14-Normalized Difference Snow Index
- 15-Spatial Autocorrelation
- 16-Local Spatial Autocorrelation
- 17-Pearson Correlation Test
- 18-Low-Low Cluster
- 19-High-High Cluster



- Brušková, V. (2008). Assessment of the base flow in the upper part of Torysa river catchment. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 2, 8-14. [https://www.svf.stuba.sk/buxus/docs/sjce/2008/2008\\_2/file2.pdf](https://www.svf.stuba.sk/buxus/docs/sjce/2008/2008_2/file2.pdf)
- Chapman, T. G., & Maxwell, A. I. (1996). Baseflow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. *Hydrology and water resources symposium 1996: Water and the environment; preprints of papers. Conference Paper, 1 January 1996 (pp. 539-545)*. Barton, ACT: Institution of Engineers, Australia. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.360361071346753>
- Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(2), 507-515. <https://doi.org/10.1002/hyp.5675>
- Eckhardt, K. (2008). A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. *Journal of Hydrology*, 352(1-2), 168-173. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.01.005>
- ESA-WorldCover. (2020). Worldwide Land Cover Mapping: VITO NV.2021. <https://es-a-worldcover.org/en>
- Fallah Ghalhari, G. A., Dadashi Roudbari, A. A., & Asadi, M. (2016). Identifying the spatial and temporal distribution characteristics of precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2606-4>
- Frederiksen, R. R., Christensen, S., & Rasmussen, K. R. (2018). Estimating groundwater discharge to a low-land alluvial stream using methods at point, reach, and catchment-scale. *Journal of Hydrology*, 564, 836-845. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.036>
- Gregor, M. (2010). BFI+ 3.0 user's manual. Department of Hydrogeology, Faculty of Natural Science, Comenius University. <https://hydrooffice.org/Files/UM%20BFI.pdf>
- Hall, D. K., Riggs, G. A., Salomonson, V. V., DiGirolamo, N. E., & Bayr, K. J. (2002). MODIS snow-cover products. *Remote sensing of Environment*, 83(1-2), 181-194. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00095-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00095-0)
- Hamed, K. H. (2008). Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of hydrology*, 349(3-4), 350-363. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>
- باقرپور، مهسا، سیدیان، مرتضی، فتح‌آبادی، ابوالحسن، و محمدی، امین. (۱۳۹۶). بررسی کارایی آزمون من کندال در شناسایی روند سری‌های دارای خودهمبستگی. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*, ۱۱(۳۶)، ۲۱-۱۱. <http://jwmsei.ir/article-1-532-fa.html>
- زارعی، مهدی، بروغنی، مهدی، و علوی‌نیا، سید حسن. (۱۳۹۹). برآورد آب پایه به منظور ارزیابی جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: رودخانه شامکان، سبزوار). *مجله مهندسی منابع آب*, ۱۳(۴۴)، ۵۱-۳۷. <https://doi.org/10.22069/ejang.2019.11706.1327>
- سازمان هواشناسی کشور و موسسه تحقیقات خاک و آب. (۱۳۹۸). نقشه خرد اقلیم کشاورزی ایران. [www.irimo.ir](http://www.irimo.ir) / [www.swri.ir](http://www.swri.ir)
- مهری، سونیا، مصطفی‌زاده، رئوف، اسمعیل عوری، اباذر، و قربانی، اردوان. (۱۳۹۶). مقایسه روش‌های جداسازی جریان پایه رودخانه و تغییرات فصلی آن در تعدادی از آبخیزهای استان اردبیل. *نشریه علمی حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی*, ۶(۲)، ۱۳۳-۱۳۷. <https://doi.org/10.22069/ejang.2019.11706.1327>
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*, 27(2), 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Arciniega-Esparza, S., Breña-Naranjo, J. A., Pedrozo-Acuña, A., & Appendini, C. M. (2017). HYDRORECESSION: A Matlab toolbox for streamflow recession analysis. *Computers & Geosciences*, 98, 87-92. DOI: [10.1016/j.cageo.2016.10.005](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.10.005)
- Ayers, J. R., Villarini, G., Jones, C., & Schilling, K. (2019). Changes in monthly baseflow across the US Midwest. *Hydrological processes*, 33(5), 748-758. <https://doi.org/10.1002/hyp.13359>
- Beck, H. E., Van Dijk, A. I., Miralles, D. G., De Jeu, R. A., Bruijnzeel, L. A., McVicar, T. R., & Schellekens, J. (2013). Global patterns in base flow index and recession based on streamflow observations from 3394 catchments. *Water Resources Research*, 49(12), 7843-7863. <https://doi.org/10.1002/2013WR013918>
- Behling, R., Roessner, S., Foerster, S., Saemian, P., Tourian, M. J., Portele, T. C., & Lorenz, C. (2022). Interrelations of vegetation growth and water scarcity in Iran revealed by satellite time series. *Scientific Reports*, 12(1), 20784. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24712-6>

- Colorado River Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 91–107. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.04.008>
- Salas, J. D. (1980). *Applied modeling of hydrologic time series*. Water Resources Publication, Littleton, Colorado.
- Samsonov, T., Rets, E., & Kireeva, M. (2022). Region-specific multiple-approach separation of river hydrograph using the GrWat R package. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 23–27 May 2022 (pp. EGU22-10013). Vienna, Austria & Online. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-10013>
- Santhi, C., Allen, P. M., Muttiah, R. S., Arnold, J. G., & Tuppad, P. (2008). Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions. *Journal of Hydrology*, 351(1-2), 139-153. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.12.018>
- Shi, X., Qin, T., Nie, H., Weng, B., & He, S. (2019). Changes in major global river discharges directed into the ocean. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(8), 1469. <https://doi.org/10.3390/ijerph16081469>
- Sloto, R. A., & Crouse, M. Y. (1996). HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis. *Water-resources investigations report*, 96, 4040. <https://doi.org/10.3133/wri964040>
- Stewart, M., Cimino, J., Ross, M. (2007). Calibration of base flow separation methods with streamflow conductivity. *Groundwater*, 45, 17–27. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2006.00263.x>
- Tan, X., Liu, B., & Tan, X. (2020). Global changes in baseflow under the impacts of changing climate and vegetation. *Water Resources Research*, 56(9), e2020WR027349. <https://doi.org/10.1029/2020WR027349>
- Werner, A. D., Gallagher, M. R., Weeks, S. W. (2006). Regional-scale, fully coupled modelling of stream-aquifer interaction in a tropical catchment. *Journal of Hydrology*, 328, 497-510. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.12.034>
- Kendall, D. G. (1948). On the generalized "birth-and-death" process. *The Annals of Mathematical Statistics*, 19(1), 1–15. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730285>
- Klein, A. G., & Barnett, A. C. (2003). Validation of daily MODIS snow cover maps of the Upper Rio Grande River Basin for the 2000–2001 snow year. *Remote Sensing of Environment*, 86(2), 162-176. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00097-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00097-X)
- Li, L., Maier, H. R., Lambert, M. F., Simmons, C. T., & Partington, D. (2013). Framework for assessing and improving the performance of recursive digital filters for baseflow estimation with application to the Lyne and Hollick filter. *Environmental Modelling & Software*, 41, 163–175. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.009>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Moran, P. A. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37(1/2), 17-23. <https://doi.org/10.1093/biomet/37.1-2.17>
- Parizi, E., Bagheri-Gavkosh, M., Hosseini, S. M., & Geravand, F. (2021). Linkage of geographically weighted regression with spatial cluster analyses for regionalization of flood peak discharges drivers: Case studies across Iran. *Journal of Cleaner Production*, 310, 127526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127526>
- Partington, D., Brunner, P., Simmons, C. T., Werner, A. D., Therrien, R., Maier, H. R., & Dandy, G. C. (2012). Evaluation of outputs from automated baseflow separation methods against simulated baseflow from a physically based, surface water-groundwater flow model. *Journal of Hydrology*, 458, 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.029>
- Qin, H., Huang, Q., Zhang, Z., Lu, Y., Li, M., Xu, L., & Chen, Z. (2019). Carbon dioxide emission driving factors analysis and policy implications of Chinese cities: Combining geographically weighted regression with two-step cluster. *Science of the Total Environment*, 684, 413-424. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.05.352](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.352)
- Rumsey, C. A., Miller, M. P., Susong, D. D., Tillman, F. D., & Anning, D. W. (2015). Regional scale estimates of baseflow and factors influencing baseflow in the Upper



## Quality Management of Water Resources in Hot and Dry Climate Using the Water Quality Index WQI

I. Homayoonnezhad<sup>1\*</sup>, P. Amirian<sup>2</sup>

1-Assistant Professor, Department of Agriculture, Technical-Engineering Faculty, Payam Noor University, Tehran, Iran. 2-Ph.D. in Environmental Health, Waste Management Organization of Shiraz Municipality, Shiraz, Iran.

\* (Corresponding Author Email: Homayoonnezhad@pnu.ac.ir)

Received: 29-07-2023

Revised: 07-10-2023

Accepted: 02-11-2023

Available Online: 15-02-2024

## مدیریت کیفی منابع آب در اقلیم گرم و خشک با استفاده از شاخص کیفیت آب WQI

ایمان همایون‌نژاد<sup>۱\*</sup>، پریا امیریان<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه کشاورزی، دانشکده فنی-مهندسی، عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور تهران، ایران. ۲- دکترای مهندسی بهداشت محیط، سازمان مدیریت پسماند شهرداری شیراز، ایران.

\* (نویسنده مسئول، E-Mail: homayoonnezhad@pnu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۱

### Abstract

Assessing the quality of water resources and having accurate information about their quantity and quality is a prerequisite for water resources management. Considering the importance of the Chahnimeh reservoirs of the main source of drinking and agricultural water supply in Sistan, it seems necessary to evaluate the water quality of the No.1 Chahnimeh, which is the most important and the largest lake among the triple Chahnimeh reservoirs. Today, one of the most important methods to determine the quality of water in simple terms is the use of water quality indicators. This research was conducted during one year based on seasonal sampling from September 2020 to September 2021. The factors of nitrate, nitrite, dissolved oxygen, electrical conductivity, hardness, and pH were measured in eight sampling stations and the WQI index was calculated using them. In general, according to the numbers of the water quality index, the water quality in all stations, and sampling periods has not gone out of the range of good quality waters (50-100), and the range of changes is such that the water quality is favorable for human use. The highest numerical value of the quality index was recorded in the winter. The middle points of the lake have better quality compared to the peripheral parts and the inlet and outlet of the reservoir. It is worth noting that due to the increasing importance of Chahnimeh reservoirs and the trend of changes in the type of water consumption of these valuable resources, it seems necessary to carry out more detailed investigations, continuously evaluate and monitor the water quality, and design a water quality monitoring model for these sources.

**Keywords:** Water Quality Assessment, Water Quality Index, WQI, Chahnimeh Reservoirs.

### چکیده

ارزیابی کیفیت منابع آب و در اختیار داشتن اطلاعات دقیق در مورد کمیت و کیفیت آنها پیش‌نیاز مدیریت منابع آب می‌باشد. باتوجه به اهمیت مخازن چاه‌نیمه به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین‌کننده آب آشامیدنی و کشاورزی در سیستان، ارزیابی کیفیت آب چاه‌نیمه اول که مهمترین و بزرگترین دریاچه از بین چاه‌نیمه‌های ۳ گانه است ضروری به‌نظر می‌رسد. امروزه یکی از مهمترین روش‌هایی که با بیانی ساده، شرایط کیفی آب را بازگو می‌کند، استفاده از شاخص‌های کیفیت آب می‌باشد. این تحقیق طی یک سال با تکیه بر نمونه‌برداری فصلی از مهر ۹۹ تا مهر ۱۴۰۰ انجام شد و فاکتورهای نیترات، نیتریت، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، سختی و pH در هشت ایستگاه نمونه‌برداری اندازه‌گیری و شاخص کیفی آب با استفاده از آنها محاسبه شد. باوجود تغییرات و نوسانات بین ایستگاه‌ها و فصول مختلف سال، نتایج به‌دست آمده کیفیت آب چاه‌نیمه را در مجموع خوب ارزیابی نمود. به‌طور کلی باتوجه به اعداد شاخص کیفی آب، کیفیت آب در تمامی ایستگاه‌ها و دوره‌های نمونه‌برداری از محدوده آب‌ها با کیفیت خوب (۵۰-۱۰۰) خارج نشده است و دامنه تغییرات به‌گونه‌ای است که کیفیت آب برای مصارف انسانی مطلوب می‌باشد. بیشترین مقدار عددی شاخص کیفی در زمستان ثبت شد. نقاط میانی دریاچه در مقایسه با بخش‌های حاشیه‌ای و ورودی و خروجی مخزن چاه‌نیمه کیفیت مناسب‌تری دارند. شایان ذکر است به دلیل اهمیت روزافزون چاه‌نیمه‌ها و روند تغییرات به‌وجود آمده در نوع مصرف آب این منابع با ارزش، انجام بررسی‌های دقیق‌تر و ارزیابی و پایش مستمر کیفیت آب چاه‌نیمه‌ها و طراحی یک مدل پایش کیفی آب برای این منابع ضروری به‌نظر می‌رسد.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی کیفیت آب، شاخص کیفی آب، WQI، مخازن چاه‌نیمه.

از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری که با بیانی ساده، شرایط کیفی آب را بازگو می‌نماید، به‌کارگیری شاخص‌های کیفی آب می‌باشد. با استفاده از این شاخص‌ها هم می‌توان تغییرات کیفی آب را در طول زمان در یک ایستگاه مورد پایش قرار داد و هم می‌توان از این شاخص‌ها برای نشان دادن تغییرات کیفی آب در مناطق مختلف یک کشور یا جهان استفاده نمود (Malekmohamadi و Solgi، ۲۰۲۱). همچنین با استفاده از شاخص‌های کیفی، حجم زیادی از اطلاعات نمونه‌برداری‌ها و اندازه‌گیری‌های کیفی آب به‌صورت یک عدد منفرد ارائه می‌شود که مفهوم و تعریف کیفی تفسیر شده‌ای دارد (Shahbazi و همکاران، ۲۰۲۰). چاه‌نیمه‌ها گودال‌های طبیعی هستند که در جنوب دشت سیستان و در ۵۰ کیلومتری شهر زابل قرار دارند. چاه‌نیمه اول که مورد اصلی این تحقیق است مهمترین و بزرگترین مخزن در بین مخازن سه گانه چاه‌نیمه است که از قسمت جنوبی دشت سیستان از حاشیه مرز افغانستان شروع شده و موازی با رودخانه هیرمند تا حدود ۶ کیلومتری شهر زهک امتداد دارد. مخزن چاه‌نیمه اول توسط کانالی آب مازاد رودخانه هیرمند را با کمک یک سد خاکی به ارتفاع ۱۶ متر و طول ۱۲۰ متر در خود نگه می‌دارد و در مجموع با سطحی معادل ۲۰ کیلومتر مربع و حجمی تا ۲۱ میلیون متر مکعب بزرگترین دریاچه انسان‌ساز واقع در شمال استان سیستان و بلوچستان است (شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۱ الف). باتوجه به اهمیت این مخزن و استفاده‌های چندگانه از آب این منبع برای توسعه ناحیه جنوب شرقی ایران، ارزیابی کیفیت آب چاه‌نیمه و بررسی روند تغییرات آن در قسمت‌های مختلف دریاچه و در فصول سال ضروری به‌نظر می‌رسد. شاخص‌های کیفی روش‌هایی هستند که می‌توانند به‌عنوان ابزار مدیریتی قوی در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت کیفی منابع آب استفاده شوند (Saatsaz، ۲۰۲۰). در این راستا در مطالعه حاضر برای ارزیابی کیفیت آب از شاخص کیفی آب به‌عنوان یکی از روش‌های مناسب تعیین تغییرات کیفیت آب، باتوجه به سهولت استفاده از آن و امکان بیان نتایج به زبان ساده و قابل فهم استفاده شده است. این شاخص می‌تواند برای توسعه سیستم مقایسه کیفیت آب در بخش‌های مختلف یک کشور استفاده شوند. این شاخص ابزاری مناسب و ساده برای تعیین وضعیت و شرایط کیفیت آب است که در آن از داده‌های چند پارامتر کیفی آب در یک فرمول ریاضی که در نهایت با یک عدد، میزان سلامتی آب را نشان می‌دهد، استفاده می‌شود. این عدد با یک مقیاس نسبی که گویای کیفیت آب از نامناسب تا عالی است، دسته‌بندی می‌شود. به‌طور کلی برخی از فاکتورهای تعیین‌کننده کیفیت آب که در این مطالعه شامل اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، سختی، نیترات، نیتریت و pH می‌باشند همراه با نمره وزنی هر یک از آنها که براساس نظر متخصصان و منابع معتبر تعیین می‌شوند، از طریق محاسبات ریاضی مقدار عددی شاخص را مشخص می‌کنند. به‌عبارت دیگر وضعیت کیفیت

دریاچه‌های طبیعی و انسان ساز به‌عنوان یکی از مهمترین اکوسیستم‌های طبیعی کشورها محسوب می‌شوند و پایش کیفی آنها در چشم‌انداز برنامه‌های مدیریت منابع آب هر کشوری باید مورد توجه قرار گیرد. پیش‌نیاز توسعه پایدار منابع آب، در اختیار داشتن اطلاعات مطمئن در مورد کمیت، کیفیت و نیازهای کاربران مختلف است (Tawafi و همکاران، ۲۰۱۲). آب‌های جاری تحت تاثیر فرآیندهایی مانند هواگیری سطحی، تنفس سلولی، اختلاط، سرعت جریان و ... کیفیت متفاوتی دارند اما ذخیره کردن آب‌های سطحی می‌تواند باعث اثرات سوء بر کیفیت آنها شود. ساخت و بهره‌برداری از مخازن بزرگ باعث افزایش ماندآب می‌شود و این عامل منجر به تفاوت در کیفیت آب خروجی از مخازن در مقابل آب ورودی به مخزن می‌شود (Abtahi و همکاران، ۲۰۲۱). مخازن قادر هستند به‌عنوان جمع‌کننده مواد باقیمانده از رودخانه‌ها عمل کنند، از تغییرات زیاد پارامترهای کیفیت آب رودخانه ممانعت کنند و کیفیت آب را با مدیریت صحیح اصلاح نمایند. از طرفی مهمترین فاکتورهایی که در کاهش کیفیت آب دریاچه‌ها موثر هستند عبارتند از: مواد معلق یا بار جامد، مواد محلول، گازهای محلول، آلودگی میکروبی و دما (Tawafi و همکاران، ۲۰۱۲). به‌عبارت دیگر سدها و مخازن باعث ایجاد تغییرات عمده در کیفیت آب رودخانه (تغییرات مثبت یا منفی) می‌شوند و اقلیم منطقه همچنین نوع و شدت بهره‌برداری از مخازن و دریاچه‌های پشت سدها در چگونگی این تغییرات اثر مستقیم دارند (Ahmed، ۲۰۲۰). فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پیکره‌های آبی اثر گذشته و موجب بروز مشکلاتی در کیفیت آب دریاچه‌ها می‌شوند (Nabavi و Abedinpour، ۲۰۱۸).

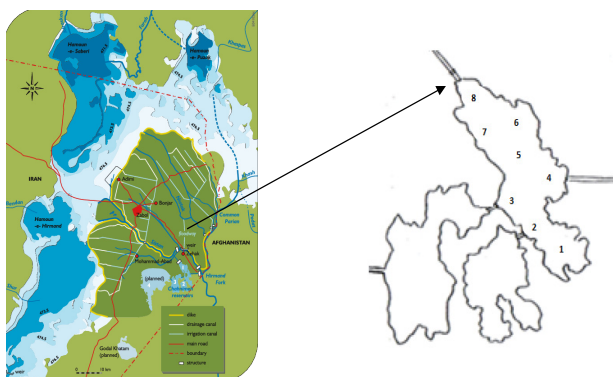
کیفیت آب در هر محل منعکس کننده اثر عوامل مختلفی مانند زمین‌شناسی، شرایط اقلیمی و منابع آلاینده انسانی و غیره می‌باشد و پایش کیفیت منابع آب اغلب داده‌های پیچیده‌ای تولید می‌کند. بنابراین روش‌های مناسبی برای تحلیل و تفسیر داده‌ها مورد نیاز است. اهمیت پایش و ارزیابی همچنین نقش اصولی داده و سنجش آنها در مدیریت منابع آب باید بیش از پیش مورد تاکید و مراقبت قرار گیرد، زیرا برای مدیریت یکپارچه آب، نظام پایش و ارزیابی، نقش حیاتی دارد (قوچانیان و فشائی، ۱۴۰۱). امروزه بررسی و پایش کیفیت آب مخازن و دریاچه‌هایی که برای نگهداری آب رودخانه‌ها طراحی و استفاده می‌شوند، از مسائلی است که فکر متخصصان آبی علوم محیط‌زیستی دنیا را به خود مشغول کرده و همواره برای مقابله با تغییرات کیفیت آب تلاش و پیگیری کرده‌اند (Badeenezhad و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از روش‌های ساده و دور

آب به صورت گام به گام تعیین می شود. ابتدا پارامترهای کیفی تعیین می شود بعد از آن وزن هر پارامتر مشخص می شود و عدد نهایی شاخص از مجموع اعداد همه پارامترها به دست می آید. در پایان معادل توصیفی شاخص که بین نامناسب و عالی رتبه بندی شده است، نمایانگر ارزش واحدی کیفیت آب می شود. از WQI<sup>۱</sup> برای پایش تغییرات کیفیت آب در منابع آبی، به ویژه در زمان های مختلف یا مکان های متفاوت استفاده می شود (Rice و همکاران، ۲۰۱۷). هدف از این مطالعه ارزیابی و تعیین شرایط کیفی آب چاه نیمه اول سیستان با تکیه بر شاخص کیفیت آب است تا بتوان برای حفاظت و کنترل و از همه مهمتر برای مدیریت مناسب چاه نیمه به عنوان یک زیست بوم آبی ارزشمند برنامه ریزی لازم را انجام داد. بنابراین نتایج به دست آمده از این تحقیق می تواند به عنوان ابزاری مفید در اختیار بهره برداران برای تصمیم گیری های مدیریتی قرار گیرد.

#### مواد و روش ها

مخزن مورد بررسی این تحقیق در دشت سیستان در شرق ایران بین ۲۹° ۰۶' شرقی و ۲۰° ۰۶' عرض شمالی در جوار مرز افغانستان و در انتهای حوضه آبریز رودخانه هیرمند قرار گرفته است. چاه نیمه به طور عمده همه ساله از طریق رواناب های سطحی رودخانه هیرمند و بسته به شرایط اقلیمی از طریق بارش های جوی تغذیه می شود. میانگین شدت جریان آب ورودی به مخزن اول ۴/۶

مترمکعب بر ثانیه و میانگین شدت جریان آب خروجی از چاه نیمه ۳/۱۵ مترمکعب بر ثانیه است (شرکت آب منطقه ای سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۱ ب). این مطالعه به صورت توصیفی-مقطعی با تکیه بر نمونه برداری در چهار فصل، از مهر ۹۹ تا مهرماه ۱۴۰۰ انجام شد. با کمک بازدیدهای میدانی و هدف تحقیق ۸ ایستگاه نمونه برداری در محدوده طرح شامل یک ایستگاه در ورودی مخزن اول چاه نیمه (ایستگاه شماره ۴)، یک ایستگاه در خروجی مخزن (ایستگاه شماره ۸)، ۶ ایستگاه در قسمت های مختلف مخزن (ایستگاه ۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۷) و ۱) موقعیت کلی مخازن چاه نیمه (مخزن ۱، ۲، ۳ و ۴) را در ایران نشان می دهد و مشخصات دقیق ایستگاه های نمونه برداری در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت مخازن چاه نیمه و ایستگاه های نمونه برداری

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های نمونه برداری در مخزن اول چاه نیمه

| شماره ایستگاه | موقعیت مکانی                                 | مختصات    |           | ارتفاع از سطح دریا (متر) | شرح دلایل انتخاب                                            |
|---------------|----------------------------------------------|-----------|-----------|--------------------------|-------------------------------------------------------------|
|               |                                              | X         | Y         |                          |                                                             |
| ۱             | حاشیه مرز افغانستان در مخزن اول              | ۶۱°۴۲'۲۰" | ۳۰°۵۱'۲۷" | ۴۶۸                      | بررسی کیفیت آب در منتهی الیه جنوب شرقی مخزن                 |
| ۲             | کانال ورودی آب از مخزن اول به مخزن دوم       | ۶۱°۴۳'۰۹" | ۳۰°۴۸'۱۶" | ۴۶۸                      | بررسی کیفیت آب در محل کانال ارتباطی مخزن اول و دوم          |
| ۳             | کانال ورودی آب از مخزن اول به مخزن سوم       | ۶۱°۴۲'۰۰" | ۳۰°۴۶'۴۳" | ۴۶۶                      | بررسی کیفیت آب در محل کانال ارتباطی مخزن اول و سوم          |
| ۴             | کانال ورودی آب از رودخانه سیستان به مخزن اول | ۶۱°۴۱'۴۳" | ۳۰°۴۴'۵۸" | ۴۶۷                      | تعیین کیفیت آب در محل کانال ورودی آب به مخزن اول            |
| ۵             | پهنه دریاچه در قسمت عمیق مخزن                | ۶۱°۴۱'۱۰" | ۳۰°۴۶'۳۸" | ۴۶۴                      | بررسی کیفیت آب در میانه مخزن و قسمت عمیق                    |
| ۶             | حاشیه مراکز تحقیقاتی دانشگاه زابل            | ۶۱°۴۰'۲۴" | ۳۰°۴۴'۵۵" | ۴۶۵                      | تعیین کیفیت آب و بررسی اثرات احتمالات مراکز تحقیقاتی روی آن |
| ۷             | حاشیه شمال غربی مخزن اول                     | ۶۱°۳۹'۲۰" | ۳۰°۴۸'۰۴" | ۴۶۵                      | بررسی وضعیت کیفی آب در حاشیه شمال شرقی مخزن                 |
| ۸             | کانال خروجی آب از مخزن اول به رودخانه سیستان | ۶۱°۴۲'۲۰" | ۳۰°۴۶'۴۵" | ۴۶۵                      | بررسی کیفی آب در محل خروجی مخزن                             |

$$Q_i = (C_i - V_i / S_i - V_i) \times 100 \quad (3)$$

در روابط بالا  $Q_i$  میزان کیفی،  $C_i$  مقدار به دست آمده از هر یک از پارامترهای اندازه گیری شده،  $S_i$  میزان گزارش شده پارامتر در استاندارد جهانی مربوط به آب آشامیدنی و  $V_i$  بهترین مقدار پارامترهای مورد نظر است. این مقدار برای pH عدد ۷ و برای اکسیژن محلول ۱۴/۶ میلی گرم بر لیتر است (Rice و همکاران، ۲۰۱۷).

$$SI_i = Q_i \times RW \quad (4)$$

در این رابطه  $SI_i$  زیرشاخص WQI است که برای هر پارامتر به دست می آید و در نهایت از مجموع  $SI_i$  ها مقدار عددی WQI به دست می آید. در واقع با کمک زیر شاخص  $SI_i$  و جمع آنها WQI در ایستگاه ها و فصول مختلف سال محاسبه می شود و از مقایسه اعداد به دست آمده با جدول (۴) که طبقه بندی کیفی آب را نشان می دهد، وضعیت کیفیت آب چاه نیمه اول در ایران محاسبه می شود.

جدول ۲- نسبت وزنی پارامترهای کیفی آب (WHO، ۲۰۱۱)

| نسبت وزنی (RW) | وزن اختصاص داده شده (AW) | استاندارد آب آشامیدنی | پارامترها              |
|----------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| ۰/۱۵۶۰۲۸       | ۲/۲                      | ۵۰                    | نیترات (mg/lit)        |
| ۰/۱۴۱۸۴۴       | ۲                        | ۳                     | نیتريت (mg/lit)        |
| ۰/۰۷۸۰۱۴۲      | ۱/۱                      | ۵۰۰                   | سختی (mg/lit)          |
| ۰/۱۹۱۴۸۹       | ۲/۷                      | ۲۵۰                   | هدایت الکتریکی (μs/cm) |
| ۰/۲۸۳۶۸۸       | ۴                        | ۵                     | اکسیژن محلول (mg/lit)  |
| ۰/۱۴۸۹۳۶       | ۱/۲                      | ۶/۵-۸/۵               | pH                     |
|                | ۱۳/۲                     |                       | مجموع                  |

پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آزمایش شده شامل: نیترات، نیتريت، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، سختی و pH می باشند که در میانه هر ماه در ۸ ایستگاه نمونه برداری اندازه گیری شدند و در نهایت از آنها میانگین فصلی هر فاکتور به دست آمد. در مجموع باتوجه به ۳ تکرار در هر ماه مجموعاً ۲۸۸ نمونه از چاه نیمه برداشت شد. نمونه های برداشت شده در مجاورت یخ در محیط تاریک به آزمایشگاه منتقل شدند و در آزمایشگاه فاکتورهای مورد نظر بر اساس روش های استاندارد ارزیابی شدند (Rice و همکاران، ۲۰۱۷). یون های نیترات و نیتريت به روش کالری متری و اندازه گیری با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر، اکسیژن محلول به روش وینکلر، pH از طریق دستگاه pH متر، EC با استفاده از EC متر و سختی نیز به روش تیتراسیون اندازه گیری شدند (Rice و همکاران، ۲۰۱۷). در بررسی های آماری، داده ها با کمک نرم افزار SPSS آنالیز شدند. همچنین از آزمون کلموگروف اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده ها استفاده شد. بررسی اختلاف بین داده ها با آنالیز واریانس یک طرفه ارزیابی شد. همچنین برای مقایسه میانگین ها از آزمون دانکن استفاده شد (Zar، ۱۹۸۴). برای محاسبه شاخص کیفی WQI، ۶ پارامتر نیترات، نیتريت، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، سختی و pH گزینش شدند. برای دستیابی به مقادیر نهایی شاخص WQI از روابط زیر استفاده شد:

$$RW = AW / \sum AW \quad (1)$$

در رابطه بالا  $RW^2$  نسبت وزنی هر یک از فاکتورهای اندازه گیری شده است که در جدول (۲) آمده است.  $AW^2$  وزن اختصاص یافته به هر فاکتور براساس مطالعات قبلی و پیشنهاد متخصصان است (جدول ۳).

$$Q_i = (C_i / S_i) \times 100 \quad (2)$$

جدول ۳- وزن اختصاص یافته به هر پارامتر باتوجه به منابع مختلف و نظر متخصصان

| pH  | EC    | DO | سختی   | نیتريت | نیترات | منابع                      |
|-----|-------|----|--------|--------|--------|----------------------------|
| -   | μs/cm |    | mg/lit |        |        |                            |
| ۱   | ۴     | ۴  | ۱      | ۲      | ۲      | (Merchan و همکاران، ۲۰۱۷)  |
| ۱   | -     | ۴  | -      | -      | ۳      | (Boyacioglu، ۲۰۰۷)         |
| ۴   | ۴     | ۴  | ۲      | -      | -      | (Tyagi و همکاران، ۲۰۱۳)    |
| ۴   | ۲     | ۴  | ۱      | -      | -      | (Pathak و Dwivedi، ۲۰۰۷)   |
| ۱   | ۱     | ۴  | ۱      | ۲      | ۲      | (Kannel و همکاران، ۲۰۰۷)   |
| ۱   | ۲     | ۴  | ۱      | ۲      | ۲      | (Karakaya و همکاران، ۲۰۱۱) |
| ۴   | ۲     | ۴  | ۱      | -      | -      | (Lumb و همکاران، ۲۰۱۱)     |
| ۱   | ۴     | ۴  | ۱      | ۲      | ۲      | (Wunderlin و Pesce، ۲۰۰۰)  |
| ۲/۱ | ۲/۷   | ۴  | ۱/۱    | ۲      | ۲/۲    | میانگین                    |

جدول ۴- طبقه‌بندی کیفی آب‌های طبیعی براساس امتیاز کلی شاخص WQI (Ramakrishnaiah و همکاران، ۲۰۰۹؛ Shahapure و همکاران، ۲۰۱۴)

| طبقه‌بندی کیفی | مقدار شاخص به‌دست آمده |
|----------------|------------------------|
| نامناسب        | ۳۰۰                    |
| خیلی فقیر      | ۲۰۰-۳۰۰                |
| فقیر           | ۱۰۰-۲۰۰                |
| خوب            | ۵۰-۱۰۰                 |
| عالی           | >۵۰                    |

## نتایج

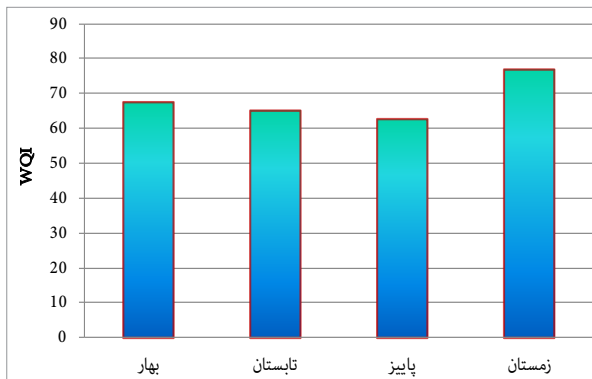
نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب در ۸ ایستگاه و فصول مختلف نمونه‌برداری به ترتیب در جداول (۵ و ۶) آورده شده است. نتایج این جداول با کمک محاسبات ریاضی در نهایت، عدد شاخص کیفیت آب در فصول مختلف سال و در ایستگاه‌های ۸ گانه چاه‌نیمه را تعیین می‌کند (جدول ۷). در این تحقیق شاخص کیفی آب (WQI) با کمک ۶ فاکتور نیترات، نیتریت، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، سختی و pH محاسبه شد. در توصیف این شاخص فرض بر این است که با افزایش مقدار عددی شاخص WQI میزان آلودگی افزایش و کیفیت آب کاهش می‌یابد. مقدار عددی شاخص WQI به‌دست آمده در این مطالعه بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۸ گانه در سطح دریاچه اول چاه‌نیمه و همچنین در فصول مختلف سال تفاوت معنی‌داری را نشان نداد ( $P > 0.05$ ). جدول (۷) مقدار شاخص WQI محاسبه شده را در ایستگاه‌های نمونه‌برداری و فصول مختلف سال نشان می‌دهد از مقایسه اعداد مربوط به شاخص WQI به‌دست آمده با جدول (۴) (استانداردهای کیفیت آب) آنچه مسلم است کیفیت آب در تمامی

ایستگاه‌ها و دوره‌های نمونه‌برداری از محدوده آب‌ها با کیفیت خوب (۵۰-۱۰۰) خارج نشده است و دامنه تغییرات به‌گونه‌ای است که کیفیت آب برای مصارف انسانی مطلوب می‌باشد. شکل‌های (۲ و ۳) به ترتیب تغییرات شاخص کیفیت آب در ایستگاه‌ها و دوره‌های نمونه‌برداری را نمایش می‌دهند. براساس یافته‌های این تحقیق، تغییرات در ایستگاه‌ها نامحسوس و عدد شاخص در ۸ ایستگاه به‌هم نزدیک است. بیشترین مقدار شاخص WQI در ایستگاه سوم (۸۵/۶۶۱) و کمترین آن در ایستگاه پنجم (۵۱/۸۷۸) ثبت شد (جدول ۷ و شکل ۲). همچنین روند تغییرات کیفیت آب در طول زمان و در فصول مختلف نمونه‌برداری به گونه‌ای بود که کیفیت آب از فصل بهار تا اواخر پاییز رو به کاهش است اما فصل زمستان بالاترین سطح کیفی آب چاه‌نیمه را نشان داد. در واقع بیشترین مقدار عددی شاخص کیفی در زمستان (۷۱/۷۴۷) و کمترین آن در پاییز (۶۲/۶۸۴) ثبت شد (جدول ۷ و شکل ۳). بالا رفتن عدد شاخص در فصل زمستان بیشتر از هر عاملی وابسته به کاهش دمای آب و افزایش میزان اکسیژن محلول در آب است. همچنین به این نکته باید اشاره کرد که شدت وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که در پاییز به حداکثر خود می‌رسد و سبب کاهش شاخص کیفی آب در این فصل می‌شود، در زمستان تقریباً وجود ندارد. همه این موارد عدد شاخص کیفی آب را در زمستان بالاتر از بقیه فصول نگه می‌دارد. به‌طورکلی با دقت در اعداد شاخص ایستگاه‌ها و فصول مختلف نمونه‌گیری مشخص است که تغییرات کیفی در بین ایستگاه‌ها و دوره‌های زمانی وجود دارد و هر جا و هر زمان که مقدار این عدد بالاتر رفته باید از دیدگاه بهداشتی و امنیت سلامتی مصرف کننده به آن دقت شود اما خوشبختانه کاهش کیفیت در تمامی مناطق چاه‌نیمه اول و فصول سال از محدوده طبقه خوب خارج نشده است و کیفیت آب دریاچه اول برای اهداف نوشیدنی مناسب است.

جدول ۵- مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در ۸ ایستگاه نمونه‌برداری

| پارامتر                | ۱      | ۲       | ۳       | ۴       | ۵      | ۶      | ۷      | ۸       |
|------------------------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| نیترات (mg/lit)        | ۴/۹۲   | ۱/۶۳    | ۴/۸۹    | ۴/۶۷    | ۵/۷۲   | ۶/۱۲   | ۴/۳۵   | ۵/۱۶    |
| نیتریت (mg/lit)        | ۰/۰۲   | ۰/۰۲    | ۰/۰۱    | ۰/۰۱    | ۰/۰۴   | ۰/۰۵   | ۰/۰۱   | ۰/۰۲    |
| اکسیژن محلول (mg/lit)  | ۹/۵۳   | ۹/۷۸    | ۹/۰۹    | ۹/۱۹    | ۹/۴۲   | ۸/۹۳   | ۹/۳۱   | ۸/۸۷    |
| هدایت الکتریکی (μs/cm) | ۹۷۲/۳  | ۱۱۰۳/۲۹ | ۱۱۱۰/۲۵ | ۱۰۷۵/۶۷ | ۷۲۱/۷۵ | ۷۹۶/۸۳ | ۱۰۰۵   | ۱۰۸۳/۵۸ |
| سختی (mg/lit)          | ۱۳۲/۹۲ | ۲۷۸/۲۵  | ۲۸۹     | ۳۱۴/۱۲  | ۲۱۲/۹۳ | ۳۰۲/۹۲ | ۱۳۴/۱۷ | ۲۵۸/۷۵  |
| pH                     | ۸      | ۷/۷۴    | ۷/۷۳    | ۷/۸۶    | ۸/۳۴   | ۷/۹۱   | ۷/۹۹   | ۸/۰۴    |
| دما (°C)               | ۲۲/۵   | ۲۲/۴    | ۲۲/۵    | ۲۲/۵    | ۲۲/۵   | ۲۲/۵   | ۲۲/۴   | ۲۲/۵    |





شکل ۳- میانگین شاخص کیفیت آب (WQI) در فصول مختلف نمونه‌برداری

### بحث و نتیجه‌گیری

WQI برای ارزیابی کیفیت آب بسیاری از منابع آبی در سراسر جهان استفاده شده است. هدف اصلی آن تبدیل داده‌های پیچیده کیفی آب به اطلاعات قابل درک و کاربردی است. این شاخص مقدار زیادی از داده‌های پارامترهای شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آب را با روشی ساده به یک عدد کاهش می‌دهد و این بزرگترین مزیت آن به‌شمار می‌آید. با دقت در اعداد جداول (۵) و (۶) مشخص است که به‌طور کلی پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری و در فصول مختلف در حد استانداردهای جهانی برای منابع آب‌های شیرین قرار دارند. به‌طور مشخص نتایج نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در میزان اکسیژن محلول آب در ایستگاه‌های مختلف بود، اما عوامل دیگر شامل نیترات، نیتريت، هدایت الکتریکی، سختی کل و pH در نقاط مختلف چاه‌نیمه تفاوت معنی‌داری را نشان دادند ( $P < 0.05$ ). این اختلاف نشان می‌دهد که ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۸ گانه تحقیق به دلیل قرارگیری در محل ورودی و خروجی‌ها که در برخی از زمان‌ها شدت جریان آب ورودی و خروجی وجود دارد، همچنین به دلیل اختلاف عمق دریاچه و ارتفاع آب در نواحی متفاوت و حتی اثر عوامل جانبی تأثیرگذار بر آب، کیفیت‌های مختلفی دارند. اما پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده به جز اکسیژن محلول آب که بیشتر از هر چیزی متأثر از تغییرات دمایی هوا و آب در ماه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان داد ( $P < 0.05$ ), پارامترهای دیگر شامل نیترات، نیتريت، هدایت الکتریکی، سختی و pH در فصول سال با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند ( $P > 0.05$ ). میانگین نیترات در چاه‌نیمه ۴/۶۴ میلی‌گرم بر لیتر ثبت شد که در مقایسه با استانداردهای جهانی پایین‌تر از حد خطرناک می‌باشد. بالاترین مقدار نیترات در ایستگاه ششم اندازه‌گیری شد که نزدیک بودن این ایستگاه به مزارع تحقیقاتی حاشیه دریاچه و مناطق گردشگری سبب

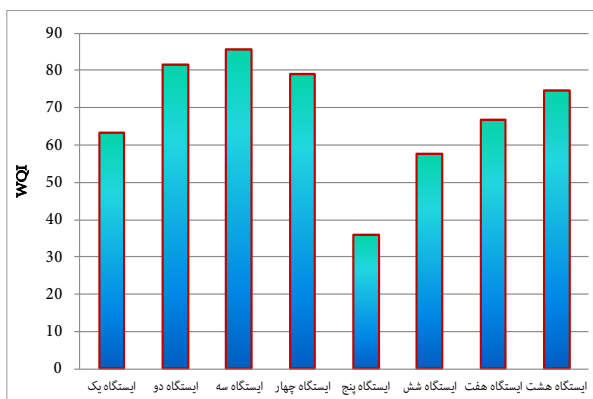
جدول ۶- مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در فصل مختلف نمونه‌برداری

| پارامتر                | بهار   | تابستان | پاییز  | زمستان  |
|------------------------|--------|---------|--------|---------|
| نیترات (mg/lit)        | ۴/۷۶   | ۴/۸۳    | ۴/۶۲   | ۴/۳۷    |
| نیتريت (mg/lit)        | ۰/۰۲   | ۰/۰۲    | ۰/۰۱   | ۰/۰۳    |
| اکسیژن محلول (mg/lit)  | ۸/۴۸   | ۷/۵۳    | ۹/۸۳   | ۱۱/۲۲   |
| هدایت الکتریکی (μs/cm) | ۸۹۰/۷۵ | ۹۰۸/۷۱  | ۹۵۶/۶۳ | ۱۱۷۸/۲۷ |
| سختی (mg/lit)          | ۲۲۰/۰۶ | ۲۰۲/۸۶  | ۲۳۱/۵۸ | ۳۰۷/۰۱  |
| pH                     | ۷/۸۰   | ۸/۰۱    | ۸/۰۰   | ۸/۰۰    |
| دما (°C)               | ۲۵/۹   | ۲۸/۹    | ۱۷/۲   | ۱۴/۶    |

جدول ۷- مقادیر WQI محاسبه شده در ایستگاه‌ها و فصول مختلف نمونه‌برداری

| ایستگاه | فصل     | WQI    |
|---------|---------|--------|
| ۱       | بهار    | ۶۷/۴۹۶ |
| ۲       | تابستان | ۸۱/۶۵۳ |
| ۳       | پاییز   | ۸۵/۶۶۱ |
| ۴       | زمستان  | ۷۹/۱۶۷ |
| ۵       |         | ۵۱/۸۷۸ |
| ۶       |         | ۵۷/۵۵۵ |
| ۷       |         | ۶۶/۶۲۰ |
| ۸       |         | ۷۴/۶۹۳ |

با دقت در شکل‌های (۲) و (۳) واضح است که تغییرات کیفی آب بین ایستگاه‌ها نظم مشخصی را دنبال نمی‌کند و تغییرات در طول زمان به‌هم نزدیک است و تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهند.



شکل ۲- میانگین شاخص کیفیت آب (WQI) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ورود پساب کشاورزی و انسانی به این ناحیه از مخزن شده است و تا حدودی غلظت نیترات را در قیاس با سایر مناطق بالا برده است. نیتریت نیز در ایستگاه شش به دلیل‌های گفته شده بالاترین مقدار در دریاچه را به خود اختصاص داد ولی میانگین نیتریت نیز در مقایسه با استانداردهای بین‌المللی کیفی آب در چاه‌نیمه اول مناسب بود. نیترات و نیتریت در طول زمان اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. هدایت الکتریکی آب چاه‌نیمه به دلیل بالا بودن املاح آب و سیلابی بودن جریان‌های ورودی به مخزن و رسوبات زیاد، بالاتر از حد استانداردهای جهانی بود و یکی از مشکلات کیفی آب چاه‌نیمه که حتی می‌تواند روی طعم، مزه آب و میزان مقبولیت آن برای نوشیدن اثر داشته باشد بالا بودن میزان هدایت الکتریکی آب است. به‌طورکلی غلظت هدایت الکتریکی آب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری با هم اختلاف داشتند اما در فصول مختلف به هم نزدیک بودند و اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. سختی آب یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت آب مورد استفاده در مصارف خانگی، صنعتی، کشاورزی و آبی‌پروری است. میانگین سختی به‌طور کلی در چاه‌نیمه پایین‌تر از اندازه استانداردهای آب آشامیدنی ثبت شد. بالاترین مقدار سختی در ایستگاه چهارم که در محل ورودی اصلی مخزن قرار گرفته و دریافت‌کننده سیلاب ورودی به مخزن و املاح و یون‌های مختلف است، اندازه‌گیری شد. تغییرات سختی کل در فصول مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. نوسانات pH در زمان‌های مختلف تفاوتی را نشان نداد اما به دلیل سختی متفاوت آب در نواحی مختلف چاه‌نیمه و حالت بافری ایجاد شده همچنین وجود املاح ازجمله کربنات به‌ویژه در ایستگاه‌های نزدیک به ورودی و خروجی‌ها و اختلاف خصوصیات هیدرولوژی در چاه‌نیمه اول، pH آب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری داشتند. اکسیژن محلول در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌هم نزدیک بود اما تفاوت معنی‌داری در میزان اکسیژن محلول بین مراحل مختلف نمونه‌برداری مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). غلظت اکسیژن محلول در زمستان بیشترین و در تابستان کمترین مقدار خود را نشان داد که به دلیل افزایش دمای آب و افزایش فعالیت‌های حیاتی می‌باشد. در مجموع باتوجه‌به اعداد شاخص کیفی آب در این تحقیق آنچه مشخص است اینکه کیفیت آب در تمامی ایستگاه‌ها و ماه‌های نمونه‌برداری مناسب و قابل استفاده است. اما اگر چاه‌نیمه اول زابل به ۳ بخش ورودی، میانه دریاچه و بخش خروجی تقسیم شود، بالاترین کیفیت آب، مربوط به نواحی میانه دریاچه که ایستگاه پنجم در آنجا قرار دارد می‌باشد (جدول ۱). عمق زیاد این بخش و فاصله از ورودی و خروجی مخزن که اثر شدت جریان آب و جابه‌جایی املاح را کمتر دارد از مهمترین عوامل افزایش کیفیت آب در بخش میانی چاه‌نیمه است. بخش نزدیک به ورودی آب به مخزن و همچنین ناحیه

نزدیک به خروجی‌های مخزن نیز به دلیل نوسانات آب و تغییرات رسوبات و املاح و اثرات جانبی حاشیه دریاچه روی این دو بخش کیفیت پایین‌تری دارد. بنابراین برداشت آب از نواحی میانی مخزن برای مصارف انسانی و به‌خصوص شرب بهتر خواهد بود. درحال حاضر باتوجه‌به روند تغییرات در چاه‌نیمه به‌خصوص روند تغییر نوع کاربری و مصارف آب چاه‌نیمه، کاهش شدید جریان آب ورودی به مخزن، خشکسالی‌های طولانی مدت در ناحیه مورد مطالعه، افزایش گردشگری و استفاده‌های انسانی در حاشیه مخزن و همچنین تغییرات غیر کارشناسانه کاربری اراضی حوزه آبخیز در ناحیه سیستان در ایران، انجام بررسی‌های دقیق و مستمر ارزیابی کیفیت آب چاه‌نیمه و طراحی یک مدل مناسب پایش کیفی آب برای این دریاچه پیشنهاد می‌شود.

#### پی‌نوشت‌ها

1-Water quality index (WQI)

2-Relative Weight

3-Assigned Weight

#### منابع

- شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان. (۱۳۹۱الف). پروژه ژئوتکنیکی مخازن چاه‌نیمه زابل. جلد اول، شماره مسلسل: ۱۳۹۱۷، کد موضوعی ۱۰، تاریخ انتشار پاییز ۱۳۹۱. زابل، ایران.
- شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان. (۱۳۹۱ب). بررسی شرایط خشکسالی حوضه هیرمند. چاپ اول، زابل، ایران.
- طوافی، معین، بازرگان، جلال، و افتخاری، مرتضی. (۱۳۹۰). اثرات عوامل موثر بر لایه‌بندی آب در مخازن سدها. پایان‌نامه دکترا، دانشکده فنی-مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
- قوچانیان، مرجان، و فشائی، محمد. (۱۴۰۱). شاخص‌های مدیریت منابع آب با تمرکز بر حکمرانی. فصلنامه آب و توسعه پایدار، ۹(۱)، ۱-۱۰. <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v9i1.2110.1086>
- Abedinpour, M., & Nabavi, S.N. (2018). Assessment of groundwater quality using GIS at north-east of Iran. *Desalination and Water Treatment*, 11(8), 126-34. doi: [10.5004/dwt.2018.22678](https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22678)
- Abtahi, M., mohamadi, M., saeidi, R., & nabizadeh, R. (2021). Evaluation of chemical and microbial quality of bottled water in Iran and calculation of water quality index. *Iranian journal of health and environment*, 14(2), 225-246. doi: [10.18869/acadpub.jeh.1.2.137](https://doi.org/10.18869/acadpub.jeh.1.2.137)
- Ahmed, T.A. (2020). Water quality index analysis for

2926. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00036-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00036-1)
- Ramakrishnaiah, C.R., sadashivaiah, C., & Ranganna, G. (2009). Monitoring of aquatic macro invertebrates as bioindicators for assessing the health of wetlands: A case study in the Central Himalayas, India. *Ecological indicators*, 9(1), 118-128. <https://doi.org/10.1016/j.ecol-ind.2008.02.004>
- Rice, E.W., Baird R.B., & Eaton, A.D. (2017). *Standard methods for the Examination of water and wastewater*. 23th edition, American public Health Association/ American water works association/water Environment Federation. Washington DC, USA.
- Saatsaz, M. (2020). A historical investigation on water resources management in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 22, 1749–1785. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-00307-y>
- Shahapure, G.R., Kulkarni, S.S., & Pore, S.M. (2014). Monthly variation of physicochemical and microbiological characteristics of sambhajilake solpur, Maharashtra. *Advances in Applied Science Resrarch*, 5(2), 149-152.
- Sheikh, S., Shahbazi, H., Mosafari, M., Firuzi, P., & Aslani, H. (2020). Spatio-temporal variation of WQI, scaling and corrosion indices, and principal component analysis in rural areas of Marand, Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100480. doi: [10.1016/j.gsd.2020.100480](https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100480)
- Solgi, E., Malekmohamadi, M., & Bigmohamadi, F. (2021). Assessing the Quality of Water Resources of Dehloran National Natural Monuments Using Water Quality Index (WQI). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(6), 2112-2124. doi: [20.1001.1.20087942.2021.14.6.12.3](https://doi.org/10.1001/1.20087942.2021.14.6.12.3)
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P. & Dobhal, R. (2013). Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of Water Resources*, 1(3), 34-38. doi: [10.12691/ajwr-1-3-3](https://doi.org/10.12691/ajwr-1-3-3)
- World Health organization (WHO). (2017). 4th Edition Incorporating the First Addendum, Geneva (Switzerland), PMID: 28759192.
- Zar, J.H. (1984). *Bioststistical analysis*. Prentice-Hall, 2nd edition, Inc., Englewood cliffs, Newyork, USA.
- portable and bottled waters. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 69(5), 453-68. doi: [10.2166/aqua.2020.004](https://doi.org/10.2166/aqua.2020.004)
- Badeenezhad, A., Tabatabaee, H.R., Ali nikbakht, H., Radfard, M., Abbasnia, A., Baghapour, M.A., & Alhamd, M. (2020). Estimation of the groundwater quality index and investigation of the affecting factors their changes in Shiraz drinking groundwater, Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 11(3), 100435. doi: [10.1016/j.gsd.2020.100435](https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100435)
- Boyacioglu, H. (2007). Development of a water quality index based on a European classification scheme. *Water SA*, 33(1). doi: [10.4314/wsa.v33i1.47882](https://doi.org/10.4314/wsa.v33i1.47882)
- Dwivedi, S.L., & Pathak, V. (2007). A preliminary assignment of water quality index to Mandakini river, Chitrakoot. *Indian Journal of Environmental Protection*, 27(11), 1036-1038.
- Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.S., Kanel, S.R., & Khan, S.P. (2007). Application of water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment. *Environmental monitoring and assessment*, 132(1-3), 93-110. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9505-1>
- Karakaya, N., Evrendilek, F., Aslan, G., Gungor, K., & Karakas, D. (2011). Monitoring of lake water quality along with trophic gradient using landsat data. *International journal of Environmental Science and Technology*, 8(4), 817-822.
- Lumb, A., Sharma, T.C., & Bibeault, J.F. (2011). A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. *Water Quality, Exposure and Health*, 3(1), 11-24. <https://doi.org/10.1007/s12403-011-0040-0>
- Merchán, D., Causapé, J., & Abrahao R. (2013). Impact of irrigation implementation on hydrology and water quality in a small agricultural basin in Spain. *Hydrological sciences journal*, 58(7), 1400-1413. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.829576>
- Pesce, S.F., & Wunderlin, D.A. (2000). Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquia River. *Water Research*, 34(11), 2915-

## Investigating the Prediction of the Amount of Coagulant Injection in the Drinking Water Purification Process Using Fuzzy Regression Analysis (Case Study: Mashhad Water Treatment Plant No.3)

Z. Vakili<sup>1</sup>, E. Alamatian<sup>2\*</sup>, M. Zanguee<sup>3</sup>

1- MSc of Environmental Engineering & Assistant Professor, Khavaran Institute of Higher Education, Mashhad, Iran. 3- Ph.D. Student in Electrical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

\*(Corresponding Author Email: Alamatian\_e@khavaran.ac.ir)

Received: 10-05-2023

Revised: 07-10-2023

Accepted: 14-10-2023

Available Online: 11-03-2024

## بررسی پیش‌بینی میزان تزریق ماده منعقدکننده در فرآیند تصفیه آب شرب با استفاده از تحلیل رگرسیون فازی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه شماره سه آب مشهد)

زینب وکیلی<sup>۱</sup>، ابراهیم علامتیان<sup>۲\*</sup>، محمد زنگویی<sup>۳</sup>

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد عمران-محیط‌زیست و استادیار گروه عمران، موسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران. ۳- دانشجوی دکتری تخصصی برق، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

\*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Alamatian\_e@khavaran.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱

### Abstract

Surface waters have various impurities. Aggregation of particles and their transformation from dispersed and fine states to coarse state is done by a process called coagulation process. This process is one of the basic processes in drinking water treatment plants. The purpose of this research is to provide a suitable relationship for determining the amount of chlorophric coagulant injection in the coagulation and flocculation process using fuzzy regression in drinking water treatment plant No. 3 of Mashhad. Temperature, pH, turbidity, electrical conductivity and TDS of raw and purified water have been used as primary data to determine the appropriate equation to predict the amount of coagulant injection in the purification process. Appropriate coefficients for different linear, power, exponential and quadratic models were determined in two types of least squares and regression. According to the results obtained in this research, the exponential-regression model with RMSE equal to 0.68 It has been introduced as a desirable model.

**Keywords:** Fuzzy regression, Coagulant, Drinking Water, Coagulation.

### چکیده

آب‌های سطحی دارای ناخالصی‌های مختلفی می‌باشند. تجمع ذرات و تبدیل آنها از حالت‌های پراکنده و ریز به حالت درشت، توسط فرآیند انعقاد انجام می‌شود. این فرآیند یکی از فرآیندهای اساسی در تصفیه‌خانه‌های آب شرب است. هدف از این تحقیق، ارائه رابطه مناسب برای تعیین میزان تزریق ماده منعقدکننده کلروفریک در فرآیند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از رگرسیون فازی در تصفیه‌خانه آب شرب شماره سه مشهد است. دما، PH، کدورت، هدایت الکتریکی و TDS آب خام و تصفیه شده به عنوان داده اولیه برای تعیین معادله مناسب، جهت پیش‌بینی میزان تزریق منعقد کننده در فرآیند تصفیه استفاده شده است. ضرایب مناسب برای مدل‌های مختلف خطی، توانی، نمایی و درجه دو در دو نوع کمترین مربعات و رگرسیون تعیین گردید. با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق، مدل نمایی- رگرسیون با RMSE برابر ۰/۶۸ به عنوان مدل مطلوب معرفی شده است.

**واژه‌های کلیدی:** رگرسیون فازی، منعقدکننده، آب شرب، انعقاد.

که حداکثر بهره‌وری حذف در تصفیه‌خانه، مربوط به آلاینده TSS بوده است. Zabaleta و همکاران (۲۰۲۲) یک مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی<sup>۷</sup> برای ایجاد شاخص‌های ترکیبی بر اساس سری‌های زمانی، تحت رویکرد فشار-وضعیت-پاسخ (PSR)<sup>۸</sup> به منظور ارزیابی امنیت آب در ۱۰ نقطه داغ امنیت آب اروپا ارائه نمودند. ایشان ابتدا، ۹ شاخص را در چارچوب PSR شناسایی نمودند. سپس شاخص‌ها را در هر مجموعه PSR با استفاده از مدل فازی DEA جمع‌آوری کرده و در نهایت، نتایج PSR را تحت سناریوهای بدبینانه، خوش‌بینانه و خنثی، مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که در مجموع، بلغارستان بهترین عملکرد فشار، وضعیت و پاسخ را به دست آورد (Zabaleta و همکاران، ۲۰۲۲). Pai و همکاران (۲۰۱۱) از سه نوع سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS)<sup>۹</sup> و شبکه عصبی مصنوعی (ANN)<sup>۱۰</sup> برای پیش‌بینی مواد جامد معلق پساب، میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی فاضلاب و pH از یک تصفیه‌خانه فاضلاب در شهرک صنعتی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که ANFIS از نظر آماری از ANN از نظر پیش‌بینی مشخصات پساب بهتر است. رحمتی و همکاران (۱۳۹۹) از سه مدل رگرسیون خطی چندمتغیره، شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی جهت تخمین TSS فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز (چنییه) استفاده کرده‌اند. در این مطالعه ترکیبات مختلفی از پارامترهای کیفی فاضلاب، طی دوره آماری ۸ ساله به عنوان ورودی مدل‌ها در دو حالت روزانه و ماهانه، مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس نتایج این تحقیق، مهمترین پارامترهای تأثیرگذار بر روی TSS ماهانه فاضلاب خروجی به ترتیب شامل میانگین ماهانه متغیرهای COD و TSS حوضچه ته‌نشینی اولیه، SVI<sup>۱۱</sup>، کدورت ورودی و حوضچه ته‌نشینی اولیه می‌باشند. Ruan و همکاران (۲۰۱۷) به مطالعه بهبود بهره‌وری اکسیژن محلول با استفاده از یک سیستم کنترل آنلاین بر اساس الگوریتم ژنتیک پرداخته‌اند. در این تحقیق یک سیستم کنترل هوشمند ترکیبی آنلاین و مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای کنترل اکسیژن محلول در فرآیند بی‌هوازی تصفیه فاضلاب ارائه شده است. این سیستم کنترل پیشنهادی می‌تواند، رفتار پویا و روابط متقابل پیچیده‌ای را بین متغیرهای مختلف عملیاتی استخراج کند. نتایج دربرگیرنده رویکرد ترکیبی پیشنهادی، به عنوان یک ابزار کنترل اکسیژن محلول قوی و مؤثر شناخته شده است. از این رو نه تنها کیفیت مناسب پساب را به‌دست می‌آورد، بلکه تقاضای انرژی را نیز به حداقل می‌رساند. این رویکرد ترکیبی پیشنهادی به‌راحتی در سیستم کنترل برای اهداف مدیریت هزینه ادغام می‌شود. زنگویی و همکاران (۱۳۹۵) مدل‌سازی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی توسط روش‌های استنتاج عصبی-فازی تطبیقی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی را انجام داده‌اند که طبق تحقیق ایشان، بهترین راندمان سیستم در شرایط بهره‌برداری با کدورت اولیه ۱۶۰ NTU، pH معادل ۸،

اهمیت آب و نقش حیاتی آن در زندگی انسان در کنار حفظ محیط‌زیست، بر کسی پوشیده نیست. تصفیه آب به مجموعه‌ای از اقدامات و عملیات مورد نیاز جهت تأمین کیفیت مورد نظر آب‌های شرب گفته می‌شود. منابع آب مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های آب شامل آب‌های زیرزمینی و سطحی، رودخانه‌ها، آب پشت سدها و دریاچه‌ها، چشمه‌ها و در موارد خاص منابع آب شور می‌باشند. منابع آب سطحی معمولاً دارای ناخالصی بوده و مواد آلی و معدنی محلول و معلق در آنها وجود دارند که باعث ایجاد کدورت می‌شوند. فرآیند انعقاد، فرآیند اصلی مجتمع‌کردن ذرات ریز و تبدیل آنها به ذرات درشت‌تر است. معمولاً به کمک مواد شیمیایی چون کلروفریک، سولفات آلومینیوم و سولفات فریک که مواد منعقدکننده نامیده می‌شوند، فرآیند انعقاد و لخته‌سازی انجام می‌شود. با گسترش علم و ضرورت تصفیه آب، ضرورت پیش‌بینی میزان کدورت آب پس از فرآیند انعقاد، برای مدیریت مطلوب تأسیسات بعدی نیز احساس گردیده است. در حال حاضر در کشور ایران برای بررسی فرآیند انعقاد در شرایط مختلف آب خام، از آزمایش جار استفاده می‌گردد. با توجه به پرهزینه بودن و زمان‌بر بودن و دخالت انسانی در این روش، استفاده از روش‌های علمی و کاربردی که برطرف‌کننده مشکلات مذکور باشد، امری ضروری است.

مجموعه فازی را اولین بار لوکا سیویچ<sup>۱</sup> در سال ۱۹۲۰ ارائه نمود و از آن زمان تاکنون نظریه فازی رشد و گسترش زیادی در تمام سطوح علمی پیدا کرده است. کاربردهای عملی این نظریه یعنی تولید محصولات صنعتی، خصوصاً در زمینه الکترونیک، کنترل و سیستم‌های عصبی، رو به گسترش است. Nadiri و همکاران (۲۰۱۸)، کارایی مدل‌های هوش مصنوعی مانند فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی را برای مدل‌سازی رفتار تصفیه‌خانه فاضلاب، بررسی نموده‌اند. ایشان در این تحقیق، به مطالعه تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز پرداخته و قابلیت تصفیه آن را بررسی کرده‌اند. در این مطالعه با مبنا قراردادن مشخصه‌های کیفی اندازه‌گیری شده در ورودی تصفیه‌خانه، مقدار متناظر این مشخصه‌ها در خروجی تصفیه‌خانه پیش‌بینی و از مدل‌های فازی ممدانی (MFL)<sup>۲</sup> و ساجنو (SFL)<sup>۳</sup> و شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده است. داده‌های ورودی شامل دما، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD)<sup>۴</sup>، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)<sup>۵</sup>، کل جامدات معلق (TSS)<sup>۶</sup> و pH فاضلاب و داده‌های خروجی شامل مشخصه BOD، COD و TSS است. بر اساس نتایج ارائه شده، هر سه مدل شبکه عصبی مصنوعی، فازی ممدانی و ساجنو نتایج قابل قبولی ارائه دادند و مدل فازی ساجنو، بهترین مدل شناخته شد. همچنین با محاسبه درصد بازده حذف آلاینده‌ها در خروجی تصفیه‌خانه، مشخص شد



منعقدکننده (PAC)<sup>۱۲</sup> نوع I با دوز ۱۹ mg/L و با راندمان ۹۹/۵ درصد تعیین شد. Moreira و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر غلظت بالای مواد جامد معلق بر فرآیند انعقاد و لخته سازی در تصفیه آب، با استفاده از منعقدکننده های مختلف آهن دار و پلیمری را بررسی کرده اند. بر اساس نتایج ایشان در مقادیر بالای TSS آب خام (بیش از ۲۰۰۰ mg/L)، استفاده از پیش تصفیه ضروری است و همچنین توصیه نمودند که به منظور جلوگیری از کدورت بالای آب خروجی، از اولترافیلتراسیون استفاده شود. در تحقیق Khedher و همکاران (۲۰۲۳) امکان استفاده از شاخص لخته سازی (FI)<sup>۱۳</sup>، به دست آمده از یک تحلیل گر پراکندگی نورسنجی (PDA)<sup>۱۴</sup> در طول لخته سازی، به عنوان یک پارامتر کنترلی برای بهینه سازی حذف کدورت بررسی شد. در تحقیق ایشان پنج نمونه آب، با سطوح کدورت مختلف (۶ تا ۱۲۰ NTU) برای مطالعه اثرات دوزهای مختلف آلوم بر ویژگی های لخته استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان می دهد که FI می تواند به عنوان یک پارامتر جایگزین برای بهینه سازی فرآیند انعقاد استفاده شود. Bagastyo و همکاران (۲۰۲۳) نقش هوادهی و پیش کلرزی قبل از فرآیند انعقاد و لخته سازی در تصفیه آب را بررسی کرده اند. ایشان مطالعه خود را برای یک تصفیه خانه در اندونزی انجام دادند و نتیجه گرفتند که اعمال فرآیندهای هوادهی و پیش کلرزی، باعث کاهش حدود ۶۰ درصدی دوز منعقدکننده می شود.

با توجه به سوابق تحقیقاتی موجود، مشاهده می گردد که برای تعیین میزان مناسب ماده منعقدکننده، بایستی از نتایج آزمایشگاهی استفاده نمود. این کار علاوه بر هزینه بر بودن، نیاز به صرف زمان قابل توجه دارد. در صورتی که بتوان از روش های تحلیلی برای تعیین دوز مناسب ماده منعقدکننده استفاده نمود، صرفه جویی قابل توجهی در زمان و هزینه خواهد شد. به منظور ارائه رابطه مناسب جهت تعیین میزان دوز تزریق ماده منعقدکننده، بایستی عوامل موثر مختلف در نظر گرفته شوند. در این تحقیق با توجه به دسترس بودن داده های PH، EC، TDS، دما، کدورت و غلظت منعقدکننده، از تحلیل رگرسیون فازی به منظور ارائه رابطه مناسب جهت تعیین غلظت ماده منعقدکننده کلروفیک در تصفیه خانه شماره سه آب مشهد استفاده شده است.

## مواد و روش ها

### • نظریه فازی

روش های مرسوم در کامپیوترها (منطق صفر و یک) در پیروی از پیچیدگی فکر و سیستم عصبی بشری عاجزاند. با توجه به پیچیدگی زیاد سیستم های انسانی، در مواردی که در تصمیم گیری ها، آرای انسانی دخالت دارند، دقت کاهش می یابد. در استنتاج های آماری مرسوم، مدل های رگرسیون معمولی به طور گسترده در

پیدا کردن رابطه بین چند متغیر در یک سیستم به کار می روند و بدین ترتیب به کمک متغیرهای مشاهده شده، سایر متغیرها را پیش بینی می کنند. به طور خلاصه، اگر در سیستم مورد بررسی، متغیرها تصادفی و داده ها قطعی نباشند، تحلیل رگرسیون فازی می تواند ابزار مناسب تری از تحلیل رگرسیون معمولی باشد. به طور عمومی، رگرسیون فازی را می توان به دو مقوله اصلی تقسیم کرد؛ الف- رگرسیون فازی زمانی که روابط بین متغیرها فازی باشد. ب- رگرسیون فازی زمانی که خود متغیرها فازی هستند. با توجه به تحقیقات انجام شده در خصوص رگرسیون فازی، می توان تقسیم بندی دیگری نیز راجع به دیدگاه های رگرسیون فازی ارائه داد؛ الف- آنالیز رگرسیون احتمالی که بر اساس مفهوم احتمالات بنا شده است. ب- روش کمترین مربعات برای کمینه کردن خطای ناشی از تخمین خروجی ها. جزئیات روش مورد استفاده، در مرجع Tanaka (۱۹۸۷) ارائه شده است.

توصیف حالت های بیان شده در بالا از دیدگاه های مختلفی مورد توجه واقع شده است. بنابراین دیدگاه های مفهومی مختلفی راجع به رگرسیون فازی وجود دارد، بطوری که در هر دیدگاه بیشتر به یک حالت خاص بیان شده در بالا برای رسیدن به یک مدل رگرسیون مناسب توجه شده است. رگرسیون فازی توانایی برازش داده های فازی و داده های قطعی را تحت یک مدل دارد. رگرسیون فازی، به عنوان یک روش غیر پارامتری زمانی که داده های در دسترس محدود و نادقیق بوده و متغیرها به صورت کیفی و نامعین بر یکدیگر اثر داشته باشند، ابزاری کاملاً مفید به حساب می آید. علاوه بر آن، عموماً رگرسیون معمولی با فرضیاتی در مورد داده های مشاهده شده، محدود می شود؛ به این معنا که ترم خطای محاسباتی باید مستقل و دارای توزیع مشخصی باشد. بنابراین این مدل ها دارای محدودیت کاربردی نیز هستند؛ زیرا فقط زمانی می توانند بکار برده شوند که داده ها، توزیعی مطابق مدل داشته و همانگونه که بیان شد رابطه بین  $x$  و  $y$ ، یک رابطه قطعی باشد (Zadeh و Aliev، ۲۰۱۸).

### • منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد به حدود هشت متر مکعب بر ثانیه آب شرب نیاز دارد که از منابع آب زیرزمینی و سطحی تأمین می شود. بخشی از آب شرب مشهد از ۴۰۰ حلقه چاه تأمین می شود. آب این چاه ها از نظر بهداشتی سالم است و نیاز به تصفیه ندارد و فقط عملیات کلرزی روی آنها انجام می شود. بخش دیگر آب، از منابع سطحی و از سه سد و سه تصفیه خانه تأمین می شود. دو سد طرق و کارده با آبدهی خیلی کم و سد دوستی به تنهایی حدود ۲۰ برابر دو سد دیگر آبدهی دارد. این سد به تنهایی حدود ۵۰ درصد آب شرب مورد نیاز مشهد را می تواند تأمین کند. آب از سد دوستی پس از گذر از ۴ ایستگاه پمپاژ، وارد تصفیه خانه شماره ۳ مشهد

می‌شود. ابتدا کلر و آب آهک به آب اضافه می‌شود. بعد از این مرحله آب وارد دریچه‌های تقسیم می‌شود. آب از دریچه‌های تقسیم وارد واحدهای اختلاط سریع می‌شود. در این بخش ابتدا ماده منعقدکننده کلروفریک به آب اضافه می‌شود. پس از واحد اختلاط سریع، آب وارد قسمت‌های انعقاد و لخته‌سازی می‌گردد. در این تصفیه‌خانه از سیستم زلال‌ساز سوپر پولساتور<sup>۱۵</sup> استفاده شده است (سروآب، ۱۳۹۲).

#### • داده‌های مورد استفاده و روش تحلیل

داده‌های این تحقیق از آزمایشگاه تصفیه‌خانه آب شماره سه مشهد استخراج گردیده است. داده‌های مورد استفاده مربوط به اول مرداد سال ۱۳۹۹ تا آبان ماه سال ۱۴۰۱ است و برای نویسندگان دسترسی به داده‌های سنوات قبل از آن امکان‌پذیر نبوده است. علاوه بر این، در این بازه زمانی، داده‌های ۲۶ روز نیز ناقص بوده و از روند تحلیل حذف شده‌اند. در نتیجه کل داده‌های مورد استفاده، ۷۹۶ سه آب شرب مشهد، تزریق ماده منعقدکننده به صورت پیوسته انجام می‌گردد و به این دلیل در این تحقیق از متوسط روزانه آن‌ها، استفاده شده است. اطلاعات موجود شامل مقادیر مربوط به پارامترهای ورودی تصفیه‌خانه آب شرب شماره سه مشهد، از قبیل دبی آب، دما، PH، کدورت ورودی، هدایت الکتریکی، TDS و کلروفریک تزریقی، می‌باشد. انتخاب این متغیرهای مستقل بر اساس مطالعات پیشین بوده است (jiang, ۲۰۱۵). مقادیر مربوط

به ورودی توسط سنسورهای نصب شده، مشخص گردیده است. علامت اختصاری داده‌های دریافت شده برای استفاده در روابط، در جدول (۱) آورده شده است.

برای تحلیل داده‌ها و بدست آوردن روابط نهایی از نرم‌افزار FuReA استفاده می‌شود. برازش مدل رگرسیون فازی بین مقادیر دوز تزریق منعقدکننده و متغیرهای مستقل، انجام می‌گردد. مدل‌های مورد استفاده شامل «مدل خطی»، «مدل درجه دو»، «مدل توانی» و «مدل نمایی» است. در روش‌های رگرسیون فازی، یک متغیر خروجی (در این تحقیق دوز تزریق کلروفریک)، از روی سایر متغیرها، پیش‌بینی می‌شود. درحقیقت با استفاده از مجموعه متغیرها، تابعی ایجاد می‌شود که داده‌های مستقل را به متغیر هدف، نگاشت می‌کند. رگرسیون فازی از روش‌های یادگیری نظارت شده می‌باشد. از ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش (تولید معادلات) و از ۳۰ درصد داده‌ها برای آزمایش، استفاده شده است. برای جلوگیری از سوگیری<sup>۱۶</sup> در انتخاب داده‌های آموزش مدل، از روش تصادفی<sup>۱۷</sup> برای تقسیم‌بندی داده‌ها (برای تولید داده‌ها و آزمایش آن‌ها) استفاده شده است. در روش تصادفی، کلیه داده‌ها از احتمال مساوی برای انتخاب شدن برخوردار هستند؛ درنتیجه، داده‌های انتخاب شده به این روش برای تولید مدل، می‌توانند نماینده کل داده‌ها باشند. درنهایت پس از ساخت معادلات در هر مدل، نمودار داده‌های واقعی و نمودار داده‌های شبیه‌سازی شده (مستخرج از معادله تولید شده) رسم می‌گردد و میزان شاخص خطا محاسبه می‌شود (Nadiri و همکاران، ۲۰۱۸).

جدول ۱- علامت اختصاری اطلاعات دریافتی از تصفیه‌خانه آب شرب شماره سه مشهد برای استفاده در نرم‌افزار

| اطلاعات دریافتی | دبی آب<br>(m <sup>3</sup> /d) | دما<br>(C)     | PH             | کدورت ورودی<br>(NTU) | هدایت الکتریکی<br>(μmho/cm) | TDS<br>(ppm)   | کلروفریک تزریقی<br>۴۰ درصد (t) |
|-----------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------------|
| علامت اختصاری   | x <sub>6</sub>                | x <sub>5</sub> | x <sub>4</sub> | x <sub>3</sub>       | x <sub>2</sub>              | x <sub>1</sub> | y                              |

$$y = 3.609 + 0.01406 x_1 - 0.009705 x_2 + 0.2104 x_3 - 0.08413 x_4 + 0.07584 x_5 + 7.664e^{-6} x_6 \quad (1)$$

#### نتایج

##### ۱- مدل خطی

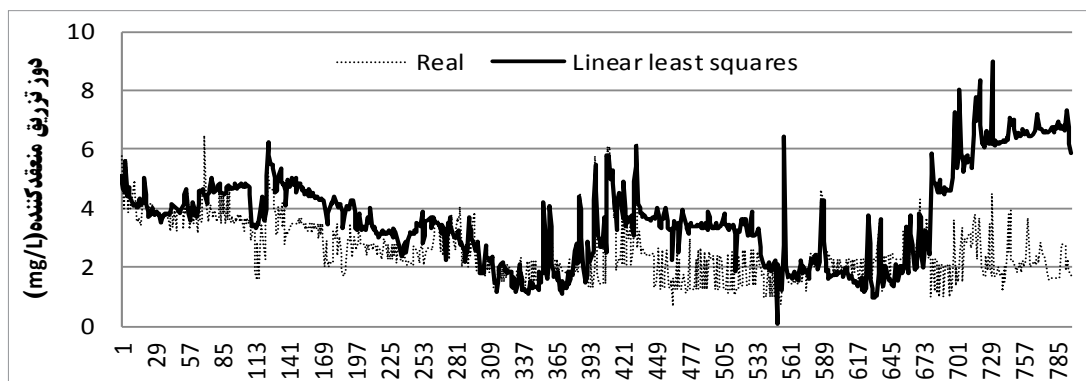
##### - مدل خطی، حداقل مربعات:

مدل خطی حداقل مربعات، به صورت معادله (۱) برازش شده است. همچنین مقادیر پیش‌بینی شده مربوط به میزان تزریق منعقدکننده در تصفیه‌خانه شماره سه شهرستان مشهد، حاصل از مدل در مقایسه با مقادیر موجود در داده‌های آماری، در شکل (۱) نشان داده شده است که محور افقی نشان‌دهنده روزهای تزریق ماده منعقدکننده و محور قائم نشان‌دهنده دوز تزریق منعقدکننده (mg/L) است. مشاهده می‌شود که مدل خطی نتوانسته است از نظر دامنه، پیش‌بینی مناسبی ارائه نماید. به نحوی که میزان حداکثر دوز تزریق ماده منعقدکننده در مدل واقعی زیر، ۵ mg/L می‌باشد که این عدد در مدل خطی به حدود ۱۰ mg/L می‌رسد.

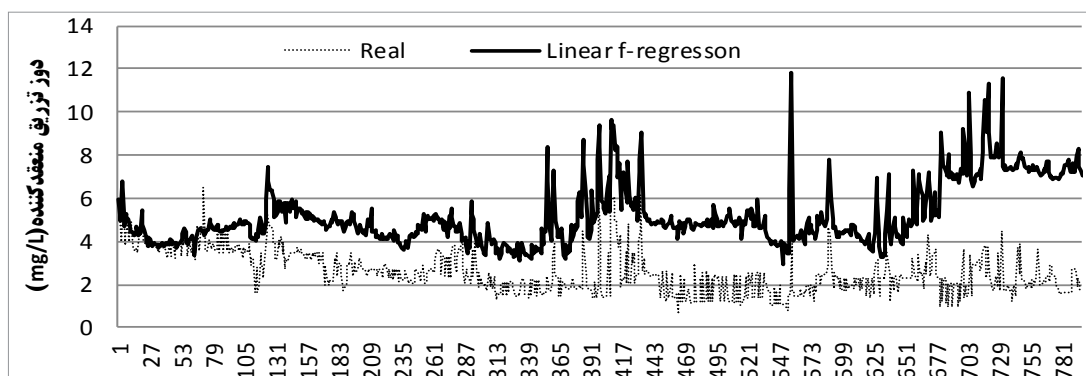
##### - مدل خطی، رگرسیون:

مدل خطی رگرسیون، به صورت معادله (۲) برازش شده است. همچنین مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از مدل مربوط به میزان تزریق منعقدکننده در تصفیه‌خانه شماره سه شهرستان مشهد، در مقایسه با مقادیر موجود در داده‌های آماری در شکل (۲) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مقادیر مدل خطی-رگرسیون برازش شده، تقریباً هم فاز داده‌های واقعی است، ولی از نظر دامنه عموماً بیشتر از مقادیر واقعی می‌باشند و می‌توان گفت که مدل خطی-رگرسیون عموماً بیش تخمین می‌باشد.

$$y = 4.935 + 0.01486 x_1 - 0.005921 x_2 + 0.3445 x_3 - 0.6232 x_4 + 0.1046 x_5 + 3.861e^{-6} x_6 \quad (2)$$



شکل ۱- برازش مدل خطی- حداقل مربعات



شکل ۲- برازش مدل خطی- رگرسیون

## ۲- مدل توانی

- مدل توانی، حداقل مربعات:

مدل توانی حداقل مربعات، با استفاده از نرم افزار، به صورت معادله (۳) برازش شده است. همچنین مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از مدل مربوط به دوز تزریق منعقدکننده در تصفیه‌خانه شماره سه آب شرب مشهد، در مقایسه با مقادیر موجود در داده‌های آماری در شکل (۳) نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که همخوانی مدل و داده‌های واقعی نسبت به مدل‌های خطی مناسب‌تر می‌باشد، ولی مدل در بازه‌هایی تخمین بیشتری از واقعیت ارائه می‌کند و در بازه‌هایی دیگر تخمین کمتری ارائه می‌نماید. با توجه به شکل می‌توان گفت که مدل با داده‌های واقعی هم‌فاز می‌باشد.

$$y = 0.03001 x_1^{1.019} \times x_2^{-1.535} \times x_3^{0.07983} \times x_4^{-0.2368} \times x_5^{0.2813} \times x_6^{0.6977} \quad (3)$$

- مدل توانی، رگرسیون:

مدل توانی رگرسیون، با استفاده از نرم افزار، به صورت معادله (۴) برازش شده است. همچنین مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از مدل مربوط به میزان تزریق منعقدکننده در تصفیه‌خانه شماره سه شهرستان مشهد، در مقایسه با مقادیر موجود در داده‌های آماری در شکل (۴) نشان داده شده است. مدل توانی رگرسیون نسبت به مدل‌های برازش شده پیشین همخوانی مناسب‌تری را در روزهای انتهایی نشان می‌دهد،

هر چند که این مدل در روزهای ابتدایی با خطای زیادی همراه است.

$$y = 0.003259 x_1^{-3.823} \times x_2^{3.997} \times x_3^{0.1382} \times x_4^{-1.333} \times x_5^{0.4404} \times x_6^{0.3387} \quad (4)$$

## ۳- مدل نمایی

- مدل نمایی، حداقل مربعات:

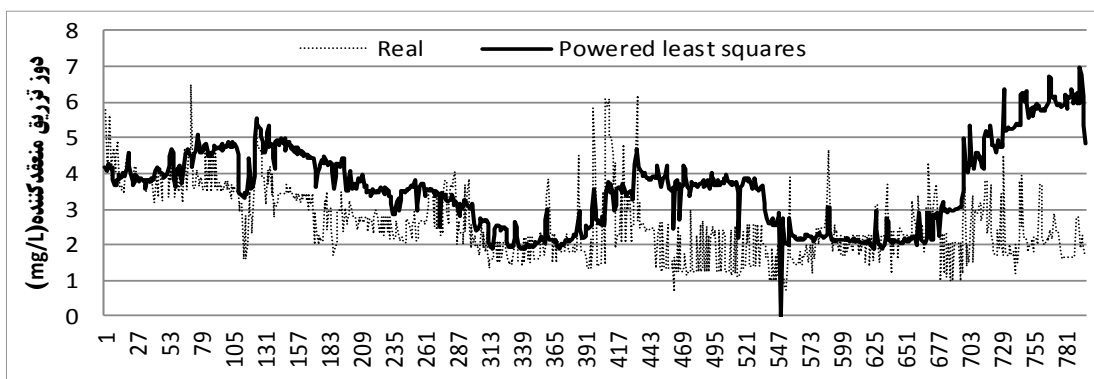
مدل نمایی حداقل مربعات، با استفاده از نرم افزار، به صورت معادله (۵) برازش شده است. ملاحظه می‌گردد که تا ۶۰۰ روز ابتدایی مدل نمایی حداقل مربعات با داده‌های واقعی همخوانی مناسبی را نشان می‌دهد، ولی پس از آن دچار بیش تخمینی شده است.

$$y = 3.868 \times \text{Exp}(0.003258 x_1 - 0.00228 x_2 + \dots + 0.0477 x_3 - 0.02361 x_4 + 0.01836 x_5 + 1.758e^{-6} x_6) \quad (5)$$

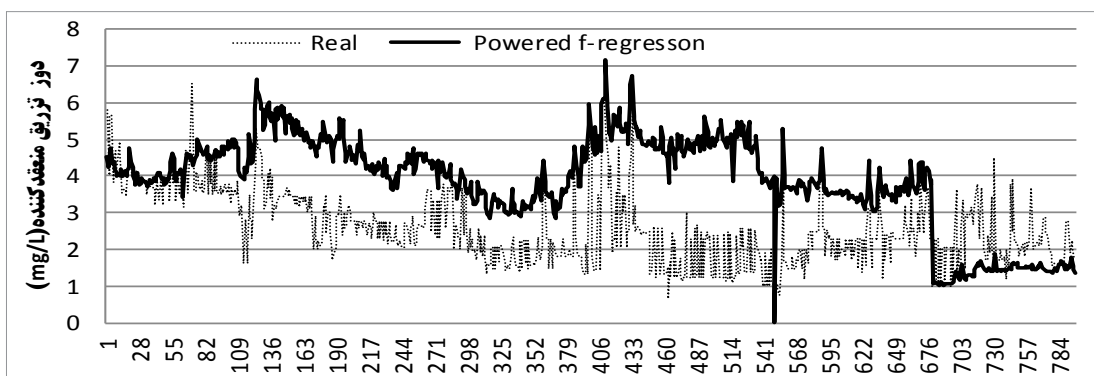
- مدل نمایی، رگرسیون:

مدل نمایی رگرسیون، با استفاده از نرم افزار، به صورت معادله (۶) برازش شده است. مشاهده می‌شود که مدل نمایی رگرسیون به خوبی توانسته است با داده‌های واقعی از نظر فاز و دامنه همخوان باشد و پیش‌بینی مناسب‌تری را نسبت به سایر مدل‌های استفاده شده در این تحقیق، ارائه نماید.

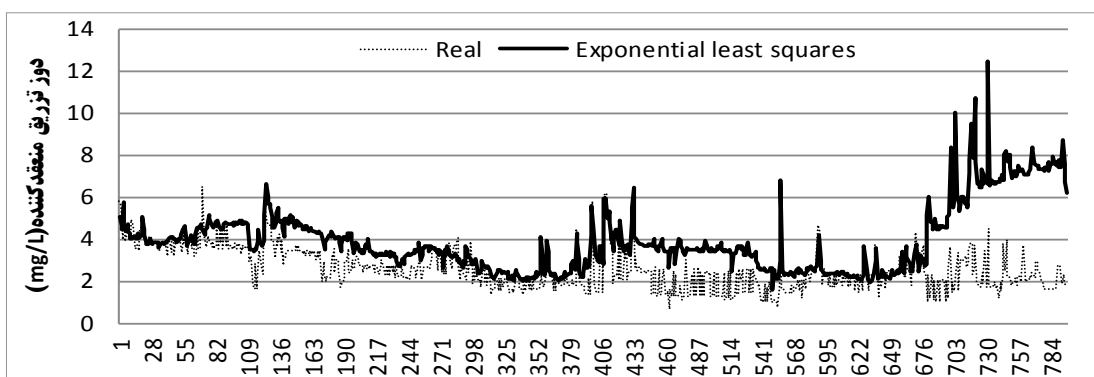
$$y = 6.638 \times \text{Exp}(0.004268 x_1 - 0.002015 x_2 + \dots + 0.07134 x_3 - 0.1496 x_4 + 0.02489 x_5 + 9.551e^{-7} x_6) \quad (6)$$



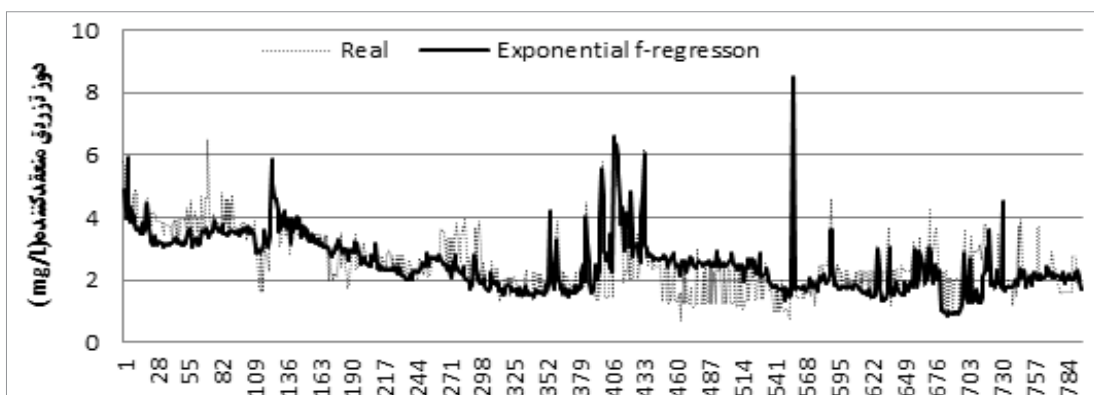
شکل ۳- برازش مدل توانی- حداقل مربعات



شکل ۴- برازش مدل توانی- رگرسیون



شکل ۵- برازش مدل نمایی- حداقل مربعات



شکل ۶- برازش مدل نمایی- رگرسیون

علاوه بر مدل‌های ارائه شده در این تحقیق، مدل‌های درجه دو- رگرسیون و حداقل مربعات نیز برازش داده شده که نتایج نشان‌دهنده عدم موفقیت این مدل‌ها در پیش‌بینی صحیح بود. همان‌گونه که در شکل‌های (۱) تا (۶) نشان داده شده است، پیش‌بینی معادلات بدست آمده از روش‌های مختلف رگرسیون، با داده‌های واقعی کاملاً مساوی نیستند. به عبارت دیگر، در یک روز خاص، بین دوز کلروفریک واقعی و پیش‌بینی مدل‌های مختلف برای این دوز، اختلاف دیده می‌شود. این اختلاف بین نتایج مدل و داده‌های واقعی، جزء ذات مدل‌های یادگیری ماشین می‌باشد و درحقیقت مدل یادگیری ماشین با دقت کامل (مساوی بودن مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی در همه نقاط) وجود ندارد. مدلی که در آن اختلاف بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی مدل (مقدار خطا)، کمتر باشد، مناسب‌ترین مدل می‌باشد. به این دلیل و به منظور بررسی دقیق‌تر هر یک از مدل‌های استفاده شده، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۱۸</sup> برای حالت‌های مختلف معادلات پیشنهادی محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است. ملاحظه می‌گردد که مدل نمایی رگرسیون کمترین میزان شاخص خطا را نشان می‌دهد. در تحقیق زنگویی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی و پیش‌بینی میزان کدورت پس از فرآیند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از مدل‌های عصبی-فازی و روش‌های مختلف رگرسیون پرداخته و با استفاده از ۲۳۶ داده در مقیاس آزمایشگاهی، نشان داده مدل‌های مورد استفاده ایشان برای این کار مناسب می‌باشند. تحقیق حاضر، ضمن استفاده از ۷۹۶ داده در مقیاس میدانی، نتایج مشابهی را ارائه می‌دهد.

جدول ۲- نتایج برازش خطای RMSE برای حالت‌های مختلف معادلات پیشنهادی

| مدل     | مجدور میانگین مربعات خطا |
|---------|--------------------------|
| خطی     | حداقل مربعات ۱/۸۴۳       |
|         | رگرسیون ۳/۰۵۹            |
| درجه دو | حداقل مربعات ۷۶۲/۰۶۵     |
|         | رگرسیون ۴۶۷/۹۶۶          |
| توانی   | حداقل مربعات ۱/۵۸۴       |
|         | رگرسیون ۱/۸۴۲            |
| نمایی   | حداقل مربعات ۲/۰۷۷       |
|         | رگرسیون ۰/۶۸۴            |

## نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی و امکان‌سنجی جایگزینی روش‌های معتبر مدل‌سازی با روش‌های سنتی جهت تعیین دوز تزریق مناسب

ماده منعقدکننده کلروفریک در تصفیه‌خانه شماره سه آب شرب مشهد، پرداخته شده است. در این پژوهش از ۷۹۶ دسته داده میانگین روزانه شامل پارامترهای ورودی تصفیه‌خانه آب شرب شماره سه مشهد شامل دبی آب، دما، PH، کدورت ورودی و خروجی، هدایت الکتریکی، TDS و دوز کلروفریک تزریقی استفاده شد. برازش مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار FuReA انجام و معادلات پیشنهادی شامل معادلات خطی، درجه دو، توانی و نمایی برای دو حالت کمترین مربعات و رگرسیون بررسی و ضرایب آنها تعیین شد. بر اساس نتایج بدست آمده مدل نمایی- رگرسیون با کمترین مقدار مجذور مربعات خطا (۰/۶۸) مناسب‌ترین معادله شناخته شد.

## پی‌نوشت‌ها

- 1-Lukasiewicz
- 2-Mamdani fuzzy logic
- 3-Sugeno Fuzzy logic
- 4-Biological Oxygen Demand (BOD)
- 5-Chemical Oxygen Demand (COD)
- 6-Total Suspended Solid (TSS)
- 7-Fuzzy-DEA
- 8-pressure-support-response (PSR)
- 9-adaptive-network-based fuzzy inference system (ANFIS)
- 10-Artificial neural network (ANN)
- 11-Sludge Volume Index
- 12-Poly Aluminum Chloride (PAC)
- 13-Flocculation Index (FI)
- 14-Photometric Dispersion Analyzer (PDA)
- 15-SuperPulsator Clarifier
- 16-Bias
- 17-Randomize
- 18-Root-Mean-Square Error (RMSE)

## منابع

شرکت مهندسين مشاور سروآب. (۱۳۹۲). گزارش مطالعات تصفیه‌خانه شماره ۳ آب مشهد. مشهد. ایران.  
 زنگویی، حسین، دلنواز، محمد، و اسداله فردی، غلامرضا. (۱۳۹۵). مدل‌سازی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی توسط روش‌های استنتاج عصبی- فازی تطبیقی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی. مهندسی عمران مدرس، ۱۶(۳)، ۷۳-۸۵. URL: <http://mcej.modares.ac.ir/article-16-2112-fa.html>



- on a genetic algorithm evolving FWN software sensor. *Journal of Environmental Management*, 187, 550–559. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.056>
- Tanaka, H. (1987). Fuzzy data analysis by possibility linear models, *Fuzzy Sets and Systems*, 24(3), 363–375. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(87\)90033-9](https://doi.org/10.1016/0165-0114(87)90033-9)
- Zabaleta, A., Pascual Fernandez, P., Prados-Castillo, J., and Castro-Pardo, M. (2022). Constructing fuzzy composite indicators to support water policy entrepreneurship, *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, 1(3), 100022. <https://doi.org/10.1016/j.stae.2022.100022>
- Zadeh, L.A. & Aliev, R.A. (2018). Fuzzy logic theory and applications: part I and part II. World Scientific Publishing. <https://doi.org/10.1142/10936>
- قائدرحمتی، مجتبی، معاضد، هادی، و تیشه‌زن، پروانه. (۱۳۹۹). تخمین TSS خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب اهواز با استفاده از مدل‌های هوشمند. *مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۹)، ۲۵۱–۲۶۷. <https://doi.org/10.22034/JEST.2019.37718.4377>
- Bagastyo, A.Y., Nurhayati, E., Manah, S.P.H., Iswari, A.A.W.R., Yulikasari, A., Warmadewanthi, I.D.A.A. & Lin, T.F. (2023). The role of aeration and pre-chlorination prior to coagulation-flocculation process in water treatment: A laboratory and field research in Indonesia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7, 100352. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100352>
- Jiang, J.Q. (2015). The role of coagulation in water treatment. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 8, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2015.01.008>
- Khedher, M., Awad, J., Donner, E., Drigo, B., Fabris, R., Harris, M., Braun, K. & Chow, C.W. (2023). Using the Flocculation Index to optimise coagulant dosing during drinking water treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 51, 103394. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103394>
- Moreira, V.R., Guimaraes, R.N., Moser, P.B., Santos, L.V., de Paula, E.C., Lebron, Y.A., Silva, A.F.R., Casella, G.S. & Amaral, M.C. (2023). Restrictions in water treatment by conventional processes (coagulation, flocculation, and sand-filtration) following scenarios of dam failure. *Journal of Water Process Engineering*, 51, 103450. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103450>
- Nadiri A., Shokri S., Tsai F. & Moghaddam A. (2018). Prediction of Effluent Quality Parameters of a Wastewater Treatment Plant Using a Supervised Committee Fuzzy Logic Model. *Journal of Cleaner Production*, 180, 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.139>
- Pai, T. Y., Yang, P. Y., Wang, S. C., Lo, M. H., Chiang, C. E., Kuo, J. & LChang, Y.H. (2011). Predicting effluent from the wastewater treatment plant of industrial park based on fuzzy network and influent quality. *Applied Mathematical Modelling*, 35(8), 3674–3684. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.01.019>
- Ruan, J., Zhang, C., Li, Y., Li, P., Yang, Z., Chen, X., & Zhang, T. (2017). Improving the efficiency of dissolved oxygen control using an on-line control system based

## Investigating the Performance of Membrane Technology with UV System for the Treatment of Gray water and Rainwater

E. Sadati Seyedmahalleh<sup>1\*</sup>, N. Mehrdadi<sup>2</sup>, Gh. R. Nabi Bidhendi<sup>2</sup>, M. J. Amiri<sup>3</sup>

1- Ph.D. Student of Environmental Engineering, Aras International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran. 2- Professor, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. 3- Assistant Professor, Department of Environmental Planning, Management and Education, Graduate School of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

\*(Corresponding Author Email: esadati@ut.ac.ir)

Received: 22-05-2023

Revised: 23-09-2023

Accepted: 19-10-2023

Available Online: 13-02-2024

## بررسی عملکرد تکنولوژی غشایی همراه با سیستم UV جهت تصفیه فاضلاب خاکستری و آب باران

احسان ساداتی سیدمحلله<sup>۱\*</sup>، ناصر مهرداد<sup>۲</sup>، غلامرضا نبی بیدهندی<sup>۲</sup>، محمدجواد امیری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، پردیس بین‌المللی ارس، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ۲- استاد دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ۳- استادیار گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

\*(نویسنده مسئول، E-Mail: esadati@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴

### Abstract

Graywater and rainwater reuse is one of the primary alternatives for diminishing water consumption in households, commercial and industrial buildings. However, investigating the performance of membrane technology coupled with UV system for the treatment of gray water and rainwater needs more applicable information. The purpose of this study is to evaluate the performance of an experimental system based on membrane technology combined with UV for the treatment of gray water and rainwater in Iran. In this regard, at different pressures (9.5, 4.5, and 1.5 bar), different arrangements of membranes, including microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), and reverse osmosis membranes were investigated along with UV lamps. Laboratory scale experiments were conducted to investigate the potential of these technologies and present an optimal membrane arrangement. The efficiency of the process has been discussed in terms of turbidity, TDS, pH, COD, Escherichia coli, and total coliforms. The results indicated that for both gray water and rainwater treatment, the arrangement consisting of a screen, MF, UF, RO, and UV with a pressure of 9.5 bar is the best scenario for reducing COD, TDS, turbidity, and coliform. According to the obtained results, the output flow in the optimal state was 6 liters per minute, and the mentioned scenario was able to remove 95% COD, 98% TDS, 96% turbidity, and 100% coliform from graywater, as well as 82% COD, 94% TDS, 91% turbidity, and 100% coliform from rainwater. Therefore, the study acknowledges that membrane technology with UV is an attractive process and will play an important role in future sustainable life.

**Keywords:** Rainwater, Gray Water, Reuse, Membrane Technology, UV.

### چکیده

استفاده مجدد از فاضلاب خاکستری و آب باران یکی از جایگزین‌های اولیه برای کاهش مصرف آب در خانوارها و ساختمان‌های تجاری و صنعتی است. با این حال، بررسی عملکرد فناوری غشایی به همراه سیستم UV جهت تصفیه فاضلاب خاکستری و آب باران به اطلاعات کاربردی بیشتری نیاز دارد. هدف از مطالعه حاضر ارزیابی عملکرد یک سیستم آزمایشی مبتنی بر فناوری غشایی همراه با UV برای تصفیه فاضلاب خاکستری و آب باران در کشور ایران می‌باشد. در این راستا در فشارهای مختلف (۹/۵، ۴/۵، ۱/۵ بار)، آرایش‌های مختلفی از غشاهای شامل میکروفیلتراسیون (MF)، اولترافیلتراسیون (UF)، و غشاهای اسمز معکوس به همراه لامپ UV بررسی شدند. آزمایش‌هایی در مقیاس آزمایشگاهی برای بررسی پتانسیل این فناوری‌ها و ارائه آرایش بهینه غشاهای انجام شد. کارایی فرآیند از نظر کدورت، Escherichia coli، COD، pH، توتال کلیرم مورد بحث قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن بود که هم برای تصفیه فاضلاب خاکستری و هم برای تصفیه آب باران، چیدمانی متشکل از دانه‌گیر، RO، UF، MF و UV با فشار ۹/۵ بار، بهترین سناریو در کاهش COD، TDS، کدورت و کلیرم می‌باشد. مطابق با نتایج به دست آمده، دبی خروجی در حالت بهینه ۶ لیتر بر دقیقه بود و سناریو مذکور قادر به حذف ۹۵٪ COD، ۹۸٪ TDS، ۹۶٪ کدورت و ۱۰۰٪ کلیرم برای فاضلاب خاکستری و همچنین ۸۲٪ COD، ۹۴٪ TDS، ۹۱٪ کدورت و ۱۰۰٪ کلیرم برای آب باران می‌باشد. از این رو پژوهش حاضر بیان می‌کند فناوری غشایی همراه با UV فرآیندی جذاب است و نقش مهمی در زندگی پایدار در آینده خواهد داشت. **واژه‌های کلیدی:** آب باران، آب خاکستری، استفاده مجدد، فناوری غشاء، UV.

فشار فزاینده بر منابع آب برای پاسخگویی به نیازهای جامعه، سیستم تامین را با محدودیت‌هایی مواجه کرده است. همچنین استفاده‌های متناقض به افزایش نگرانی‌ها در مورد کمبود آب دامن زده است. بنابراین، حفاظت از منابع آب و استفاده مجدد از پساب در سال‌های اخیر اهمیت قابل توجهی پیدا کرده است و بخش جدی از استراتژی‌های افزایش کارایی و امنیت مصرف آب می‌باشد (Wanjiru و همکاران، ۲۰۱۷). در سال‌های اخیر اجرای این جایگزین‌ها برای مدیریت آب شهری، عمدتاً در سطح غیرمتمرکز، مانند سیستم‌های استفاده مجدد از آب باران و فاضلاب خاکستری افزایش یافته است (Domènech و Sauri، ۲۰۱۰). فاضلاب خاکستری به عنوان فاضلاب حاصل از دوش‌ها، دستشویی‌ها، سینک‌های آشپزخانه، ماشین‌های لباسشویی و وان حمام تعریف می‌شود و در سطح بین‌المللی به عنوان یک منبع آب جایگزین برای مصرف غیر شرب شناخته می‌شود (Yadav و Ghaitidak، ۲۰۱۳). Van der Hoek و Etchepare همچنین بیان کردند که فاضلاب خاکستری می‌تواند منبع ریزآلاینده‌های مختلف باشد

(Etchepare و Van der Hoek، ۲۰۱۵) که در سطح جهانی از اقیانوس‌ها تا مناطق قطبی توزیع شده‌اند (Mahmoudnia، ۲۰۲۳). Mahmoudnia و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، استفاده مجدد از فاضلاب خاکستری برای جبران تقاضای آب و جلوگیری از آلودگی جهانی به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از آب باران و فاضلاب خاکستری برای جایگزینی آب غیر آشامیدنی مفهوم جدیدی نیست بلکه جایگزینی قدرتمند برای مدیریت پایدار آب می‌باشد (Kim و همکاران، ۲۰۰۷). آب باران را می‌توان از سطوح غیر قابل نفوذ ساختمان جمع‌آوری کرد. آب باران معمولاً به برخی فرایندهای تصفیه از جمله ته‌نشینی، فیلتراسیون و گندزدایی نیاز دارد. علاوه بر این، فاضلاب خاکستری از منابع داخلی به غیر از توالت‌ها از جمله دوش و سینک و دستشویی‌ها جمع‌آوری می‌شود. فاضلاب خاکستری معمولاً به برخی تکنیک‌های تصفیه از جمله غربالگری، فیلتراسیون و ضد عفونی نیاز دارد. استفاده مجدد و بازیافت فاضلاب خاکستری - آب باران توسط بسیاری از محققان در گذشته با استفاده از تکنیک‌های مختلف از جمله فیلتراسیون، جذب، انعقاد و تصفیه بیولوژیکی انجام شده است که جدول (۱) به ارائه خلاصه‌ای از این پژوهش‌ها می‌پردازد.

جدول ۱- خلاصه‌ای از تصفیه آب باران و فاضلاب خاکستری در پژوهش‌های اخیر

| ردیف | نوع پساب       | روش                                               | نتایج                                                                                                                                                                                                          | مرجع                        |
|------|----------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| ۱    | فاضلاب خاکستری | میکروفیلتراسیون (MF) به همراه اسمز معکوس (RO)     | این روش تصفیه کل مواد جامد معلق، مواد آلی، آلکیل بنزن سولفونات خطی، رنگ ظاهری و پارامترهای کدورت را تا ۹۰ درصد حذف کرد.                                                                                        | de Oliveira و همکاران، ۲۰۲۰ |
| ۲    | فاضلاب خاکستری | فیلترهای رسوبی، فیلتر کربن بلوکی و RO             | نرخ حذف حدود ۸۰٪ برای پارامترهای BOD و COD                                                                                                                                                                     | Onkal Engin و همکاران، ۲۰۱۱ |
| ۳    | فاضلاب خاکستری | MBR گرانشی مبتنی بر MF همراه با الکترواکسیداسیون  | این روش قادر به ایجاد نفوذ پایدار حاوی کدورت کم و مواد آلی (تا ۶۷/۴٪) است.                                                                                                                                     | Du و همکاران، ۲۰۲۲          |
| ۴    | صنایع لبنی     | اولترافیلتراسیون و نانو فیلتراسیون                | UF و NF دو مرحله‌ای می‌توانند در شرایط رسوب کمتر و شار بالاتر نسبت به NF تک مرحله‌ای عمل کنند                                                                                                                  | Luo و همکاران، ۲۰۱۱         |
| ۵    | فاضلاب خاکستری | سیستم اولترافیلتراسیون با ممبران‌های اسپیرال و RO | حذف ۹۳٪ BOD                                                                                                                                                                                                    | Reang و Nath، ۲۰۲۱          |
| ۶    | آب باران       | فیلتر فیبر و غشای فلزی                            | ادغام مدیا فیلتر فیبر در اولین واحد تصفیه امکان تصفیه کارآمد آب باران را در شرایط مختلف فراهم کرد.                                                                                                             | Kim و همکاران، ۲۰۰۷         |
| ۷    | آب باران       | فیلتراسیون غشایی مبتنی بر گرانش کم (GDM)          | کربن آلی محلول (DOC) را نمی‌توان با فرآیند GDM حذف کرد در حالی که راندمان حذف باکتری و کدورت خوب بود. حتی اگر تحت تأثیر اندازه منافذ غشای UF قرار گیرد، میزان حذف باکتری همچنان می‌تواند به نزدیک به ۹۵٪ برسد. | Ding و همکاران، ۲۰۱۷        |

خانگی فشرده در پژوهش Onkal Engin و همکاران (۲۰۱۱) بررسی شد. آن‌ها همچنین دریافتند که برای فاضلاب خاکستری پیش‌تصفیه شده، نرخ حذف COD حدود ۸۰ درصد است. در مطالعه دیگری با هدف استفاده مجدد از فاضلاب خاکستری توسط یک ماژول UF ماریچی غوطه ور، مشاهده شد میانگین

محققان همچنین عملکرد یک سیستم فیلتراسیون غشایی UF مستقیم برای تصفیه فاضلاب خاکستری غیرمتمرکز مغذی را بررسی کردند (Li و همکاران، ۲۰۰۹). بر اساس نتایج آنها میزان حذف مواد آلی به ۸۱٫۶ درصد رسید. علاوه بر این، امکان استفاده مجدد از فاضلاب خاکستری پیش تصفیه شده با یک سیستم RO

میزان حذف TOC ۸۳٫۴٪ بود (Li و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین نیترژن کل و فسفر کل پساب به ترتیب به ۱۶/۷ و ۶/۷ میلی گرم در لیتر رسید. به طور مشابه، در مطالعه‌ای دیگر، عملکرد فرآیندهای UF و RO را برای تصفیه فاضلاب خاکستری و بازیابی سورفکتانت بررسی شد، محققان گزارش کردند حداکثر بازیابی سورفکتانت به ۸۲٪ می‌رسد (Reang و Nath، ۲۰۲۱).

استفاده از اسمز معکوس برای استفاده مجدد از فاضلاب خاکستری-آب باران یک جایگزین نسبتاً قابل استفاده است (Luo و همکاران، ۲۰۱۱). با این حال، برای حفظ عملکرد بالا و افزایش عمر سیستم‌های RO، لازم است قبل از سیستم RO، پیش تصفیه انجام شود. یک پیش تصفیه مناسب می‌تواند رسوب، رسوب هم‌زمان و قطبش غلظت سیستم RO را به حداقل برساند. در نتیجه، راندمان حذف، نرخ بازیابی، شار نفوذ و هزینه‌های عملیاتی بهینه می‌شوند.

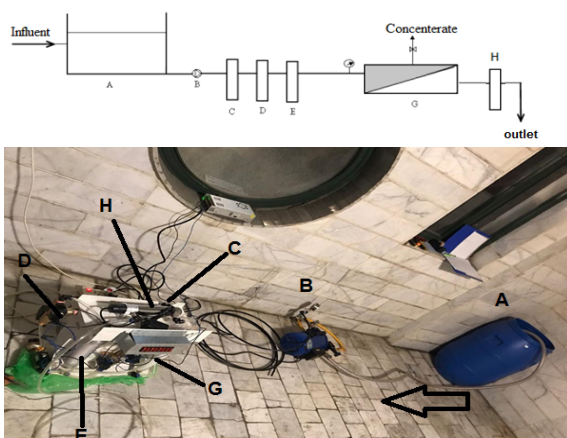
با توجه به جدول (۱) می‌توان دریافت اگرچه پژوهش‌هایی در خصوص عملکرد سیستم‌های غشایی برای تصفیه فاضلاب خاکستری و آب باران وجود دارد، بررسی سناریو بهینه برای آرایش غشا و فشار برای تصفیه فاضلاب خاکستری و آب باران کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، هدف مطالعه حاضر پایش یک سیستم آزمایشی برای تصفیه فاضلاب خاکستری و آب باران در کشور ایران، با تمرکز بر کیفیت فاضلاب خاکستری تصفیه شده و آب باران با استفاده از فناوری غشایی همراه با UV می‌باشد. سیستم تصفیه شامل میکروفیلتراسیون تحت فشار (MF)، اولترافیلتراسیون (UF) همراه با غشاهای اسمز معکوس و UV می‌باشد. ارزیابی تصفیه فاضلاب خاکستری و آب باران بر اساس پایش پارامترهای فیزیکی و شیمیایی برای ارزیابی کیفیت فاضلاب خاکستری و آب باران انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از یک سیستم تصفیه ترکیبی حاوی MF، UF، RO و UV به منظور تعیین کارایی تصفیه و استفاده مجدد از آب باران و فاضلاب خاکستری برای مصارف شهری از جمله آبیاری فضای سبز استفاده شد (شکل ۱). مشخصات خوراک ورودی به سیستم در جدول (۲) و توضیحات مربوط به سیستم تصفیه مورد استفاده در ادامه آورده شده است.

مجموعه مورد استفاده در این کار شامل مخزن پساب ورودی ساخته شده از پلی اتیلن (۳۰ لیتر)، پمپ‌های تغذیه (Pedro Water Pump)، دانه‌گیر، غشاهای میکروفیلتر، غشاهای اولترافیلتر، واحد اسمز معکوس و لامپ UV می‌باشد. غشا میکروفیلتراسیون مورد استفاده ساخت شرکت کره‌ای CSM به شکل فیبر توخالی و با سایز مش ۰/۴ میکرومتر و ابعاد ۵۰ × ۴/۵ سانتی‌متر می‌باشد.

غشا اولترافیلتراسیون مورد استفاده ساخت شرکت کره‌ای CSM با جنس پلی‌اترولفون به شکل فیبر توخالی در ابعاد ۵۱×۵/۵ سانتی‌متر می‌باشد. غشا اسمز معکوس ساخت شرکت FilmTec<sup>TM</sup> membranes به صورت مارپیچ بافته شده از پلی‌آمید و در ابعاد ۵۳/۳×۶/۱ سانتی‌متر می‌باشد. طول لامپ UV ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد و تمامی غشاها در محفظه‌ای به ابعاد ۷۰×۶۵ سانتی‌متر نصب شدند. از فیلترهای دانه‌گیر برای محافظت از غشا در برابر ذرات وارد شده به سیستم استفاده شد. علاوه بر این، لامپ UV به عنوان یک ضد عفونی کننده عمل می‌کند. بنابراین، فیلترهای دانه‌گیر و لامپ‌های UV در همه حالت‌ها فعال هستند. یک شیر برقی که سیگنال‌ها را از سویچ‌های فشار پایین و فشار قوی دریافت می‌کند نیز از غشا محافظت می‌کند.



شکل ۱- طرح پایلوت آزمایشی (A) مخزن تغذیه، (B و F) پمپ، (C) دانه‌گیر، (D) میکروفیلتراسیون، (E) اولترافیلتراسیون (G) واحد اسمز معکوس و (H) واحد UV

## • مشخصات پساب ورودی

### ۱- آب باران

آب باران می‌تواند شامل سطوح زمین و پشتبام باشد. در مطالعه حاضر تنها سیستم جمع‌آوری سقفی در نظر گرفته شده است. نمونه‌های آب باران از بام یک منزل ویلایی واقع در شهر ساری، مازندران، ایران جمع‌آوری شد و زمان ماند در سپتیک تانک ۳۰ روز بود. اجزای تشکیل دهنده آب باران در جدول (۲) ارائه شده است.

### ۲- فاضلاب خاکستری

فاضلاب خاکستری از سینک حمام، دستشویی، دوش، سینک آشپزخانه و ماشین لباسشویی یک خانواده ۵ نفره در شهر ساری، استان مازندران جمع‌آوری شد. فاضلاب خاکستری توسط گرانش در یک مخزن ذخیره و سپس به یک مخزن سپتیک پمپ شد. همه نمونه‌ها مستقیماً استفاده شدند یا در دمای ۴±۱ درجه سانتیگراد نگهداری شدند و ظرف ۷ ساعت آنالیز شدند. اجزای تشکیل دهنده فاضلاب خاکستری در جدول (۲) ارائه شده است.



جدول ۲- خواص نمونه‌های آب باران و فاضلاب خاکستری

| نوع فاضلاب     | پارامترها         | غلظت                        |
|----------------|-------------------|-----------------------------|
| فاضلاب خاکستری | EC                | ۶۶۲ $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
|                | pH                | ۷/۴۵                        |
|                | TDS               | ۴۸۵ $\text{mg}/\text{l}$    |
|                | TSS               | ۲۱۸ $\text{mg}/\text{l}$    |
|                | کدورت             | ۱۷۲/۸ NTU                   |
|                | COD               | ۵۵۴ $\text{mg}/\text{l}$    |
|                | کلیفرم‌های مدفوعی | ۱۱۰۰ < MPN/100ml            |
|                | توتال کلیفرم      | ۱۱۰۰ < MPN/100ml            |
| آب باران       | EC                | ۳۴۵ $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
|                | pH                | ۸/۱                         |
|                | TDS               | ۴۰ $\text{mg}/\text{l}$     |
|                | TSS               | ۲۳/۲ $\text{mg}/\text{l}$   |
|                | کدورت             | ۶/۲ NTU                     |
|                | COD               | ۳۲ $\text{mg}/\text{l}$     |
|                | کلیفرم‌های مدفوعی | ۱۱۰۰ < MPN/100ml            |
|                | توتال کلیفرم      | ۱۱۰۰ < MPN/100ml            |

#### • فرآیند عملیاتی

ارزیابی تغییرات پارامترهای کیفی (TSS، TDS، pH، EC، کدورت، COD، کلیفرم مدفوعی و کلیفرم کل) که برای نظارت بر کارایی پایلوت به کار گرفته شد، با استفاده از روش‌های ارائه شده در استاندارد انجام شدند (WHO، ۲۰۰۶). تجزیه و تحلیل COD بر اساس روش STM 5220 C و آنالیزهای نیترات با استفاده از روش STM 4500 Nitrate-B انجام شد. اندازه‌گیری هدایت و pH با استفاده از یک مولتی‌متر دستی انجام شد. تمامی مواد شیمیایی دارای کیفیت مناسب بودند و در طول آزمایش از آب مقطر آزمایشگاهی استفاده شد.

در مطالعه حاضر عملکرد سناریوهای مختلف فیلتراسیون و فشار برای دستیابی به سناریوی بهینه برای تصفیه فاضلاب خاکستری و آب باران بررسی شدند. سناریوهای فیلتراسیون مطابق جدول (۳) مورد بررسی قرار گرفتند. مطابق این جدول، در سناریوی ۱ تمام واحدهای تصفیه، یعنی دانه‌گیر، RO، UF، MF و UV در حالت فعال هستند. در سناریوی ۲ دانه‌گیر، UF، MF و لامپ UV فعال هستند. سناریو ۳ حالتی است که دانه‌گیر، RO، UF و UV فعال هستند. در سناریوی ۴ دانه‌گیر، RO، MF و UV در حالت فعال هستند. در سناریوی ۵ دانه‌گیر، MF و لامپ UV فعال هستند. در سناریوی ۶ دانه‌گیر، لامپ UF و UV فعال و در سناریو ۷ دانه‌گیر، RO و لامپ UV در حالت فعال هستند. برای هر یک از سناریوهای تصفیه فوق، فشارهای ۱/۵، ۴/۵ و ۹/۵ بار به سیستم

اعمال شد و در نهایت سناریوی تصفیه بهینه انتخاب شد. دبی طراحی در پژوهش حاضر ۸ لیتر در دقیقه بوده است.

جدول ۳- سناریوهای مختلف فیلتراسیون مورد استفاده در پژوهش حاضر

| سناریو/<br>فیلترهای فعال | دانه‌گیر | MF | UF | RO | UV |
|--------------------------|----------|----|----|----|----|
| ۱                        | *        | *  | *  | *  | *  |
| ۲                        | *        | *  | *  |    | *  |
| ۳                        | *        |    | *  | *  | *  |
| ۴                        | *        | *  |    | *  | *  |
| ۵                        | *        | *  |    |    | *  |
| ۶                        | *        |    | *  |    | *  |
| ۷                        | *        |    |    | *  | *  |

علامت \* به معنای فعال بودن فیلتر مورد اشاره می‌باشد.

#### نتایج و بحث

طیف گسترده‌ای از پارامترها برای تعیین کیفیت استفاده مجدد آب برای اهداف مختلف استفاده می‌شوند. غلظت کل نمک‌های محلول یکی از مهمترین عوامل در تعیین کیفیت آب برای آبیاری مزرعه و باغداری است. شوری آب معمولاً با EC یا TDS اندازه‌گیری می‌شود. علاوه بر این، COD، کدورت و pH از جمله پارامترهای مهم در تعیین امکان استفاده مجدد و بازیافت پساب هستند. در بخش‌های بعدی، حذف این عوامل از فاضلاب خاکستری و آب باران مورد بحث قرار گرفته است.

#### ۱- تصفیه فاضلاب خاکستری

به منظور بررسی احتمالات استفاده مجدد از فاضلاب خاکستری، فاضلاب خاکستری از سینک حمام، دستشویی، دوش، سینک آشپزخانه و ماشین لباسشویی یک خانواده ۵ نفره در شهر ساری، استان مازندران جمع آوری و به پایلوت معرفی شدند و آنالیزهای TDS، pH، COD، کدورت، اشربشیا کلیفرم و توتال کلیفرم انجام شد. جداول (۳) و (۴) نتایج به دست آمده را نشان می‌دهد. براساس داده‌های به دست آمده در جدول‌های (۴) و (۵) مشاهده شد در تمام سناریوها فشارهای بالاتر عملکرد مناسب‌تری در کاهش پارامترهای کیفی فاضلاب خاکستری دارند. این امر را می‌توان به افزایش سطح غشا به دلیل کاهش نیرو محرکه نسبت داد. نتایج این بخش از پژوهش را دستاوردهای پژوهش Kimura و Oki (۲۰۱۷) تایید می‌کند.

با توجه به نتایج ارائه شده در جداول (۴) و (۵) می‌توان دریافت اولین سناریویی که حاوی دانه‌گیر، RO، UF، MF و UV است بهترین سناریو در کاهش TDS، COD و کدورت می‌باشد. بنابراین،



سناریوی یک با فشار ۹/۵ بار به عنوان بهترین آرایش فرآیندهای تصفیه برای تصفیه فاضلاب خاکستری انتخاب شد. نتایج برای حذف COD (۹۵٪)، TDS (۹۸٪) و کدورت (۹۶٪) رضایت بخش بود. نتایج نشان داد فرآیند حاوی دانه گیر، MF، UF، RO و UV یک فناوری امیدوارکننده است که می تواند برای تصفیه فاضلاب خاکستری استفاده شود. کیفیت پساب به خوبی دستورالعمل ها را برای استفاده مجدد از فاضلاب خاکستری از جمله  $TSS \geq 30$  میلی گرم در لیتر، pH در ۶-۹ و در نهایت  $BOD_5 \geq 10-30$  میلی گرم در لیتر، به ویژه

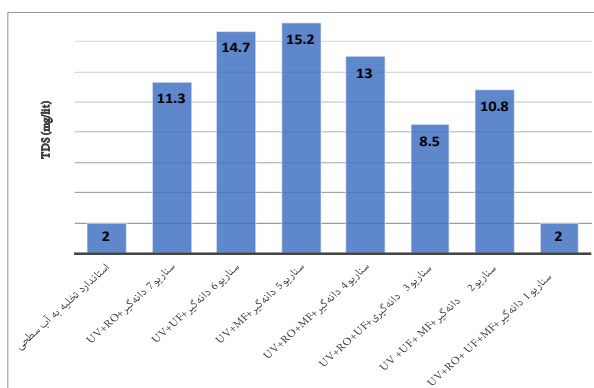
برای آبیاری و شستشوی توالی دارد (WHO، ۲۰۰۶). همچنین از آب تصفیه شده می توان برای کاربردهای مختلف از قبیل کارواش، فلاش تانک و شستشو استفاده کرد (Farago و همکاران، ۲۰۱۹). لازم به ذکر است در طول آزمایش دبی خروجی در حالت بهینه به میزان ۶ لیتر بر دقیقه بوده است. در شکل های (۲)، (۳) و (۴) نمودار مقایسه ای پارامترهای کیفی برای پساب تصفیه شده برای آرایش های مختلف غشایی در فشار ۹/۵ بار آورده شده است.

جدول ۴- نتایج حذف آلاینده برای تصفیه فاضلاب خاکستری تحت سناریوهای ۱ تا ۴

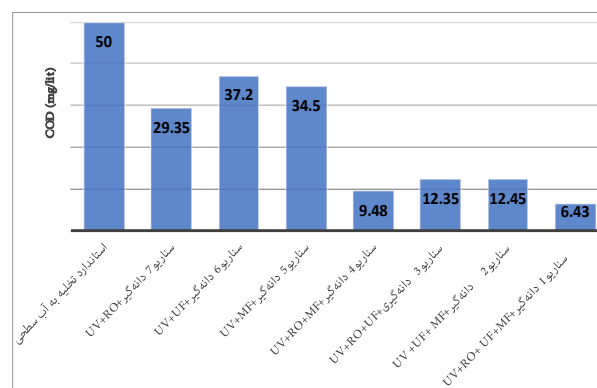
| پارامترها      | استاندارد تخلیه به آب سطحی | سناریو ۱   |      |      | سناریو ۲   |       |      | سناریو ۳   |       |      | سناریو ۴   |      |      |
|----------------|----------------------------|------------|------|------|------------|-------|------|------------|-------|------|------------|------|------|
|                |                            | فشار (bar) |      |      | فشار (bar) |       |      | فشار (bar) |       |      | فشار (bar) |      |      |
|                |                            | ۱/۵        | ۴/۵  | ۹/۵  | ۱/۵        | ۴/۵   | ۹/۵  | ۱/۵        | ۴/۵   | ۹/۵  | ۱/۵        | ۴/۵  | ۹/۵  |
| کدورت (NTU)    | ۵۰                         | ۶/۴۳       | ۷/۷۸ | ۷/۸۴ | ۱۲/۴۵      | ۱۲/۸۷ | ۱۳/۲ | ۱۲/۳۵      | ۱۲/۸۸ | ۱۲/۸ | ۹/۴۸       | ۹/۹۳ | ۹/۸۴ |
| pH             | ۸/۶-۵/۵                    | ۷/۳        | ۷/۰۵ | ۷/۰۶ | ۷/۱۵       | ۷/۰۵  | ۷/۰۵ | ۷/۱۶       | ۶/۹۵  | ۷/۰۳ | ۷/۰۶       | ۶/۹۶ | ۷/۰۱ |
| TDS (mg/l)     | ۲                          | ۲          | ۲/۵  | ۳/۵  | ۱۰/۸       | ۱۱    | ۱۱/۵ | ۸/۵        | ۹     | ۹/۵  | ۱۳         | ۱۳/۶ | ۱۴/۵ |
| COD            | ۶۰                         | ۲۵         | ۲۹   | ۳۱   | ۳۱         | ۳۳    | ۳۵   | ۲۸         | ۳۰    | ۳۴   | ۲۹         | ۳۲   | ۳۳   |
| E. Coli (mg/l) | ۴۰۰                        | ۰          | ۰±۱  | ۰±۱  | ۰±۱        | ۲     | ۲    | ۰±۱        | ۰±۱   | ۰±۱  | ۲          | ۲    | ۲    |
| توتال کلیفرم   | ۱۰۰۰                       | ۰          | ۰±۱  | ۰±۱  | ۰±۱        | ۲     | ۲    | ۰±۱        | ۰±۱   | ۰±۱  | ۲          | ۲    | ۲    |

جدول ۵- نتایج حذف آلاینده برای تصفیه فاضلاب خاکستری تحت سناریوهای ۵ تا ۷

| پارامترها      | استاندارد تخلیه به آب سطحی | سناریو ۵   |       |       | سناریو ۶   |       |       | سناریو ۷   |       |      |
|----------------|----------------------------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|------|
|                |                            | فشار (bar) |       |       | فشار (bar) |       |       | فشار (bar) |       |      |
|                |                            | ۱/۵        | ۴/۵   | ۹/۵   | ۱/۵        | ۴/۵   | ۹/۵   | ۱/۵        | ۴/۵   | ۹/۵  |
| کدورت (NTU)    | ۵۰                         | ۱۲/۷۷      | ۱۳/۸۰ | ۱۳/۸۵ | ۱۳/۶۵      | ۱۳/۸۸ | ۱۳/۹۶ | ۸/۸۹       | ۸/۹۲  | ۸/۹۷ |
| pH             | ۸/۶-۵/۵                    | ۷/۱۲       | ۷/۰۷  | ۷/۰۹  | ۷/۱۶       | ۷/۱۵  | ۷/۰۴  | ۷/۱۸       | ۶/۹۹  | ۷/۰۲ |
| TDS (mg/l)     | ۲                          | ۱۵/۲       | ۱۵/۸  | ۱۶/۴  | ۱۴/۷       | ۱۵    | ۱۵/۸  | ۱۱/۳       | ۱۱/۶  | ۱۲   |
| COD            | ۶۰                         | ۳۴/۵       | ۳۴/۶  | ۳۵    | ۳۷/۲       | ۳۸/۶  | ۳۸/۶۵ | ۲۹/۳۵      | ۲۹/۸۵ | ۳۰   |
| E. Coli (mg/l) | ۴۰۰                        | ۲          | ۲     | ۲     | ۲          | ۲     | ۲     | ۰          | ۰±۱   | ۰±۱  |
| توتال کلیفرم   | ۱۰۰۰                       | ۲          | ۲     | ۲     | ۲          | ۲     | ۲     | ۰          | ۰±۱   | ۰±۱  |



شکل ۳- مقایسه TDS (mg/lit) خروجی برای فاضلاب خاکستری در آرایش های مختلف غشایی برای فشار ۹/۵ بار

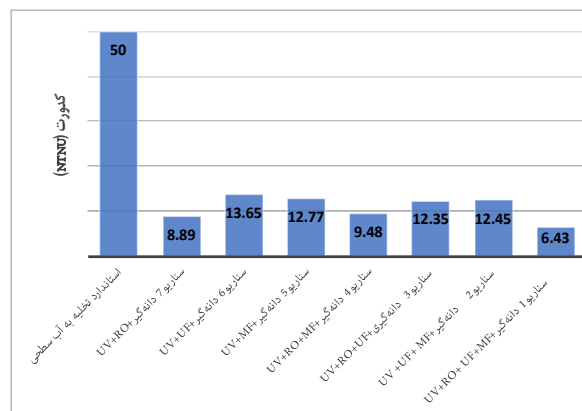


شکل ۲- مقایسه COD (mg/lit) خروجی برای فاضلاب خاکستری در آرایش های مختلف غشایی برای فشار ۹/۵ بار

## ۲- تصفیه باران

به منظور بررسی احتمالات استفاده مجدد از آب باران، آب باران از بام یک منزل ویلایی واقع در شهر ساری، مازندران، ایران جمع‌آوری شد و به سیستم معرفی شد و آنالیزهای pH، COD، TDS، کدورت، اشریشیا کلیفرم و توتال کلیفرم انجام شد. جدول‌های (۶ و ۷) نتایج به‌دست آمده را نشان می‌دهد. براساس داده‌های به‌دست آمده در جدول (۶ و ۷) مشاهده شد در تمام سناریوها فشارهای پایین‌تر عملکرد مناسب‌تری در کاهش پارامترهای کیفی فاضلاب خاکستری دارند. این امر را می‌توان به افزایش سطح غشا به‌دلیل کاهش نیرو محرکه نسبت داد. این نتیجه را نتایج پژوهش Kimura و Oki (۲۰۱۷) تایید می‌کند. در شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) نمودار مقایسه‌ای پارامترهای کیفی برای آب باران تصفیه شده برای آرایش‌های مختلف غشایی در فشار ۹/۵ بار آورده شده است.

همانطور که در جدول‌های (۶) و (۷) قابل مشاهده است با افزایش فشار راندمان حذف آلاینده‌ها بهتر می‌شود. این پدیده را می‌توان به به‌دام افتادن بیشتر آلاینده‌ها درون منافذ غشا در فشارهای بالا نسبت داد. این نتیجه با نتایج پژوهش لشگری و همکاران (۱۴۰۱) در خصوص استفاده از غشاهای اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون مطابقت دارد. باتوجه به نتایج، سناریوی اول حاوی دانه‌گیر، UF، RO، MF و UV بهترین سناریو در حذف مواد آلی، TDS و کدورت بود. بنابراین، سناریوی یک برای آرایش غشایی با فشار ۹/۵ بار به‌عنوان بهترین ترتیب فرآیندهای تصفیه برای تصفیه آب باران تعیین شد. نتایج برای حذف مواد آلی (۸۲٪)، TDS (۹۴٪) و کدورت (۹۱٪) قابل توجه بود. باتوجه به نتایج، فرآیند حاوی دانه‌گیر، RO، UF، MF و UV روشی امیدوارکننده برای تصفیه آب باران است. کیفیت پساب به خوبی دستورالعمل‌ها را برای استفاده مجدد و بازیافت آب باران (محیط زیست، نامحدود، محدود) از جمله  $TSS \geq 30$  میلی‌گرم در لیتر، pH در ۶-۹ و  $BOD_5 \geq 10-30$  میلی‌گرم در لیتر را برآورده می‌کند (WHO، ۲۰۰۶). همچنین از آب تصفیه شده می‌توان برای کاربردهای مختلف از قبیل کارواش، فلاش‌تانک و شستشو استفاده کرد (Faragò و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۴- مقایسه کدورت (NTU) خروجی برای فاضلاب خاکستری در آرایش‌های مختلف غشایی برای فشار ۹/۵ بار

همانطور که در نتایج جدول‌های (۴) و (۵) قابل مشاهده است با افزایش فشار راندمان حذف آلاینده‌ها بهبود می‌یابد. این پدیده را می‌توان به به‌دام افتادن بیشتر آلاینده‌ها درون منافذ غشا در فشارهای بالا نسبت داد. این نتیجه با نتایج پژوهش لشگری و همکاران (۱۴۰۱) در خصوص استفاده از غشاهای اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون مطابقت دارد. باتوجه به پیشینه پژوهش، اگر چه ممکن است در خصوص حذف یکی از پارامترهای کیفی مانند COD یکی از واحدهای غشایی به‌تنهایی نیز پاسخگو باشد، اما باید توجه کرد امروزه که امکان حضور آلاینده‌های نوظهور مختلف در فاضلاب خاکستری بیش از گذشته وجود دارد، استفاده همزمان از غشاءهای مختلف جهت جهت تصفیه این پساب بیش از پیش ضروری به‌نظر می‌رسد. این فرآیند ردپای محیط‌زیستی کمی دارد و کیفیت پساب تصفیه شده آن می‌تواند برای استفاده مجدد مناسب باشد. علاوه بر این، فرآیند عملکرد بهتری نسبت به یک فرآیند بیولوژیکی در تصفیه فاضلاب خاکستری نشان داد. به‌عنوان مثال، در پژوهش Teh و همکاران (۲۰۱۵) یک واحد هضم هوازی همراه با یک واحد ضد عفونی  $H_2O_2$  برای تصفیه فاضلاب خاکستری برای استفاده غیر شرب بررسی شده که منجر به حذف ۶۸٪ COD و ۸٪ TSS شد.

جدول ۶- نتایج حذف آلاینده برای تصفیه آب باران تحت سناریوهای ۱ تا ۴

| پارامترها        | استاندارد        | سناریو ۱   | سناریو ۲   | سناریو ۳   | سناریو ۴   |
|------------------|------------------|------------|------------|------------|------------|
| تخلیه به آب سطحی | تخلیه به آب سطحی | فشار (bar) | فشار (bar) | فشار (bar) | فشار (bar) |
| کدورت (NTU)      | ۵۰               | ۰/۵۳       | ۰/۵۹       | ۰/۶۱       | ۳/۴۵       |
| pH               | ۸/۵-۵/۵          | ۷/۰۳       | ۷/۰۵       | ۷/۰۲       | ۷/۰۳       |
| TDS (mg/l)       | ۲                | ۱/۵        | ۲/۸        | ۳          | ۱۲/۶       |
| COD              | ۶۰               | ۴/۶        | ۴/۹        | ۵/۲        | ۹/۵        |
| E. Coli (mg/l)   | ۴۰۰              | ۰          | ۰±۱        | ۰±۱        | ۰±۱        |
| توتال کلیفرم     | ۱۰۰۰             | ۰          | ۰±۱        | ۰±۱        | ۰±۱        |

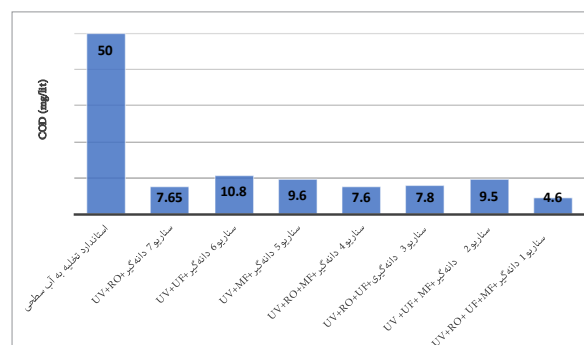
جدول ۷- نتایج حذف آلاینده برای تصفیه آب باران تحت سناریوهای ۵ تا ۷

| پارامترها      | استاندارد<br>تخلیه به<br>آب سطحی | سناریو ۵   |       |       | سناریو ۶   |       |      | سناریو ۷   |      |       |
|----------------|----------------------------------|------------|-------|-------|------------|-------|------|------------|------|-------|
|                |                                  | فشار (bar) |       |       | فشار (bar) |       |      | فشار (bar) |      |       |
|                |                                  | ۱/۵        | ۴/۵   | ۹/۵   | ۱/۵        | ۴/۵   | ۹/۵  | ۱/۵        | ۴/۵  | ۹/۵   |
| کدورت (NTU)    | ۵۰                               | ۳/۸۸       | ۳/۷۸  | ۳/۶۵  | ۳/۷۲       | ۳/۷۶  | ۳/۷۰ | ۳/۳۰       | ۳/۲۶ | ۳/۳۰  |
| pH             | ۸/۶-۵/۵                          | ۷/۰۹       | ۷/۰۷  | ۷/۱۲  | ۷/۲        | ۷/۰۲  | ۷/۱۵ | ۷/۰۵       | ۶/۹۹ | ۷/۰۵  |
| TDS (mg/l)     | ۲                                | ۱۴/۲       | ۱۳/۸۶ | ۱۳/۲۱ | ۱۱/۸۹      | ۱۲/۴۵ | ۱۱/۵ | ۱۰/۹۸      | ۱۱   | ۱۰/۹۸ |
| COD            | ۶۰                               | ۱۳/۸۵      | ۱۲/۲  | ۹/۶   | ۱۱/۲۶      | ۱۲/۶  | ۱۰/۸ | ۹/۷۸       | ۹/۴  | ۷/۶۵  |
| E. Coli (mg/l) | ۴۰۰                              | ۲          | ۲     | ۲     | ۲          | ۲     | ۲    | ۰±۱        | ۰±۱  | ۰±۱   |
| توتال کلیرم    | ۱۰۰۰                             | ۲          | ۲     | ۲     | ۲          | ۲     | ۲    | ۰±۱        | ۰±۱  | ۰±۱   |

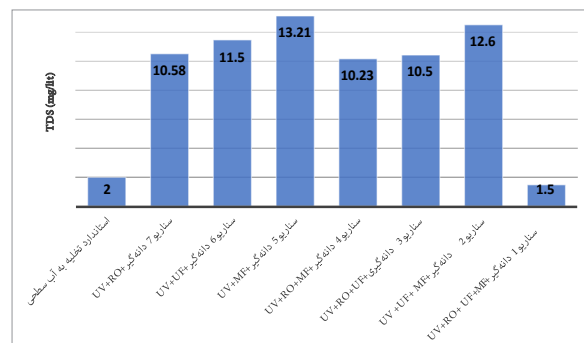
با توجه به پژوهش‌های اخیر امکان‌سنجی فنی فرآیند UF قبل از روش‌های ضد عفونی (UV و  $H_2O_2$ ) برای تصفیه آب باران در مقیاس آزمایشی برای منابع آب غیر آشامیدنی توسط محققان تأیید شد (Faragò و همکاران، ۲۰۱۹). آنها تصدیق کردند که غشای UF با ایجاد ارزش افزوده برای محیط‌زیست و به‌عنوان یک فناوری غشایی سازگار با محیط‌زیست شناخته می‌شود. Naddeo و همکاران (۲۰۱۳) همچنین از یک واحد FAD در مقیاس کامل (فیلتراسیون، جذب، و ضد عفونی) برای تصفیه آب باران برای استفاده آشامیدنی استفاده کردند. آنها گزارش دادند کارایی فرآیند FAD در حذف COD، TOC و کدورت به ترتیب ۹۸/۳، ۴۲/۸، ۴۹/۹ درصد است.

### نتیجه‌گیری

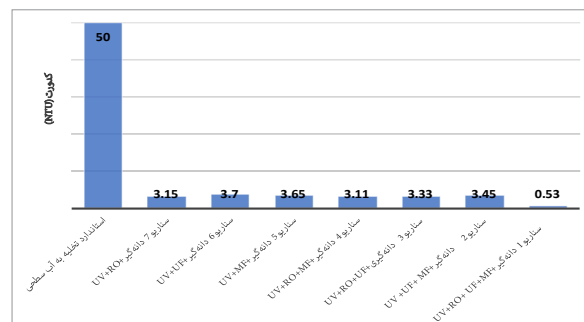
در اکثر کشورهای در حال توسعه اقتصادی، تامین آب همچنان موضوعی نگران‌کننده است که باید مورد توجه قرار گیرد. از آنجایی که کمبود آب در حال تبدیل شدن به یک مشکل جدی است، استفاده مجدد و بازیافت فاضلاب خاکستری و آب باران به‌عنوان یک راه حل پایدار برای کاهش تقاضای کلی آب به‌نظر می‌رسد. فاضلاب خاکستری و باران را می‌توان در عرض چند ساعت با استفاده از ترکیب بهینه فناوری غشایی همراه با واحد ضد عفونی برای امکان استفاده مجدد تصفیه نمود. نتایج مطالعه حاضر حاکی از آن بود که هم برای تصفیه فاضلاب خاکستری و هم برای تصفیه آب باران، آرایشی متشکل از دانه گیر، UF، RO، MF و UV و با فشار ۹/۵ بار، بهترین عملکرد را در کاهش COD، TDS و همچنین کدورت دارد. براساس نتایج آزمایشگاهی، سناریو مذکور قادر به حذف ۹۵٪ COD، ۹۸٪ TDS و ۹۶٪ کدورت برای فاضلاب خاکستری و همچنین ۸۲٪ COD، ۹۴٪ TDS و ۹۱٪ کدورت برای آب باران می‌باشد. بنابراین نتایج مطالعه حاضر تأیید کرد دانه‌گیر، MF و UF قبل از سیستم غشایی RO یک تکنیک موثر برای تصفیه فاضلاب خاکستری و آب باران محسوب می‌شود. کیفیت آب



شکل ۵- مقایسه COD (mg/lit) خروجی برای آب باران تصفیه شده در آرایش‌های مختلف غشایی برای فشار ۹/۵ بار



شکل ۶- مقایسه TDS (mg/lit) خروجی برای آب باران تصفیه شده در آرایش‌های مختلف غشایی برای فشار ۹/۵ بار



شکل ۷- مقایسه کدورت (NTU) خروجی برای آب باران تصفیه شده در آرایش‌های مختلف غشایی برای فشار ۹/۵ بار

assessment of organic micropollutants in greywater for potable reuse. *Water research*, 72, 186-198. doi: [10.1016/j.watres.2014.10.048](https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.10.048)

Faragò, M., Brudler, S., Godsken, B., & Rygaard, M. (2019). An eco-efficiency evaluation of community-scale rainwater and stormwater harvesting in Aarhus, Denmark. *Journal of Cleaner Production*, 219, 601-612. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.265>

Ghaidak, D. M., & Yadav, K. D. (2013). Characteristics and treatment of greywater—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 2795-2809. doi: [10.1007/s11356-013-1533-0](https://doi.org/10.1007/s11356-013-1533-0)

Kim, R.-H., Lee, S., Jeong, J., Lee, J.-H., & Kim, Y.-K. (2007). Reuse of greywater and rainwater using fiber filter media and metal membrane. *Desalination*, 202(1-3), 326-332. doi: [10.1016/j.desal.2005.12.071](https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.12.071)

Kimura, K., & Oki, Y. (2017). Efficient control of membrane fouling in MF by removal of biopolymers: Comparison of various pretreatments. *Water research*, 115, 172-179. doi: [10.1016/j.watres.2017.02.033](https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.033)

Li, F., Gulyas, H., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Treatment of household grey water with a UF membrane filtration system. *Desalination and Water Treatment*, 5(1-3), 275-282. doi: [10.5004/dwt.2009.550](https://doi.org/10.5004/dwt.2009.550)

Luo, J., Ding, L., Qi, B., Jaffrin, M. Y., & Wan, Y. (2011). A two-stage ultrafiltration and nanofiltration process for recycling dairy wastewater. *Biore-source technology*, 102(16), 7437-7442. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.05.012>

Mahmoudnia, A. (2023). The role of PFAS in unsettling ocean carbon sequestration. *Environmental monitoring and assessment*, 195(2), 310. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-10912-8>

Mahmoudnia, A., Mehrdadi, N., Baghdadi, M., & Mousavi, G. (2022). Change in global PFAS cycling as a response of permafrost degradation to climate change. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 5, 100039. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2021.100039>

Naddeo, V., Scannapieco, D., & Belgiorio, V. (2013). Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. *Journal of Hydrology*, 498, 287-291. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.012>

تصفیه شده نشان داد می‌توان از آن برای برخی کاربردهای مختلف مانند تخلیه به آب‌های سطحی، آبیاری مزرعه/پارک‌ها، باغبانی، شیرهای آتش‌نشانی یا شستشوی توالت‌ها پس از ضدعفونی مجدد استفاده کرد. اگرچه، درباره این واقعیت که سیستم‌های اسمز معکوس قادر به حذف ریزآلاینده‌های موجود در فاضلاب هستند، پژوهش‌های زیادی انجام شده است، اما با این وجود بررسی کارایی فناوری غشائی جهت حذف آلاینده‌های نوظهور از جمله PFAS، نانوپلاستیک‌ها می‌تواند موضوعات جذابی برای پژوهش‌های آینده باشد. علاوه بر این، عملکرد اسمز معکوس همراه با سایر تکنیک‌های تصفیه از جمله انعقاد الکتریکی و الکترواکسیداسیون در تصفیه فاضلاب خاکستری و آب باران، حذف ریزآلاینده‌ها با این ترکیبات و بهینه‌سازی این روش‌ها را می‌توان در تحقیقات آینده بررسی کرد.

## منابع

لشگری، سمیه، لشگری، سهیلا، کشاورز، فاطمه، و عیسوندی، زهرا. (۱۴۰۱). بررسی و مقایسه عملکرد غشاهای اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون در تصفیه پساب صنعتی عسلویه. *مجله آب و فاضلاب*، ۳۳(۱)، ۱-۱۱. doi: [10.22093/wwj.2021.266314.3101](https://doi.org/10.22093/wwj.2021.266314.3101)

de Oliveiraa, T. M., Benattib, C. T., & Tavares, C. R. G. (2020). Pilot system of microfiltration and reverse osmosis membranes for greywater reuse. *Desalination and Water Treatment*, 201, 13-19. doi: [10.5004/dwt.2020.26020](https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26020)

Ding, A., Wang, J., Lin, D., Tang, X., Cheng, X., Wang, H., ... Liang, H. (2017). A low pressure gravity-driven membrane filtration (GDM) system for rainwater recycling: Flux stabilization and removal performance. *Chemosphere*, 172, 21-28. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.111>

Domènech, L., & Saurí, D. (2010). Socio-technical transitions in water scarcity contexts: Public acceptance of greywater reuse technologies in the Metropolitan Area of Barcelona. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(1), 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.07.001>

Du, X., Wang, Z., Liu, Y., Ma, R., Lu, S., Lu, X., Liu, L., Liang, H. (2022). Gravity-driven membrane bioreactor coupled with electrochemical oxidation disinfection (GDMBR-EO) to treat roofing rainwater. *Chemical Engineering Journal*, 427, 131714. doi: [10.1016/j.jclepro.2021.128055](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128055)

Etchepare, R., & van der Hoek, J. P. (2015). Health risk

- Onkal Engin, G., Sinmaz Ucar, B., & Senturk, E. (2011). Reuse feasibility of pre-treated grey water and domestic wastewater with a compact household reverse osmosis system. *Desalination and Water Treatment*, 29(1-3), 103-109. <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.2155>
- Reang, S., & Nath, H. (2021). Grey water treatment with spiral wound UF and RO membranes. *Materials Today: Proceedings*, 46, 6253-6259. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.781>
- Teh, X. Y., Poh, P. E., Gouwanda, D., & Chong, M. N. (2015). Decentralized light greywater treatment using aerobic digestion and hydrogen peroxide disinfection for non-potable reuse. *Journal of Cleaner Production*, 99, 305-311. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.015>
- World Health Organization (WHO). (2006). WHO guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater (Vol. 1): World Health Organization. Geneva, Switzerland. <https://www.who.int/publications/item/9241546824>
- Wanjiru, E. M., Sichilalu, S. M., & Xia, X. (2017). Optimal control of heat pump water heater-instantaneous shower using integrated renewable-grid energy systems. *Applied Energy*, 201, 332-342. doi: [10.1016/j.apenergy.2016.10.041](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.041)





نظریه دانینگ-کروگر اشاره به تشریح چگونگی ایجاد سوگیری شناختی ناشی از عدم تناسب خبرگی/پختگی افراد با سطح اعتماد به نفس افراد دارد. کنشگران مدیریت آب نیز چنین تأثیری را در سیستم مدیریت آب تجربه می‌کنند که منجر به ارزیابی نادرست از واقعیت مسائل و چالش‌های مدیریت آب شده و راه‌حل‌ها ناکارآمد می‌شود. این نادیده‌انگاری در کنشگران مدیریت آب می‌تواند به اشکال مختلفی ظهور یابد. تحلیل انجام شده در این تحقیق مبتنی بر نظریه دانینگ-کروگر نشان می‌دهد که اکنون مدیریت آب در ایران به دلیل بزرگی بخش دولتی و عدم ظرفیت‌سازی و تفویض اختیار، برای مدت طولانی در «تله روزمرگی» (طی مسیر S ← S) به دام افتاده است. همچنین، عدم عبرت‌اندوزی و آسیب‌شناسی اقدامات، موجب شده تا خبرگی و بلوغ در سیستم مدیریت آب پدید نیاید، که زوال منابع آب را به همراه داشته است. بر اساس تحلیل نظریه دانینگ-کروگر و ماتریس آیزنهاور، هنوز حرکت بسوی تحول‌خواهی و اصلاح رویه سابق، آغاز نشده است. راهکارهای شناسایی شده در این تحقیق نشان می‌دهند که این حرکت می‌تواند با هدف‌گذاری و دور اندیشی (یعنی تدوین چشم‌انداز و برنامه راهبردی)، عبرت‌اندوزی از اقدامات گذشته و همچنین مدیریت تحول از شرایط موجود به شرایط مطلوب بر اساس اصول «پایایی و تاب‌آوری توسعه» آغاز گردد. برای جلوگیری از انحراف از مسیر تحول، تعیین شاخص‌های مناسب برای پایش جهت حرکت نیز ضروری است.

**واژه‌های کلیدی:** ساده‌انگاری، غفلت، عبرت‌اندوزی، تذبذب، تله‌روزمزگی، نظریه دانینگ-کروگر.

## مقدمه

نظریه دانینگ-کروگر<sup>۱</sup>، نوعی سوءگیری شناختی در نمایش واقعیت است، به گونه‌ای که افراد اغلب به اشتباه، توانایی‌شان را بسیار بیش از آنچه هست، ارزیابی می‌کنند (Kruger و Dunning، ۱۹۹۹). به بیان دیگر این اثر به بیش‌برآورد توانایی افرادی که از خبرگی کافی برخوردار نمی‌باشند، نسبت داده می‌شود. واژه سوءگیری، بنا به تعریف، «به معنی جانبداری و به عنوان منحنی نقص در ادراک، قضاوت و یا سایر فعالیت‌های شناختی ناشی از ندیدن و غفلت از بعضی جوانب به سود بعضی جوانب دیگر تعریف شده است» (پهله و همکاران، ۱۳۹۸). در حوزه مدیریت آب نیز بسیاری از کنشگران<sup>۲</sup> در ارزیابی خود و یا سایر عوامل دخیل در مدیریت آب (برهمکنش سیستم طبیعت با فعالیت‌های بشری)، دارای این خطای شناختی می‌باشند. انحراف از شناخت درست واقعیت، یعنی خود بزرگ‌بینی و یا خودکم‌ترینی باعث می‌شود که کنشگران مدیریت آب از اهداف خود باز مانده و یا دور شوند. به بیان دیگر ضروری است که کنشگران مدیریت آب شناخت صحیحی از سطح دانش، تجربه و مهارت‌هایشان داشته باشند، به گونه‌ای که خود را نه خیلی سطح بالا و نه خیلی دست‌کم بگیرند. نظریه دانینگ-کروگر، ضرب‌المثل ایرانی «نه از این ور بام و نه از آن ور بام افتادن» می‌باشد (Mahmood، ۲۰۱۶). بر این اساس و برای دستیابی به رفتار واقع‌بینانه در بین کنشگران مدیریت آب، ضروری است تا ایشان نظریه دانینگ-کروگر را شناخته و از سوگیری‌های شناختی ناشی از آن پرهیز نمایند.

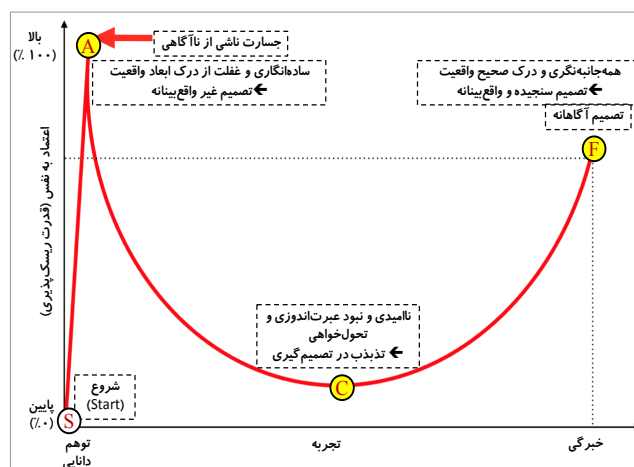
به نظر می‌رسد سیستم مدیریت آب از رشد باز مانده و دچار روزمرگی شده است که در این یادداشت به تحلیل کاربرد نظریه

دانینگ-کروگر برای تحلیل سیستم مدیریت آب پرداخته؛ و چگونگی ایجاد تحول در سیستم مدیریت آب را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. بر این اساس ساختار یادداشت بدین شرح می‌باشد: بخش اول: تشریح نظریه دانینگ-کروگر، بخش دوم: آشنایی با اهمیت و پیچیدگی سیستم آب و آشنایی با کاربرد نظریه دانینگ-کروگر در مدیریت آب، بخش سوم: آشنایی با ضرورت تغییر رویکرد سخت به نرم در مدیریت منابع آب (اجتناب از نادیده‌انگاری<sup>۳</sup> نقش مردم در مدیریت آب)، بخش چهارم: فراتحلیل، تحلیل چگونگی تحول در سیستم مدیریت آب مبتنی بر نظریه دانینگ-کروگر و ماتریس آیزنهاور، و بخش آخر: جمع‌بندی.

## نظریه دانینگ-کروگر

نظریه دانینگ-کروگر اولین بار در سال ۱۹۹۹ توسط دو دانشمند به همین نام‌ها در دانشگاه کرنل مورد توجه قرار گرفت. ایشان با انجام تحقیقی بر روی مهارت‌های گرامری، توانایی استدلال منطقی و شوخ طبعی شرکت‌کنندگان، دریافتند که افرادی که توانایی‌شان در این مهارت‌ها بسیار ضعیف‌تر از سایرین بود، توانایی خود را بیشتر از حد واقعی برآورد می‌کردند و درمقابل افرادی که توانایی بیشتری داشتند، مهارت‌های خود را کمتر از واقعیت برآورد می‌نمودند و یا به عبارتی خود را دست‌کم می‌گرفتند (Dunning و Kruger، ۱۹۹۹). این اثر در واقع نوعی سوگیری شناختی در افراد غیر خبیره است که از تجربه و اشراف کافی بر موضوع تخصصی حیطه کاری خود برخوردار نمی‌باشند و دچار توهم خود برترینی هستند. از سوی دیگر نظریه دانینگ-کروگر همچنین به افرادی اشاره دارد که علیرغم اینکه از تخصص و مهارت بسیار بالایی برخوردار هستند، دچار سوگیری شناختی در ارزیابی دیگران بوده و در نتیجه به دلیل

عدم شناخت کافی از دیگران و بیش‌برآورد کردن مهارت‌های آنها، شایستگی‌های خود را دست کم گرفته و تصور می‌کنند که اگر به راحتی از عهده کاری برمی‌آیند، دیگران نیز می‌توانند به راحتی آن کار را انجام دهند (Ehrlinger و همکاران، ۲۰۰۸). بر این اساس دانینگ و کروگر (۱۹۹۹) نتیجه خود را از مطالعه انجام شده این‌گونه تشریح می‌کنند که افراد غیرمتخصص به دلیل اشتباه در ارزیابی خود، توانایی‌های خود را دست بالا می‌گیرند و افراد متخصص به دلیل اشتباه در ارزیابی دیگران، خود را دست کم می‌گیرند. بر اساس این نظریه، می‌توان گفت که هرچه افراد دانش و خبرگی کمتری داشته باشند، به همان اندازه اعتماد به نفس و یا قدرت ریسک‌پذیری آنها بیشتر است. شکل (۱) نظریه دانینگ-کروگر را به شکل قابل درکی نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، زمانی که فردی ناآگاه و بی‌تجربه است با میزان بالایی از ریسک‌پذیری نسبت به حل مسائل تصمیم می‌گیرد و زمانی که دانش و خبرگی کافی را کسب می‌نماید، نسبت به حل مسائل حساب شده‌تر عمل می‌کند (Dunning و Kruger، ۱۹۹۹).



شکل ۱- نمودار نظریه دانینگ-کروگر (Dunning و Kruger، ۱۹۹۹)<sup>۴</sup>

شکل (۱) ارتباط اعتماد به نفس و قدرت ریسک‌پذیری افراد برای اخذ تصمیم و حل مسائل پیرامونشان را مورد تحلیل قرار می‌دهد. در این شکل نقطه S نقطه شروع فرآیند بوده و نشان‌دهنده افرادی است که به تازگی وارد یک سیستم جدید شده و می‌خواهند در این سیستم تجربه کسب نمایند. این افراد بعد از مدتی به دلیل نداشتن اشراف کامل بر ابعاد مسأله (تجربه و خبرگی کافی) در تصمیم‌گیری برای حل مسائل پیرامون، ساده‌انگاری<sup>۵</sup> می‌نمایند. به عبارت دیگر این افراد به دلیل نداشتن اشراف کامل بر سیستم جدید، اعتماد به نفس کاذب دارند و همواره در اخذ تصمیمات بخش بسیار بزرگی از واقعیت را نادیده انگاشته و لذا حل مسائل را ساده می‌انگارند (A ← S).

توأم شدن این ساده‌انگاری با اعتماد به نفس بالا موجب می‌شود تا

تصمیمات صحیح و همه‌جانبه اتخاذ نگردد. از آنجایی که تصمیم اتخاذ شده همه جوانب را در نظر نگرفته است، در مرحله اجرا دچار شکست می‌گردد. تکرار این شکست‌های متوالی ناشی از اعتماد به نفس بالا و نادیده‌انگاری در اتخاذ تصمیمات موجب می‌گردد تا افراد به تجربه بفهمند که نمی‌توانند از پس حل مسائل پیرامون به راحتی برآیند. در واقع به دلیل شکست‌های متوالی ناشی از تصمیمات عجولانه و ناصحیح به شدت سطح اعتماد به نفس و ریسک‌پذیری این افراد پایین آمده و دچار ناامیدی شده‌اند (A ← C). به بیان دیگر نقطه C نقطه تحول‌خواهی<sup>۶</sup> است و در صورتی که افراد تجارب خود را آسیب‌شناسی نموده و با پایش و ارزیابی مستمر اقدامات (عبرت‌اندوزی)، می‌توانند همه جوانب را لحاظ نمایند. این جامع‌نگری موجب می‌گردد تا افراد بتوانند اعتماد به نفس خود را با واقع‌بینی از شرایط متناسب نمایند (F ← C). افرادی که این مسیر را طی می‌نمایند به تدریج صاحب تجربه و خبرگی کافی گشته‌اند و اشراف کاملی به ابعاد و چالش‌های مسأله می‌یابند و بنابراین می‌توانند تصمیماتی واقع‌بینانه، با ثبات و سنجیده اخذ نمایند. لذا این افراد قادر به انجام درست کار هستند، زیرا اعتماد به نفس مبتنی بر واقع‌بینی دارند و تصمیمات سنجیده اخذ نموده و از کسب موفقیت اطمینان دارند.

### نظریه دانینگ-کروگر و مدیریت آب

سیستم مدیریت منابع آب در کشور ما با ورود تکنولوژی پمپاژ و برداشته شدن محدودیت‌های استحصال آب از منابع آب‌زیرزمینی، دستخوش تغییرات بسیاری شده که این تغییرات بر اساس نظریه دانینگ-کروگر قابل تفسیر می‌باشد. سرنوشت تلخ بسیاری از منابع آب‌های سطحی-زیرزمینی در کشور نشان می‌دهد که بسیاری از تصمیمات اخذ شده در زمینه مدیریت منابع آب به دلیل عدم شناخت کافی از مسائل مختلف بوده و یا ارزیابی کنشگران آب در رابطه با حل چالش‌های آبی منطبق بر واقعیت نبوده است. در این بخش با تأکید بر منابع آب زیرزمینی، سعی در تشریح نادیده‌انگاری در حل پیچیدگی‌های مدیریت آب شده و مواردی از برداشت‌های اشتباه کنشگران آب مورد تحلیل قرار می‌گیرد. نادیده‌انگاری در حل مسائل آب و همچنین عدم آسیب‌شناسی اقدامات گذشته برای عبرت‌اندوزی، موجب گردیده تا مدیریت آب مسیر مشخص به سمت هدف (برای بهبود شرایط) را طی ننماید. در این مقاله برای انتقال این مفهوم از کلمه «تذبذب»<sup>۷</sup> در سیستم مدیریت آب استفاده شده، که در ادامه بیشتر تشریح خواهد شد.

#### ۱- آب‌زیرزمینی، سیستمی پیچیده

آب‌زیرزمینی به دلیل عدم شناخت بسیاری از جنبه‌های آن، سیستمی پیچیده و چندوجهی محسوب می‌شود. ضرورت توجه به شناخت

این سیستم پیچیده و اخذ تصمیمات صحیح در مدیریت آن در کشورمان، به دلیل بالا بودن میزان وابستگی توسعه به این منبع، اهمیت ویژه‌ای دارد. به‌طور متوسط بیش از ۵۵ درصد برداشت‌ها در سطح کشور از منابع آب زیرزمینی صورت می‌پذیرد. این عدد در بسیاری از محدوده‌های شرق و مرکز کشور به بیش از ۸۰ درصد می‌رسد. متأسفانه علی‌رغم سهم بسیار بزرگ آب زیرزمینی در تأمین آب، در سال‌های گذشته سرمایه‌های کشور در حوزه آب، صرفاً مصروف به مناطق پر آب - که دارای آب‌های سطحی هستند - شده و به عرصه گسترده مرکزی و شرقی کشور که عمدتاً بر آب زیرزمینی متکی هستند، توجه بسیار کمتری شده است. به بیان دیگر همواره اهمیت منابع آب زیرزمینی در رشد و توسعه کشور نادیده‌انگاری می‌گردد. نتیجه این انحراف از واقعیت (غفلت از اهمیت نقش آفرینی آب زیرزمینی در تأمین آب) موجب گردیده تا بسیاری از آبخانه‌های کشور رو به زوال مستمر نهاده و بخش بزرگی از این ذخایر استراتژیک از دست برود. بنابراین نظریه دانینگ-کروگر در این زمینه به دلیل نادیده‌انگاری پیامدهای نامطلوب توسعه حفر چاه‌های عمیق، ناشی از عدم شناخت سیستم پیچیده آب زیرزمینی، قابل کاربرد است.

عدم درک درست از تجدیدپذیری منابع آب زیرزمینی یک نمونه از پیچیدگی‌های سیستم آب زیرزمینی است که بر روند افزایش برداشت و ایجاد فهم اشتباه و باور غلط در مورد منابع آب زیرزمینی موثر بوده است. برای مدیریت واقع بینانه آب زیرزمینی و پرهیز از سوءگیری شناختی ناشی از نظریه دانینگ-کروگر، لازم است که فهم درست از حجم و زمان تجدیدپذیری منابع آب زیرزمینی در مقایسه با دیگر منابع آب در دسترس، تبیین گردد. مدیریت آب زیرزمینی حجم بزرگ و دسترسی آسان به این منابع را مورد توجه قرار داده، ولی از توجه به ظرفیت تجدیدپذیری این منابع غفلت نموده است که این مورد نمونه بارز از نظریه دانینگ-کروگر و انحراف از تصمیم واقع بینانه است. نداشتن علم کافی نسبت به حجم و زمان تبادل منابع آب<sup>۱</sup> و پیچیدگی‌های مدیریت آب زیرزمینی در سطح کلان سیاستگذاری از یک سو و همچنین برداشت بدون ضابطه منابع آب زیرزمینی در سطح عوام (نظریه دانینگ-کروگر و بی‌توجهی به محدودیت‌های پمپاژ آب از آب زیرزمینی ناشی از عدم شناخت سیستم آب زیرزمینی) از سوی دیگر باعث شده تا محدودیت استخراج از آب زیرزمینی مورد غفلت واقع شده و منابع آب زیرزمینی در وضعیت زوال قرار گیرد (درخشان، ۱۴۰۱ الف).

## ۲- فهم اشتباه و باور غلط در مورد آب زیرزمینی

برداشت از منابع آب زیرزمینی با حفر چاه‌های دستی و سپس حفر قنات شروع شد. اما برداشت آب از این طریق محدودیت جدی داشت. برداشت آب از طریق چاه‌های دستی بسیار محدود و حفر قنات هم نیازمند شناخت دقیق سیستم آب زیرزمینی،

صرف سرمایه و نیروی انسانی بسیار زیاد بود. به عبارت دیگر جوامع بشری در گذشته برای اضافه برداشت آب از منابع آب زیرزمینی، امکانات و تجهیزات مناسب را در اختیار نداشتند. بنابراین میزان برداشت تقریباً معادل همان مقدار تخلیه‌ای بود که توسط چشمه و رودخانه‌هایی که از آب زیرزمینی تغذیه می‌شدند. اما با ورود تکنولوژی پمپاژ آب، برداشت از این منبع حیاتی به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. دسترسی راحت به منابع آب زیرزمینی موجب شد تا در میان مردم عوام این افسانه رواج یابد که آب زیرزمینی به مثابه رودخانه یا دریاچه‌ای مملو از آب شیرین در زیر پایمان قرار دارد. این افسانه در میان مردم این فهم را جا انداخته بود که در برداشت آب از منابع آب زیرزمینی هیچ محدودیتی وجود ندارد (Chevalking و همکاران، ۲۰۰۸). سال‌ها است که با پیشرفت علم زمین‌شناسی مشخص شده که واقعیت آب زیرزمینی بسیار متفاوت با این ساده‌انگاری است. این فهم اشتباه و باور غلط در مورد آب زیرزمینی با افزایش ظرفیت برداشت آب ناشی از ورود تکنولوژی پمپاژ، موجب گردید تا اضافه‌برداشت از این منبع حیاتی تحریک گردد. به بیان دیگر این ساده‌انگاری ناشی از نبود فهم صحیح از سیستم پیچیده آب زیرزمینی، موجب شده تا افزایش چشمگیری در توسعه برداشت از آب زیرزمینی برای توسعه کشاورزی (مخصوصاً در اکثر کشورهای خشک و نیمه خشک دنیا) طی نیم قرن گذشته رخ دهد. برخی از منابع این رشد چشم‌گیر در برداشت از منابع آب زیرزمینی را نوعی «انقلاب خاموش در برداشت از آب زیرزمینی» نام نهاده‌اند (Llamas و Martínez-Santos، ۲۰۰۵). ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و طی دهه‌های اخیر نیز با عنوان سیاست خودکفایی گندم و امنیت غذایی به توسعه کشاورزی فاریاب پرداخته است. سیاست‌های حمایتی دولت مانند وام‌های بلاعوض آبیاری تحت فشار و یارانه‌های انرژی از یک سو و از سوی دیگر عدم کنترل برداشت آب باعث تشویق بیشتر آب‌بران به برداشت از منابع آب زیرزمینی شده است.

امروزه همه گروداران بر افسانه مزبور و اینکه آب زیرزمینی آب بسیار محدود و کم‌یاب در شکستگی‌های سنگ‌های زیرزمین بوده و یا جریان‌های مشخص در آبرفت‌ها (منبعی محدود) می‌باشد، واقف هستند. این منبع محدود در هر منطقه‌ای متناسب با شرایط زمین‌شناسی و آب‌وهوایی حجم کاملاً مشخصی را به خود اختصاص می‌دهد که از طریق منافذ بسیار کوچک و میلی‌متری بین لایه‌های سطح زمین و بین ذرات خاک تغذیه می‌گردد. علی‌رغم شناخت این واقعیت، هنوز هم سیاست‌های برداشت آب از منابع آب زیرزمینی با واقعیت ظرفیت محدود تجدیدپذیری منابع آب زیرزمینی فاصله بسیار دارد که نشان دهنده غفلت از ابعاد مدیریتی آب زیرزمینی و عدم شناخت درست از سیستم پیچیده آب زیرزمینی می‌باشد (درخشان، ۱۴۰۱ الف).

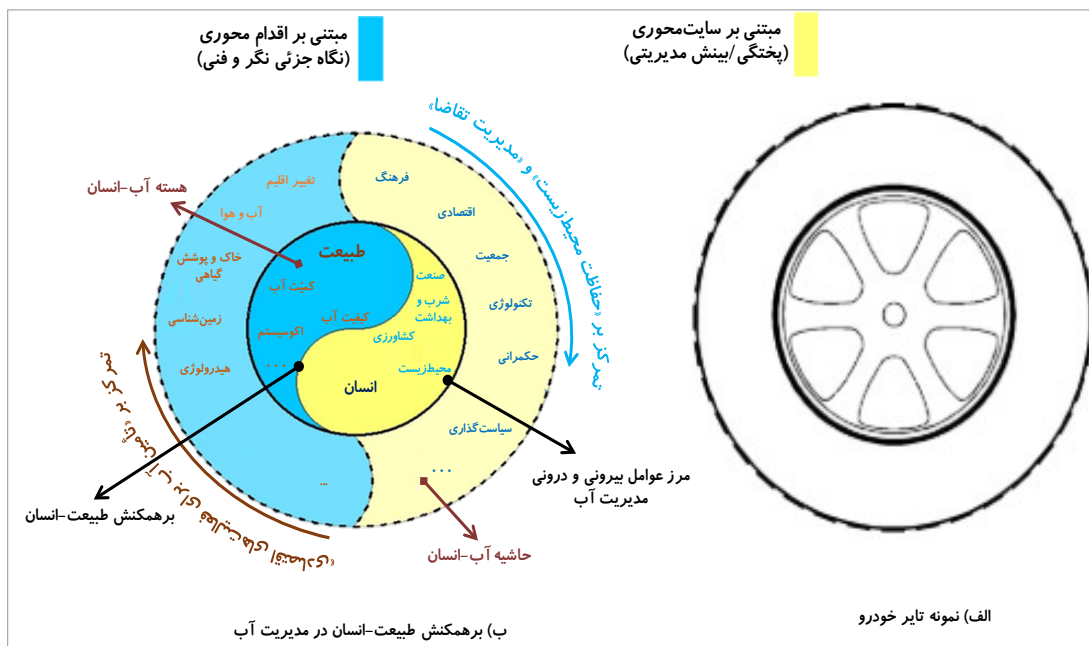
### ۳- غفلت از رویکردهای نرم و تأکید بر رویکردهای سخت

شکل (۲) به تشریح فضای مدیریت آب مبتنی بر مدل تایجی-تایر<sup>۹</sup> پرداخته است. تصویر A در این شکل شماتیکی از یک تایر خودرو را نشان می‌دهد که از دو بخش اصلی شامل بخش مرکزی (بخش فلزی تایر) و بخش بیرونی تایر تشکیل شده است. تصویر B در این شکل از مدل مفهومی تایجی-تایر اقتباس شده است. این مدل نشان‌دهنده چرخ (تایر) مدیریت آب است که در آن برهمکنش آب و رفتارهای انسانی هسته مرکزی این چرخ بوده و با عنوان «هسته آب-انسان» مشخص شده است (Liu و همکاران، ۲۰۱۴). هدف اصلی این مدل تبیین برهمکنش توأم طبیعت با جامعه انسانی است.

بخش B در شکل (۲) اشاره‌ای مختصر بر ابعاد مدیریت منابع آب سطحی-زیرزمینی دارد. بر اساس این شکل فضای مدیریت آب به دو بخش اصلی تقسیم می‌گردد: بخشی که با رنگ آبی مشخص شده، بخش‌هایی است که جنبه‌های مهندسی مرتبط با آب را به نمایش گذاشته است. این بخش بر تأمین آب برای توسعه فعالیت‌های بشری تمرکز دارد. بسیاری از تخصص‌ها بر مدیریت کمیّت و کیفیت آب تمرکز دارند که شامل علوم مهندسی آب، عمران، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، سازه‌های آبی و ... می‌باشد (این بخش در محور افقی شکل (۴) مورد توجه قرار گرفته است). بخش دوم که در شکل با رنگ زرد مشخص شده است، جنبه‌های مربوط به پیشراندهای اقتصادی-اجتماعی را در خود جای داده که بر حفاظت محیط زیست و مدیریت تقاضا متمرکز است. تخصص‌های مرتبط با فرهنگ‌سازی، اقتصاد،

مسائل اجتماعی، حکمرانی و ... به این بخش دوم از مدیریت آب مربوط است (این بخش در محور عمودی شکل (۴) مورد توجه قرار گرفته است).

اکثر رویکردهایی که تاکنون در مدیریت آب ایران مورد توجه قرار گرفته، رویکردهایی بوده که بر «تأمین آب برای فعالیت‌های اقتصادی» تأکید داشته است که به آن رویکردهای صرفاً مبتنی بر مهندسی (رویکرد سخت) می‌گویند (رنگ آبی در بخش سمت چپ شکل (۲)). این رویکرد فقط بخش مربوط به مهندسی و شناخت طبیعت را مورد توجه قرار داده، و بر مدیریت کمیّت و کیفیت آب برای بهره‌برداری بیشتر تأکید دارد. اما امروزه توجه به رویکرد نرم که شامل «تمرکز بر حفاظت محیط زیست و مدیریت تقاضا» است، قوت گرفته و بیشتر کشورهای دریاپشته‌اند که مدیریت آب، بیشتر امری اقتصادی-اجتماعی بوده که فقط توسط جامعه محلی می‌تواند به درستی به اجرا درآید. کشور ایران در شرایط فعلی برای مدیریت منابع آب از رویکرد سخت که از نوع سازه‌ای و از جنس مهندسی بوده و توجهی به «مدیریت تقاضا» و کنترل پیشراندهای اقتصادی-اجتماعی نداشته است، استفاده می‌نماید. این رویکرد بر خصوصیات زمین‌شناسی و هیدرولوژی و تسلط بر طبیعت برای مدیریت آب تأکید دارد. به بیان دیگر تاکنون تحلیل و کنترل پیشراندهای برداشت از منابع آب زیرزمینی (پیشراندهای اقتصادی-اجتماعی) به صورت کلی مورد غفلت واقع شده است. امروزه به طور جدی رویکرد پایداری آب زیرزمینی که بر ایجاد تعادل بین رویکرد سخت و رویکرد نرم تأکید دارد (Elshall و همکاران، ۲۰۲۰)، بایستی در مدیریت آب مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۲- فضای مدیریت آب مبتنی بر مدل تایجی-تایر (Liu و همکاران، ۲۰۱۴)



و از نظر افراد ذی‌صلاح نیز استفاده نمایاند، شکست‌های متوالی تکرار خواهد شد.

B ← C این مرحله به کنشگرانی از مدیریت آب اشاره دارد که بعد از شکست‌های متوالی اعتماد به نفس آن‌ها به شدت کاهش یافته و از بهبود سیستم ناامید شده‌اند. نقطه C نقطه تحول‌خواهی برای توانمندسازی مدیریت آب است. کنشگرانی که در این مرحله قرار می‌گیرند، به تجربه آموخته‌اند که برای تصمیم‌گیری صحیح لازم است تا کلیه جوانب مدیریت آب را در نظر بگیرند. در این نقطه پایین‌ترین سطح اعتماد به نفس، میان کنشگران آب وجود دارد که در صورت عدم آسیب‌شناسی دلایل شکست، این ناامیدی استمرار خواهد یافت و در صورت عبرت‌اندوزی از تجارب گذشته، ناامیدی تبدیل به امیدواری شده و حرکت به سمت پیشرفت تغییر جهت می‌دهد.

C ← D ارزیابی و آسیب‌شناسی دلایل شکست موجب می‌گردد تا بخش‌هایی که مورد غفلت (ساده‌انگاری) واقع شده است مشخص گردد. بنابراین کنشگران سعی می‌کنند تا آنچه را که نمی‌دانند به اهل فن واگذار نمایند و یا برای توانمندسازی خود تلاش نموده و بر اساس درک گستردگی و پیچیدگی مسأله آب تصمیم‌گیری نمایند. این کنشگران سعی می‌کنند تا متناسب با سطح دانش و تجربه خویش (کسب خبرگی) درباره مسائل آب تصمیم‌گیری نمایند.

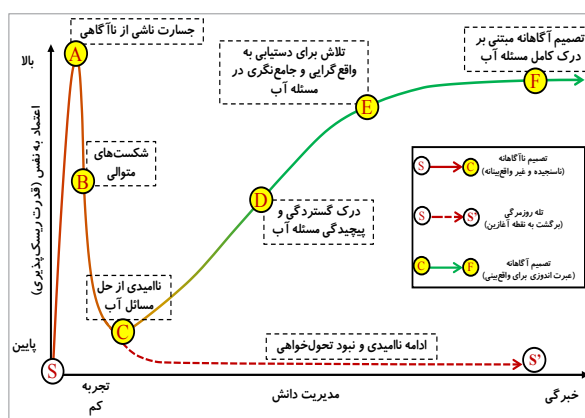
D ← E این مرحله به کنشگرانی از مدیریت آب اشاره دارد که تجربه کافی برای حل مسائل آب پیدا کرده‌اند و برای حل مسائل آب مبتنی بر واقع‌گرایی و جامع‌نگری و کسب مشورت از کنشگران ذی‌صلاح اقدام می‌کنند. به بیان دیگر در این مرحله بلوغ کافی برای درک درست مسأله، شناسایی راه حل درست و در نهایت اجرای درست تصمیم اخذ شده، فراهم می‌گردد.

E ← F این مرحله، مرحله ظهور و بروز بلوغ کامل<sup>۱۱</sup> در مدیریت آب است. در این سطح کنشگران مدیریت آب از سطح دانش و تخصص و همچنین اعتماد به نفس کافی برای حل مسائل آب برخوردار بوده، و می‌توانند برای حل آن به اجماع برسند. به بیان دیگر نقطه F به بالاترین سطح اجماع میان کنشگران برای حل مسائل آب اشاره دارد.

C ← F مسیر تکامل صحیح در مدیریت آب است که می‌توان از آن به مدیریت دانش<sup>۱۲</sup> یاد نمود. این مسیر مبتنی بر عبرت‌اندوزی از تجارب گذشته شکل می‌گیرد. متأسفانه در مدیریت آب، برای اینکه مشخص گردد هر طرح چه سهمی در دستیابی به پایایی مدیریت آب داشته، طرح‌ها به درستی ارزیابی و پایش نمی‌شوند و لذا این مسیر (مدیریت دانش) در مدیریت آب طی نمی‌شود.

C ← S' این مرحله به شرایطی اشاره دارد که سیستم مدیریت آب در حل مسائل ناتوان گشته و کنشگران مرتبط با طرح از حل مسائل آب ناامید شده‌اند. بنابراین برای عبور از این ناامیدی ضروری است تا ساختار سیستم مدیریت آب به دنبال تحول‌خواهی باشد، اما

شکل (۳) مبتنی بر کاربرد نظریه دانینگ-کروگر (شکل ۱) در بحث مدیریت آب توسعه یافته است. مدیریت آب هنگامی می‌تواند مبتنی بر برهمکنش طبیعت-انسان (مدل تایجی-تایر شکل (۲)) رفتار کند و مدیریت مطلوب آب ایجاد گردد که کنشگران مدیریت آب پیچیدگی‌های آن را به درستی درک نمایند و سپس فرآیند دانینگ-کروگر را طی نموده و به تجربه و خبرگی لازم رسیده باشند. به بیان دیگر ارتباط خبرگی و اعتماد به نفس کنشگران مدیریت آب مبتنی بر این نظریه مطابق شکل (۳) به صورت زیر تشریح شده است.



شکل ۳- ارتباط مدیریت دانش با قدرت‌ریسک‌پذیری سیستم مدیریت آب بر اساس نظریه دانینگ-کروگر

S ← A این مرحله به شرایطی از سیستم مدیریت آب اشاره دارد که کنشگران حوزه آب اطلاعات جامعی از وجوه مدیریت آب ندارند و نسبت به پیچیدگی‌های فضای مدیریت آب (برهمکنش فضای طبیعی با فضای اقتصادی-اجتماعی) ساده‌انگاری می‌کنند. این کنشگران اعتماد به نفس بسیار بالایی دارند و ممکن است به دلیل عدم اشراف بر جوانب واقعی حوزه آب، تصمیمات اشتباه اتخاذ کنند. این مورد در مدیران ارشد آب که از خبرگی<sup>۱۰</sup> کافی برخوردار نبوده و اعتماد به نفس بسیار بالایی دارند و از مشورت متخصصین ذی‌ربط نیز استفاده نمی‌کنند، مصداق دارد. در ایران، بزرگ بودن بخش دولتی (تمرکزگرایی) نسبت به بخش خصوصی (تفویض اختیار) و همچنین اختیاراتی که قانون به نهادهای دولتی داده، موجب شده است تا نظریه دانینگ-کروگر بر کنشگران ارشد آب که در نقطه A قرار دارند، تشدید گردد.

A ← B این مرحله به کنشگرانی از مدیریت آب اشاره دارد که نسبت به بخشی از واقعیت (به دلیل عدم اشراف بر ابعاد مسأله) ساده‌انگاری نموده، و تصمیمات ناقص اتخاذ و اجرا می‌نمایند. این نوع تصمیمات به دلیل عدم جامع‌نگری با شکست مواجه می‌گردد. در صورتی که همچنان این نوع از مدیران بر خودرأیی اصرار ورزند



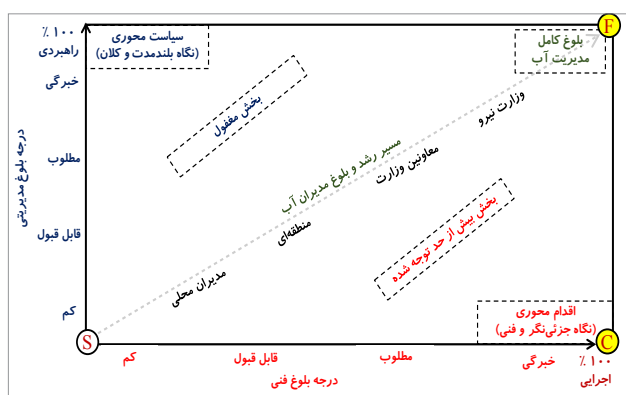
متأسفانه به دلیل نبود ساختار رشدیابنده در مدیریت آب علی‌رغم طرح و برنامه‌های متعدد، مسائل آب حل نشده باقیمانده است و تحول‌خواهی برای ایجاد عزم جمعی برای مدیریت مسائل آب وجود ندارد.

S ← S طی این مسیر را می‌توان «تله روزمرگی»<sup>۱۳</sup> در مدیریت آب نام نهاد. تله روزمرگی به شرایطی اشاره دارد که در حوزه آب پروژه‌های متعدد تعریف شده و همه با شدت و قدرت در حال تلاش برای اتمام پروژه هستند، اما به دلیل نبود همه‌جانبه‌نگری در ساختار مدیریت آب و عدم آسیب‌شناسی اقدامات انجام شده، نتایج مطلوب برای مدیریت آب حاصل نمی‌گردد و لذا سیستم مدیریت آب که فاقد ساختاری مشخص برای عبرت‌اندوزی از تجارب تلخ و شیرین گذشته است؛ دچار تذبذب شده و چگونگی حرکت آن برای دستیابی پایایی و حفاظت منابع آب نامشخص است. به بیان دیگر واقعیت مشهود، نشانگر شکست مدیریت کلان آب کشور در حفظ تعادل و کیفیت منابع آب می‌باشد. همانگونه که گفته شد، مکرراً سیاست‌های مدیریت آب کشور دستخوش تغییرات شده بدون آنکه سیاست‌های گذشته بازخوانی و آسیب‌شناسی گردند. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که متأسفانه وزارت نیرو (یا همان سازمان آب و برق قبل از انقلاب) طی قرن گذشته در حوزه مدیریت آب دارای دکترین و راهبرد با ثبات برای اتخاذ تصمیم آگاهانه نبوده است. نمونه‌ای از تغییر در برنامه‌های این وزارت که هیچکدام هم به سر انجام مطلوب (پایایی آب‌زیرزمینی) نرسیده‌اند، شامل: قانون حفظ و حراست آب‌زیرزمینی (اواسط دهه ۴۰) ← قانون آب و نحوه ملی شدن آن (اواخر دهه ۴۰) ← قانون توزیع عادلانه آب (اوایل دهه ۶۰) ← تعادل بخشی مرحله اول (اوایل دهه ۸۰) ← تعادل بخشی مرحله دوم (اوایل دهه ۹۰) ← شورای حوضه آبریز ← سازگاری با کم‌آبی ← و ... می‌باشد. علاوه بر این، به نظر می‌رسد تصمیم‌گیری‌ها در نهادهای دولتی بر اساس شناخت صحیح از پیچیدگی‌های سیستم منابع-مصارف آب نبوده است. در مجموع مدیریت آب رفتاری پیوسته در راستای رسالت خویش (یعنی تأمین بلندمدت آب برای تضمین امنیت آبی و پایایی توسعه) نداشته؛ و همواره با تذبذب (تغییر مسیر و زیگزاگ زدن) در تغییر مدیران و دولت‌ها، مواجه بوده است.

شکل (۴) به تشریح چگونگی رشد و بلوغ خبرگی در سیستم مدیریت آب پرداخته است. نقطه S، نقطه ورود یک کارشناس به سیستم مدیریت آب می‌باشد کارشناسانی که علم و دانش کافی از مدیریت آب داشته باشند، می‌توانند در این سیستم تجربه کسب نموده و به رشد و بلوغ برای کسب موفقیت در مدیریت منابع آب دست پیدا کنند. محور افقی در شکل (۴) به رشد و بلوغ خبرگی فنی اشاره دارد که در آن اقدام‌محوری بسیار مهم است. کنشگران دارای بلوغ و خبرگی فنی، تجربیات موفق بسیار در حوزه اجرای پروژه‌های آبی دارند. این کنشگران نگاه جزئی‌نگر داشته، و افرادی کاملاً

اجرائی می‌باشند. محور عمودی در شکل (۴) به رشد و بلوغ خبرگی راهبردی<sup>۱۴</sup> اشاره دارد که از آن می‌توان به «پختگی مدیریتی» نیز نام برد. سیاست‌محوری بسیار مهم است. کنشگرانی که پختگی مدیریتی داشته باشند، نگاه بلندمدت و کلان در حل مسائل آب دارند که برخاسته از خرد و بینش<sup>۱۵</sup> می‌باشد. این افراد دارای نگاه راهبردی و کلان هستند، بدیهی است که مفاهیم چگونگی دستیابی به پایایی منابع آب راهبردی بوده و از جنس این نوع خبرگی می‌باشد.

خبرگی راهبردی و یا همان پختگی مدیریتی در مدیریت آب، همواره مورد غفلت<sup>۱۶</sup> واقع شده است که در سمت چپ شکل (۴) با عنوان بخش مغفول از آن یاد می‌گردد. توجه به این بخش، موجب پختگی مدیران و کنشگران آب می‌شود. این غفلت به دلیل کم توجهی به حوزه علوم انسانی و مدیریت تقاضا در بخش آب که وظیفه تبیین راهبردها و سیاست‌های کلان برای حرکت به سمت پایایی منابع آب را عهده‌دار بوده، رخ داده است. طی مسیر S ← C که مربوط به خبرگی فنی (ناشی از رویکرد سازه‌ای) می‌باشد، بیش از اندازه مورد توجه قرار گرفته است. تعریف و اجرای پروژه‌های متعدد در حوزه آب بدون آسیب‌شناسی و ارزیابی این مورد که چقدر این پروژه در بهبود پایایی منابع آب موثر می‌باشد، گواهی بر توجه بیش از اندازه به این بخش (اقداماتی که مدیران بتوانند با قیچی و ریان، افتتاح آن را در کارنامه افتخارات مدیریتی خود ثبت نمایند) می‌باشد. به بیان دیگر مسیر انتخاب مدیران و کنشگران موفق در حوزه آب، هم به خبرگی فنی و هم به خبرگی راهبردی نیاز دارد و بهبود مدیریت آب در گروی طی مسیر S ← F می‌باشد. بدیهی است که مدیران از سطح محلی تا سطح کلان (وزارت نیرو) باید هر دو خبرگی را به فراخور سطح مدیریت، کسب نمایند.



شکل ۴- رابطه بین خبرگی فنی و مدیریتی برای تکامل سیستم مدیریت آب

جدول (۱) به تحلیل مخاطرات نظریه دانینگ-کروگر بر سیستم مدیریت آب پرداخته، و به منظور رفع آنها راه‌حلهایی را پیشنهاد کرده است. مطابق این جدول مهمترین اولویت برای ایجاد تحول در مدیریت آب واگذاری مسئولیت‌ها از نهادهای متمرکز (نهادهای دولتی) به نهادهای محلی (بخش خصوصی) می‌باشد. برای

دستیابی به این مهم لازم است تا زیرساخت‌ها برای تفویض اختیار به نهادهای خصوصی فراهم گردد. عدم نقش‌آفرینی کافی نهادهای عمومی در مدیریت آب موجب گردیده است تا نهادهای دولتی به جای سایر کنشگران آب تصمیم‌گیری نمایند که این امر باعث تشدید نظریه دانینگ-کروگر در نقطه A و تصمیم‌گیری ناآگاهانه (یکجانبه) می‌شود.

دستیابی به نقطه F (حل کامل مسأله آب) نیازمند داده و اطلاعات کافی برای شناخت درست سیستم آب می‌باشد. داده و اطلاعات شفاف و در دسترس همگان زیر ساخت ایجاد آگاهی و شناخت درست می‌باشد. ارزیابی وضعیت مدیریت آب زیرزمینی نشان می‌دهد که اجرای طرح‌های تعادل‌بخشی، سازگاری با کم آبی و ... به دلیل عدم پایش و ارزیابی صحیح برای رفع کاستی‌های این طرح‌ها، نتوانسته است موفقیتی در راستای کاهش اضافه برداشت کسب نماید. بنابراین مدیریت آب زیرزمینی در نقطه C قرار دارد و لازم است تا برای حرکت به سمت شرایط مطلوب (نقطه F) بلوغ و خبرگی مدیریتی در سطوح مختلف کنشگران مدیریت آب شکل گیرد تا بتوان چشم انداز مشترک برای مدیریت آب تعریف گردیده و کلیه نهادهای دولتی و غیر دولتی ذیل آن هدف‌گذاری نمایند. بنابراین سیستم مدیریت آب باید بر اساس چگونگی دستیابی پایایی منابع آب شاخص‌هایی را برای ارزیابی کنشگران مدیریت آب طراحی نماید تا بتوان ساختاری مشخص و پیوسته برای ایجاد بلوغ و ارتقاء مدیران ایجاد نمود. ضروری است تا همواره مدیران مورد پایش قرار بگیرند تا مشخص شود که چه اندازه توانسته‌اند در دستیابی به پایایی و حفاظت از منابع آب اقدامات موثر انجام

داده و کسب موفقیت نموده‌اند. بدیهی است که باید از قرار دادن مدیرانی که خبرگی لازم را ندارند ولی از اعتماد به نفس بالا (قرار گیری در نقطه A) برخوردارند، جلوگیری نموده و مدیرانی که توانسته‌اند برای دستیابی به پایایی منابع آب موفقیت کسب نمایند (قرارگیری در نقطه E و F) مورد تشویق و ارتقاء قرار گیرند.

هنگامی که طرح‌های مدیریت آب به دلیل شکست‌های متوالی ناشی از عدم جامع‌نگری در تصمیمات آب، در نقطه C قرار می‌گیرند و کنشگران این طرح‌ها، دچار ناامیدی از حل مسائل آب می‌شوند، ممکن است که به اشتباه به جای آسیب‌شناسی اقدامات گذشته و ادامه مسیر، به الگوبرداری کورکورانه از تجارب موفق سایر کشورها رو بیاورند. نتایج بررسی‌ها بر روی علل ناکارآمدی مدیریت آب در کشورهای مختلف نشان‌دهنده تفاوت جدی در وضعیت عناصر پیرامونی «آب» در هر کشور است. لذا به نظر می‌آید تعمیم الگوهای موفق مدیریت آب از یک کشور به سایر کشورها بدون توجه به ملاحظات اقتصادی-اجتماعی امری شایسته نیست؛ اگرچه ممکن است عبرت‌ها و درس‌های آنها قابل اقتباس باشند.

نکته دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد، این است که سیستم مدیریت آب با عدم قطعیت‌هایی نظیر تغییر اقلیم، تغییرات اجتماعی-اقتصادی و ... مواجه است که می‌تواند برنامه‌های مدیریت آب را تحت تأثیر قرار دهند. ضروری است تا کنشگران مدیریت آب این عدم قطعیت‌ها را به درستی بشناسند و آینده‌پژوهی لازم را در برنامه‌های مدیریت منابع آب اعمال نمایند. همچنین لازم است در سطح اجرای برنامه‌ها نیز به تطبیق با تغییر شرایط (مدیریت تطبیقی) توجه ویژه گردد.

جدول ۱- تحلیل مخاطرات نظریه دانینگ-کروگر در سیستم مدیریت آب و ارائه پیشنهادات اجرایی

| ردیف | عنوان              | شرح                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ارتباط با نظریه دانینگ-کروگر                               | راه‌حل/پیشگیری                                                                                                                                                                                                                                |
|------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۰    | اعتماد به نفس کاذب | سهم بخش دولتی در مدیریت آب بسیار بزرگ و سهم نهادهای غیر دولتی در این امر بسیار کوچک است. بنابراین سیستم دولتی که دامنه تصمیم‌گیری بسیار بزرگی دارد؛ به مدیران اختیاراتی داده که بدون جلب رضایت سایر گردواران بتوانند تصمیم بگیرند. این امر موجب تشدید نظریه دانینگ-کروگر در بالابردن اعتماد به نفس کاذب در (مدیران ارشد آب که خبرگی مدیریتی (پختگی) کافی ندارند شده است. | تشدید اعتماد به نفس کاذب ناشی از کم رنگ بودن نهادهای عمومی | -کوچک سازی بخش دولتی و تقویت نهادهای عمومی مرتبط با آب (انجمن‌های آب‌بران) - آموزش مستمر مدیران و افراد موثر در مدیریت آب با تمرکز بر جنبه‌های مختلف مدیریت و دامنه تصمیم‌گیری ایشان - در نظر گرفتن عقوبت درخور برای تصمیمات اشتباه مدیران آب |
| ۱    | تصمیم‌گیری یکجانبه | از آنجایی که مدیریت آب موضوعی فرابخشی و پیچیده است واگذاری مدیریت آب به یک نهاد خاص مانند وزارت نیرو موجب اخذ تصمیمات یک‌جانبه می‌شود. به بیان دیگر دولت در شرایط کنونی آب را بدون حضور مردم مدیریت می‌کند و بخش دولتی کنشگران غیر دولتی مدیریت آب را نادیده می‌انگارند.                                                                                                 | نادیده انگاری بخشی از واقعیت در میز تصمیم‌گیری آب          | -توجه به همه کنشگران مدیریت آب با تشکیل میزهای تخصصی فرابخشی و ارجاع فرآیند تصمیم‌سازی به آنها (توجه به تفویض اختیار <sup>۱۷</sup> ) - الزام مدیران به توجه به نظرات سایر کنشگران و اخذ تصمیم مبتنی بر اجماع نظرات تیم تخصصی                  |

| ردیف | عنوان                                                   | شرح                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ارتباط با نظریه دایننگ-کروگر                                                                               | راه حل/پیشگیری                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۲    | چشم انداز مشترک در مدیریت آب                            | از نگاه بلندمدت و استراتژیک برای دستیابی کشور به پایایی غفلت شده است و بخش بسیار بزرگی از منابع و بودجه های کشور در حوزه آب مصروف حل مشکلات روزمره شده است. بنابراین ارتباط اقدامات انجام شده با یکدیگر برای دستیابی به یک چشم انداز مدیریت مطلوب آب (دستیابی به پایایی) مشخص نمی باشد (شکل ۶).                                                                                                                                                                                                                                                      | غفلت از نگاه بلندمدت و استراتژیک و اسیر روزمرگی شدن ( $S \leftarrow S'$ )                                  | -ایجاد دکترین آب برای ساماندهی وضعیت آب کشور -طرح ریزی کلیه برنامه ها ذیل چشم انداز -آموزش مدیران به جهت رفتار سازگار با هنجارهای اجتماعی -فرهنگ سازی به منظور هنجار سازی اجتماعی و تحول در مدیریت آب                                                                                                                       |
| ۳    | عدم یکپارچگی در داده های آب (نرم/سخت)                   | عدم دسترسی به اطلاعات کافی برای شناخت سیستم آب موجب شناخت ناقص از سیستم مدیریت آب در میان کلیه کنشگران شده است. عدم شناخت کافی از سیستم آب موجب می گردد تا کنشگران نتوانند جوانب تصمیمات مدیریتی خویش را به درستی ارزیابی کنند و بنابراین لازم است تا اطلاعات کافی برای شناخت سیستم جمع آوری شود و به صورت شفاف در اختیار عموم قرار گیرد تا موجب ایجاد فهم مشترک از وضع واقعی سیستم آب گردد. بدیهی است که نبود اطلاعات و شناخت جامع، موجب افزایش عدم واقع گرایی در اتخاذ تصمیمات در سطوح مختلف مدیریتی می شود.                                       | عدم دسترسی به اطلاعات کافی برای شناخت درست سیستم آب                                                        | -آموزش عموم مدیران نهادهای دولتی و غیر دولتی مرتبط با آب -یکپارچه سازی اطلاعات مرتبط با آب (نرم و سخت) در یک سامانه واحد -همکاری کلیه نهادها در تولید داده های صحیح و اشتراک گذاری داده و اطلاعات -ایجاد سیستم داده تا تصمیم ( $DSS^{1/}$ )؛ -ارزیابی و رفع تناقض با سایر داده ها و اطلاعات و بارگذاری آنها در سامانه مشترک |
| ۴    | توسعه شاخص مناسب برای ارتقاء مدیران آب                  | ضروری است تا سیستم مدیریت آب برای ارتقاء و پایش مدیران مرتبط شاخص های مشخصی ذیل چشم انداز مدیریت آب داشته باشد و کنشگران/ مدیران متولی آب به صورت دائم مورد پایش قرار گیرند تا از ارتقاء افرادی که عملکرد مناسب ندارد، جلوگیری شود.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | عدم پایش و ارتقاء مدیران مبتنی بر شاخص مناسب (بی توجهی به عبرت اندوزی و طی مسیر) ( $C \leftarrow F$ )      | -تعریف شاخص های مشخصی متناسب با چشم انداز مدیریت آب -توسعه سنجه های متناسب با سطح و نوع مدیریت (توجه به تفاوت سنجه های از سطح ملی تا سطح محلی) -پایش مستمر مدیران نهادهای دولتی و غیر دولتی -ارتقاء مدیران متخصص و متبحر و جلوگیری از ارتقاء مدیران ناموفق و مشورت گریز                                                     |
| ۵    | برداشت اشتباه از ماهیت توسط بهره برداران                | نداشتن فهم درست از این سیستم پیچیده موجب شده بود تا با ورود تکنولوژی پمپاژ و حذف محدودیت برداشت از منابع آب زیرزمینی، مردم تصور کنند که زیر پایشان رودخانه آب شیرین است که برداشت از آن محدودیتی ندارد. این بیش برآورد از میزان دسترسی به منابع آب زیرزمینی موجب شد تا اضافه برداشت و حفر چاه های غیر مجاز افزایش پیدا کند.                                                                                                                                                                                                                          | عدم درک صحیح ماهیت آب زیرزمینی                                                                             | -آموزش عموم بهره برداران و آشنایی ایشان با ماهیت و کارکرد سیستم آب زیرزمینی -اطلاع رسانی و آگاه سازی بهره برداران از وضعیت مدیریت آب -حساس سازی بهره برداران نسبت به منابع آب و جلب حمایت ایشان برای کنشگری در این حوزه                                                                                                     |
| ۶    | عدم درک درست واقعیت ناشی از تولید سیستماتیک داده نادرست | ایجاد شفافیت در داده، اطلاعات و همچنین آگاهی بخشی و اطلاع رسانی بدون تناقض می تواند درک درست از واقعیت منابع آب بین نهادهای دولتی و غیردولتی فراهم نماید. در صورتی که اطلاعات مربوط به بخش آب در اختیار عموم نباشد، هر سازمانی بصورت جداگانه اطلاعات برداشت نموده و این اطلاعات را به نفع سازمان خود تجزیه و تحلیل می نماید. به عنوان نمونه می توان به مواردی از جمله کم برآورد نمودن سازمان جهاد در برداشت آب برای نشان دادن بهبود عملکرد کشاورزی و بیش برآورد کردن تعداد چاه های غیرمجاز برای جذب اعتبار بیشتر توسط آب منطقه ای و .... اشاره نمود. | کم برآورد و یا بیش برآورد از وضعیت سیستم منابع آب (طی مسیر $A \leftarrow S$ ناشی از عدم شناخت درست واقعیت) | -ایجاد شفافیت و در اختیار عموم قرار دادن داده و اطلاعات آب به صورت بر خط -انتشار عمومی گزارشات سالیانه مدیریت آب -تطبیق و شناسایی تعارضات آماری در اطلاعات بارگذاری شده در سامانه یکپارچه                                                                                                                                   |

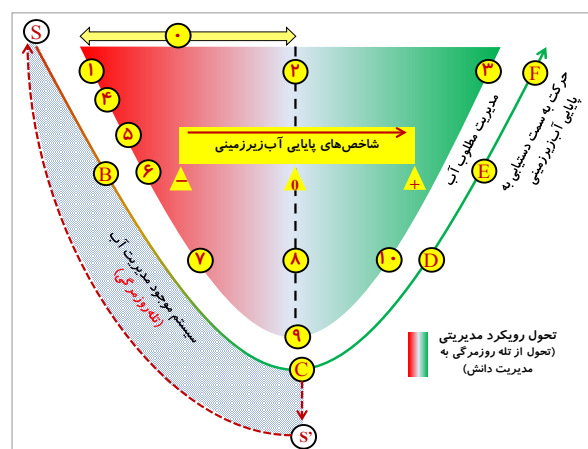
| ردیف | عنوان                                                             | شرح                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ارتباط با نظریه<br>دایننگ-کروگر                                                                                                                     | راه حل/پیشگیری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۷    | درک<br>ضرورت<br>اجماع در<br>سیاست‌ها                              | با توجه به چندوجهی بودن مسأله آب و نیاز به استفاده از کنشگران کلیدی هر بخش لازم است تا جایگاه مشخصی برای ایشان برای سیاست‌گذاری در مدیریت آب دیده شود. عدم توجه به این ضرورت و نگاه ابزاری مدیران بخش دولتی به کنشگران کلیدی موجب سلب اعتماد ایشان و در نتیجه عدم هماهنگی بین نهادهای دولتی و خصوصی برای دستیابی به تحول در مدیریت آب می‌گردد.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | عدم دستیابی<br>به هدف در<br>نتیجه نبود وفاق<br>بین کنشگران                                                                                          | - ایجاد اجماع حداقلی به شرط رعایت بند ۱<br>- دادن جایگاه و قدرت تصمیم به کنشگران<br>کلیدی محلی برای حل مسأله آب - توجه<br>بیشتر به تسهیل‌گران و نهادهای رابط که<br>می‌توانند هماهنگی بین نهادهای دولتی و<br>غیر دولتی را ایجاد کنند                                                                                                                                                                         |
| ۸    | عدم رعایت<br>حقوق بین<br>نسلی                                     | منابع طبیعی و مخصوصاً ذخایر تجدیدناپذیر آب زیرزمینی میراث نسل گذشته برای نسل حاضر نیست بلکه امانتی است برای نسل‌های آتی، لذا ضرورت دارد تا نسل حاضر در عین بهره‌برداری در حفاظت از آن کوشا باشد.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | به مخاطره<br>انداختن حیات<br>نسل‌های آتی<br>ناشی از عدم<br>رعایت حقوق آنها<br>توسط نسل حاضر                                                         | - ایجاد تعادل بین برآورده نمودن نیازهای نسل<br>حاضر بدون تضییع حقوق نسل‌های آتی -<br>تقویت حساسیت اجتماعی مردم از طریق<br>جایگاه دادن به سمن‌ها و سازمان‌های مردم<br>نهاد و ... در میز تصمیم‌گیری مدیریت آب                                                                                                                                                                                                 |
| ۹    | ضرورت<br>تحول<br>مدیریت آب                                        | اقدامات مدیریت آب در ایران مطابق شکل (۲) عمدتاً از جنس مهندسی و فیزیکی بوده و بر عرضه بیشتر آب برای فعالیت‌های بشری تأکید دارد. این نوع از اقدامات فوری ولی غیر مهم برای دستیابی به پایایی بوده و اقدامات برای کنترل پیش‌ران‌های آب (مدیریت تقاضا) که نیازمند برنامه‌ریزی بلندمدت برای دستیابی به پایایی می‌باشد، مغفول مانده است. در حالی که امروزه آب با پیش‌ران‌های عمدتاً اجتماعی-اقتصادی تحول می‌یابد (شکل ۶).                                                                                                                                                                                                                                                                                   | غفلت از ضرورت<br>تحول مدیریت<br>آب از توجه به<br>اقدامات غیر<br>مهم فوری به<br>اقدامات مهم غیر<br>فوری (شکل ۶)                                      | - ایجاد بسترهای لازم برای مدیریت<br>تغییر از وضع موجود به وضع مطلوب<br>- بسترسازی لازم برای تحول از مدیریت<br>منابع آب به مدیریت مصارف - توجه<br>جدی به پیش‌ران‌های اقتصادی-اجتماعی<br>و در اولویت قرار دادن مدیریت تقاضا                                                                                                                                                                                   |
| ۱۰   | عدم<br>آینده‌پژوهی<br>(اولویت<br>دادن به<br>امور مهم<br>غیر فوری) | بسیاری از مدیران ارشد آب فکر می‌کنند که آینده همان ادامه گذشته است در صورتی که آینده گرچه امتداد گذشته است، اما آینده آبست حوادث دیگر هم می‌تواند باشد. از این رو، ضروری است در برنامه‌های استراتژیک به این عدم قطعیت‌ها توجه ویژه شود. به بیان دیگر بی‌توجهی به عوامل پیش‌بینی نشده و نبود انعطاف لازم در قوانین موجب قفل شدن اجرای برنامه‌ها در صورت رخداد وقایع پیش‌بینی نشده می‌شود. پذیرش فرض آینده امتداد گذشته است، موجب نگاه مدیران به «آینده به معنی هدف» خواهد شد. همچنین عدم آینده‌پژوهی موجب می‌شود تا مجموعه‌ای از فرصت‌های نامحدود که شامل اختیارات و انتخاب‌ها می‌شود، نادیده گرفته شوند. بنابراین به دلیل عدم آینده‌پژوهی امور مهم ولی غیر فوری در اولویت مدیران قرار ندارند (شکل ۶). | غفلت از عدم<br>قطعیت‌ها (تغییر<br>اقلیم، تغییرات<br>اجتماعی-اقتصادی<br>و ...) که می‌توانند<br>برنامه‌های<br>مدیریت آب<br>را تحت تأثیر<br>قرار دهند. | - به شرط رعایت بند ۳ ضروری است<br>تا سیاست‌گذاری مدیریت آب مبتنی<br>بر مدیریت عدم قطعیت‌های محیط<br>پیرامون (اقلیم، اجتماع و اقتصاد) تنظیم<br>شود - توجه جدی به مدیریت تطبیقی<br>در سیاست‌گذاری و اجرای سیاست‌ها -<br>ضروری است تا آینده‌پژوهی وقایعی<br>که می‌توانند برنامه‌های مدیریت آب را<br>تحت تأثیر قرار دهند از قبل پیش‌نگری<br>شده و راه‌حل‌های مناسب مبتنی بر<br>اصول مدیریت تطبیقی پیش‌بینی شود. |

مدیریت آب به پایایی آب زیرزمینی را مورد پایش مستمر قرار داد. در شرایط کنونی اکثریت معیارهای پایایی آب زیرزمینی در وضعیت نامطلوب (منفی) قرار دارد؛ و لذا زمانی می‌توان حرکت به سمت پایایی آب زیرزمینی را آغاز نمود که این پیامدهای نامطلوب مدیریت شده و در وضعیت مناسب (مثبت) قرار گیرند (درخشان، ۱۴۰۱ ب).

شکل (۵) به تحلیل مدیریت تحول<sup>۱۹</sup> بر اساس نظریه دایننگ-کروگر از وضع موجود (تله روزمرگی) به وضع مطلوب (پایایی آب زیرزمینی) پرداخته است. برای طی این مسیر لازم است تا همواره معیارهای پایایی آب زیرزمینی<sup>۲۰</sup> به عنوان مبنای معقول برای پایش و آسیب‌شناسی پروژه‌های مدیریت آب در اولویت قرار گیرد. براساس این معیارها می‌توان میزان دستیابی برنامه‌های



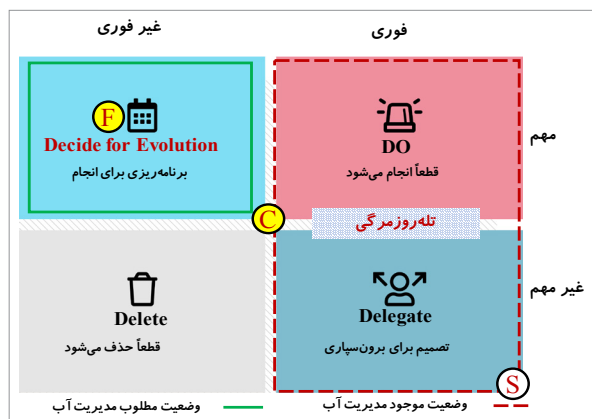
از دیگر نکات مورد توجه در شکل (۵)، ضرورت واگذاری مسئولیت‌ها (تفویض اختیار) از نهادهای دولتی (رنگ قرمز) به نهادهای عمومی (رنگ سبز) می‌باشد. مطابق جدول (۱) واگذاری بخش بسیار بزرگی از مسئولیت مدیریت آب به نهادهای دولتی موجب شده تا ایشان به جای سایر بهره‌برداران تصمیم‌گیری نمایند که تشدید نظریه دانینگ-کروگر در مدیران مرتبط با آب را به همراه داشته و از طرف دیگر موجب عدم همراهی بهره‌برداران با طرح‌های مدیریت آب گردیده است و در صورتی که مدیران مربوطه آگاهی کافی از پیچیدگی‌های مدیریت آب نداشته باشند با ساده‌انگاری در حل مسائل آب، موجب وخیم‌تر شدن وضع موجود خواهند گردید.



شکل ۵- تحول مدیریت آب مبتنی بر نظریه دانینگ-کروگر

در جدول (۱) و شکل (۵) سعی شده تا مسیر تحول در مدیریت آب برای دستیابی به وضع مطلوب بر اساس نظریه دانینگ-کروگر پیشنهاد گردد. اساسی‌ترین مسأله در تحول مدیریت آب، تفویض اختیار به نهادهای عمومی و بهره‌برداران می‌باشد. این مورد در جدول (۱) با شماره (۰) مشخص شده است. مورد سوم بر لزوم ایجاد چشم‌انداز مشترک برای مدیریت آب تأکید دارد تا کلیه برنامه‌های مدیریت آب مبتنی بر دستیابی به این چشم‌انداز طراحی و پیاده‌سازی شود. شماره نقاط ۴ تا ۷ برای ظرفیت‌سازی پذیرش تحول در مدیریت آب تأکید دارد. این مسیر مشابه مسیر  $C \leftarrow A$  در منحنی دانینگ-کروگر شکل (۳) می‌باشد. نقطه ۹ در مسیر تحول مدیریت آب مشابه نقطه C در منحنی دانینگ-کروگر است؛ همان نقطه‌ای که به دلیل آشکار شدن ابعاد مسأله آب پایین‌ترین سطح اعتماد به نفس برای تغییر در مدیریت آب است. در صورت ادامه روند و برنامه‌ریزی مبتنی بر آینده‌پژوهی (۱۰) و رعایت مدیریت تطبیقی می‌توان به سمت مدیریت مطلوب آب (نقطه F) که حل مسأله آب و دستیابی به چشم‌انداز مطلوب (۳) است، حرکت نمود. رعایت حقوق بین نسلی و ایجاد شفافیت در مدیریت آب به منظور جلب اعتماد نهادهای خصوصی در مرکز

شکل (۵) با شماره ۲ و ۸ مورد بحث قرار گرفته است. شکل (۶) به تشریح تحول مدیریت آب بر اساس ماتریس اهمیت و فوریت آیزنهاور پرداخته، که با شکل (۵) کاملاً مرتبط است؛ در هر دو شکل برای تکامل سیستم مدیریت آب باید بخش سبز رنگ (بخش مغفول در مدیریت آب) مورد توجه جدی قرار گیرد. ماتریس آیزنهاور یک نمودار گرافیکی است که در تدوین استراتژی و برنامه‌ریزی استفاده می‌شود. نمودار شامل چهار ربع «مهم - فوری»، «مهم - غیرفوری»، «غیرمهم - فوری» و «غیرمهم - غیرفوری» است. کاربر ماتریس که در اینجا منظور سیستم مدیریت آب است، وظایف خود را (با توجه به مهم یا فوری بودن) در یکی از چهار ربع قرار می‌دهد. در عمل، نمودار ابزار مفیدی برای جلوگیری از افتادن در «تله صرف وقت برای کارهای فوری اما غیرمهم» است که در این مقاله از آن به «تله روزمرگی» یاد شده و همچنین برای جلوگیری از «غفلت از کارهای مهم و غیرفوری» که در مدیریت آب مغفول واقع شده‌اند؛ بسیار مهم و کاربردی است (Bratterud و همکاران، ۲۰۲۰). مدیریت آب به دلیل داشتن بدنه بسیار بزرگ دولتی مشغول انجام فعالیت‌های «مهم - فوری» و «غیرمهم - فوری» (مربع قرمز رنگ) می‌باشد. بسیاری از پروژه‌ها و برنامه‌های مدیریت آب هر چند که فوری می‌باشند، ولی برای دستیابی به پایایی آب‌زیرزمینی، غیرمهم محسوب می‌شوند. بنابراین ضروری است تا مدیریت آب وظایف «فوری-غیرمهم» خود را به نهادهای غیردولتی واگذار نماید و به جای آن بر کارهای «مهم-غیرفوری» که از آن غفلت نموده (مربع سبز رنگ)، برای دستیابی به پایایی آب‌زیرزمینی تمرکز نماید. به بیان دیگر ضروری است تا وزارت نیرو و سایر ارگانهای دولتی مرتبط با آب به تفویض اختیار امور «غیرمهم - فوری» به نهادهای عمومی بپردازد. بخش سبز رنگ در شکل (۵) و شکل (۶)، اشاره به رشد نهادهای عمومی و دولتی برای درک پیچیدگی مسأله آب و ورود ایشان به مدیریت آب مبتنی بر آینده‌پژوهی و مدیریت تطبیقی می‌باشد (مسیر  $C \leftarrow F$ ).



شکل ۶- تحلیل وضعیت سیستم مدیریت آب مبتنی بر ماتریس آیزنهاور با اقتباس از (Bratterud و همکاران، ۲۰۲۰).



ایران در طول قرن گذشته، شاهد ورود پمپ و پمپاژ برای برداشت آب (= تشدید تخلیه آب زیرزمینی)، عملیات سدسازی گسترده (= تشدید برداشت از آب‌های سطحی و کاهش تغذیه آبخانه‌ها)، و توسعه شدید فعالیت‌های آب‌بر بوده است. عواقب این رفتار در نیمه دوم همان سده، با افت آب زیرزمینی و سپس کاهش جریان آب‌های سطحی، تشدید شوری و آلودگی آب زیرزمینی و در نهایت نشست زمین، آشکار گردیده است. مدیریت آب ایران مبتنی بر مدیریت انحصاری دولت بوده و مطابق شکل (۲)، فقط بر جنبه‌های سخت و مهندسی آب تأکید دارد. بنابراین این نوع مدیریت همراه با بازده و بهره‌وری اندک و عدم پاسخگویی بوده که موجب هدر دادن منابع و زمان می‌شود. در مقابل برای تحول وضع موجود لازم است تا تفویض اختیار صورت پذیرد، زیرا هنگامی که مردم (در قالب تشکل‌های قانونی) مشارکت کافی دارند و دولت بسیار کوچک است و صرفاً وظایف حاکمیتی و راهبردی (مرجع سبز رنگ شکل (۶)) را انجام می‌دهد، شفافیت و نظارت عمومی رشد یافته و موجب سلامت سیستم می‌گردد. مدیریت انحصاری و مالکیت انحصاری دولت هیچ سرانجامی جز بحران‌های گوناگون اجتماعی و اقتصادی ندارد. در مقابل تشکل‌های مردمی با کمک دولت خواهند توانست این وظایف را به سهولت و بدون تنش و پیامدهای امنیتی انجام دهند.

در یک تحلیل کلان، باید توجه نمود که تغییرات ناشی از «انقلاب سفید و اصلاحات اراضی» در آغاز دهه ۱۳۴۰، سیستم سنتی «مدیریت مراتع و آب» را از میان برداشت و به جای آن دست دولت را در حل و فصل امور باز گذاشت. در نتیجه، برنامه‌ریزی در نظام متمرکز دولتی (به تعبیری: «من‌آهنگی») جای «تدابیر اقتصادی و بازار و توافق، همفکری و مشارکت عموم و خردورزی جمعی» (به تعبیری: «هم‌آهنگی») را گرفت و نتیجه آن بروز و تشدید مشکلات، چالش‌ها، و بحران در چند دهه گذشته شده است. مدیریت آب اگرچه امور «فوری-مهم» و «فوری-غیرمهم» ( $S \leftarrow S$ ) و یا تله روزمرگی منحنی دانینگ-کروگر را طی کرده است، اما متأسفانه عزمی جدی برای کوچک کردن بخش دولتی و توانمندسازی و جلب مشارکت مردمی ( $F \leftarrow C$ ) وجود ندارد. بنابراین تفویض اختیار مسئولیت‌های نهاد متمرکز دولتی به نهادهای خصوصی و محلی که می‌توانند دلسوزانه در حل مسائل آب نقش‌آفرینی کرده و نسبت به اقدامات مدیریتی خویش پاسخگو باشند، می‌تواند در بهبود وضع موجود راهگشا باشد. برخی از کنشگران آب در حل مسأله آب ساده‌انگاری می‌نمایند که تصور می‌کنند مشکلی که طی سال‌های متوالی پدید آمده و رویه‌های دولتی و عادات اجتماعی خاص خودش را ایجاد نموده

و گسترش داده، در زمانی کوتاه قابل تغییر است. برای این تغییر، اقدامات متعددی بر اساس یک برنامه پیوسته و جامع باید صورت پذیرد. بنابراین اقداماتی چون بازنگری در پارادایم مدیریت آب، اصلاح سیاست‌ها، بازتعریف نقش‌ها بر اساس تمرکززدایی و از همه مهمتر جلب اعتماد کنشگران و ایجاد محیطی مساعد برای نقش‌آفرینی ایشان ضروری است. لازم به یادآوری است که نظریه دانینگ-کروگر مفهوم جدیدی نیست، بلکه این مفهوم در فرهنگ ایرانی به طرق مختلفی بیان شده است؛ از جمله در شعر (این یمین سال ۶۶۴-۷۴۶ هجری شمسی) به شرح زیر نیز آمده است:

آن کس که بداند و بداند که بداند      اسب خرد از گنبد گردون بجهاند  
آن کس که بداند و نداند که بداند      بیدار کندش که بسی خفته نماند  
آن کس که نداند و بداند که نداند      لنگان خرک خویش به منزل برساند  
آن کس که نداند و نداند که نداند      در چهل مرکب ابدالدهر بماند

بیت اول این شعر به آن گروه از کنشگران آب اشاره دارد که واقع‌بینانه به چالش‌های پیرامون می‌نگرند و پیامدهای نادرست تصمیماتشان را می‌پذیرند و برای مدیریت آن از قبل چاره‌اندیشی می‌کنند. به بیان دیگر این گروه از سطح اعتماد به نفس کافی برای اخذ تصمیمات درست متناسب با سطح تخصص و مهارتشان (خبرگی) برخوردار بوده و می‌توانند مسأله خویش را حل کنند. این گروه از افراد بر اساس منحنی دانینگ-کروگر در نقطه F قرار دارند. گروه دوم معرفی شده در بیت دوم شعر به کنشگرانی اشاره دارد که در نقطه C قرار دارند. این گروه افراد با لیاقتی هستند که به دلیل شکست‌های متوالی اعتماد به نفس خود را از دست داده و از اخذ تصمیمات درست ناامید شده‌اند، هرچند این شکست‌ها باعث رشد علم و تخصص و خبرگی ایشان شده است. به بیان دیگر نقطه C، نقطه تحول‌خواهی برای ایجاد تغییر است و بنابراین این یمین توصیه نموده است که این گروه باید از خواب بیدار شوند (تحول یابند). این افراد نیازمند یک تحول جدی برای کسب تجربه و خبرگی هستند. بیت سوم شعر به گروهی اشاره دارد که بین نقطه F و نقطه C قرار دارند. این گروه از افراد به ابعاد و پیامدهای تصمیمات خود آگاه هستند، ولی هنوز خبرگی لازم برای اخذ تصمیمات با ثبات و سنجیده را ندارند. آن‌ها در حال رشد بوده و با افزایش خبرگی و اعتماد به نفس، می‌توانند تصمیمات درست اخذ نمایند. بیت چهارم شعر به گروهی اشاره دارد که در نقطه S و A قرار گرفته‌اند و دچار چهل مرکب می‌باشند، یعنی از خبرگی لازم برخوردار نبوده و اعتماد به نفس بسیار بالایی دارند. این گروه بر نداشتن علم و تخصص کافی (داشتن پختگی/خبرگی لازم) برای اخذ تصمیمات درست خود واقف نیستند و توهم دستیابی به موفقیت دارند. این گروه تخصص و مهارت (خبرگی) لازم را ندارند که بتوانند پیامدهای نامطلوب تصمیمات نادرست خود را درک کنند.

پایش مستمر برنامه تحول مدیریت آب مبتنی بر درک پویایی

از جناب آقای دکتر کامران داوری بابت کمک در تدوین ساختار این یادداشت تحلیلی، جناب آقای مهندس میبیدی و مهندس اخباری بابت نظرات ارزشمندشان در بهبود یادداشت تحلیلی، از جناب آقای مهندس امین فخرمحمدی بابت همراهی در جلسات گفتگو با خبرگان حوزه آب (بیش از ۱۰ جلسه مصاحبه حضوری) و همچنین سرکار خانم دکتر آمنه میان آبادی، جناب آقای مهندس محمد طلعتی و جناب آقای دکتر امیر اسلامی که در بهبود نگارش متن به اینجانب یاری رسانده‌اند، قدردانی می‌گردد.

### پی‌نوشت

1-Dunning-Kruger Effect

2-Actors

3-Neglected

4-<http://karenpendergrass.com/wp-content/uploads/2016/03/karen-Pendergrass-paleo-journey.png>

5-Oversimplification

6-Evolution

۷-تذبذب بر گردان کلمه Fluctuation، به معنای زیگزاگ زدن ناشی از شک و دودلی (Hesitation) در انجام کار مشخص می‌باشد که موجب می‌گردد تا مسیر انجام یک کار مشخص دستخوش تغییرات بسیار زیاد شده، به گونه‌ای که سیستم دوچار سردرگمی شده و نتایج مطلوب در راه دستیابی به هدف مشخص، به دست نمی‌آید.

8-Residence Time

9-Taiji-Tire model

۱۰- منظور از خبرگی در اینجا هم خبرگی فنی (Technical Expertise) و هم خبرگی/پختگی مدیریتی (Managerial Expertise) می‌باشد که شرح کامل در شکل (۴) آورده شده است.

11-Total Maturity

12-Knowledge Management

13-Routineness Trap

14-Strategic Maturity

15-wisdom

16-Ignore

17-Subsidiarity

18-Decision Support System

19-Change management

20-Groundwater sustainability index

21-Learning organization

سیستم منابع-مصارف و آینده‌پژوهی، تجدیدنظر برای روزآمدی برنامه‌ها، یعنی حفظ یکپارچگی کلی و هماهنگی فعالیت‌ها از عملیات روزانه گرفته تا ملاحظات چند دهه دورتر (برای مقیاس‌های زمانی مختلف: عاجل، کوتاه‌مدت، میان‌مدت، بلندمدت و حتی راهبردی) به منظور تضمین دستیابی به چشم‌انداز مشترک ضروری است (اولویت دادن به اقدامات «غیرفوری-مهم» مربع سبز رنگ شکل (۶)). در واقع از آنجایی که پویایی جمعیتی، اقتصادی، اجتماعی و نیز گسترش دانش در طول زمان موجب تغییرات عمده می‌شود، مدیریت آب نیز به تناسب این تغییرات باید در طول زمان متحول شود. بنابراین ضروری است تا مفهوم «مدیریت تطبیقی» در بهبود وضع موجود به کار گرفته شود.

سیستم منابع آب سطحی-زیرزمینی، یک سیستم یکپارچه و «پیچیده» تلقی می‌گردد؛ یعنی عکس‌العملش در مقابل رفتار انسان به آسانی قابل برآورد نیست. به همین دلیل توسعه بخش‌های اقتصادی کشور در دهه‌های اخیر، ساده‌انگارانه و متکی بر منابع آب زیرزمینی تجدیدنپذیر بوده، پیامدهای نامطلوب اضافه‌برداشت از منابع آب زیرزمینی به درستی شناسایی نشده و هر روز وضعیت این منابع وخیم‌تر می‌شود. بنابراین برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای برای توسعه پایا، کاهش مصرف فعلی آب تا رسیدن به تراز تعادل سطح آب زیرزمینی، اجتناب ناپذیر است. برای بهبود وضع موجود ضروری است تا وزارت نیرو موارد زیر را در مدیریت آب مورد توجه قرار دهد:

- وزارت نیرو باید امور غیرفوری ولی بسیار مهم مانند درک پویایی محیط شامل (اقلیم/اقتصادی-اجتماعی/فناوری) مبتنی بر آینده‌پژوهی (اتخاذ برنامه‌ای بلندمدت برای حل مسائل آب) و مدیریت تطبیقی که تاکنون بیشتر مورد غفلت بوده، در اولویت قرار دهد (مربع سبز رنگ شکل (۶)). توجه به این ضرورت موجب می‌گردد تا هویت حقوقی و رسالت اصلی وزارت نیرو (حفاظت از منابع آب) همواره مطرح باشد و با تغییر دولت‌ها و مدیران آب، برنامه‌های حفاظت از منابع آب دستخوش تغییر نشود.

- اکنون مدیریت آب در نقطه C قرار دارد و مسیر  $S \leftarrow S$  «تله روزمرگی» را طی می‌کند که در آن تحول‌خواهی و حرکت به سمت پایایی دیده نمی‌شود. ضروری است تا برای تحول‌خواهی (طی مسیر  $F \leftarrow C$ ) عبرت‌اندوزی نموده و تبدیل به یک نهاد یادگیرنده<sup>۲۱</sup> شود.

- وزارت نیرو باید مدیریت تحول برای جابه‌جایی از وضع موجود (نامطلوب نامعقول) به شرایط مناسب (مطلوب-معقول) و دستیابی به پایایی منابع آب از روزمرگی (طی مسیر  $S \leftarrow S$ ) مسیر به شرایط مطلوب ( $F \leftarrow C$ ) داشته باشد؛ بنابراین نیازمند برنامه راهبردی بلندمدت و نقشه راه است.

- Llamas, M.R. & Martínez-Santos, P. (2005). Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflicts. *Journal of water resources planning and management*, 131(5), 337–341. [doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2005\)131:5\(337\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2005)131:5(337))
- Mahmood, K. (2016) Do people overestimate their information literacy skills? A systematic review of empirical evidence on the dunning-kruger effect. *Communications in Information Literacy*, 10(2), 198–213. [doi.org/10.15760/comminfolit.2016.10.2.24](https://doi.org/10.15760/comminfolit.2016.10.2.24)
- پهله، بهزاد، میربرگ کار، سیدمظفر، و ذوالقدر، ابوالفضل. (۱۳۹۸). مدیریت مالی و اثر دانینگ کروگر (خودبینی). دانش سرمایه‌گذاری، ۸(۳۰)، ۱۳۹-۱۵۲.
- درخشان، هاشم. (۱۴۰۱ الف). یادداشت تحلیلی: چرا تعادل بخشی آب زیرزمینی سهل ممتنع است؟. نشریه آب و توسعه پایدار، ۹(۳)، ۱۴۷-۱۵۵.
- درخشان، هاشم. (۱۴۰۱ ب). یادداشت تحلیلی (ترجمه): معرفی معیارهای دستیابی به پایایی آب زیرزمینی (برگرفته از قانون SGMA کالیفرنیا. آب و توسعه پایدار، ۹(۴)، ۱۰۷-۱۲۲.
- Bratterud, H., Burgess, M., Fasy, B., Millman, D., Oster, T. & Sung, Ch. (2020). The Sung Diagram: Revitalizing the Eisenhower Matrix. [doi.org/10.1007/978-3-030-54249-8\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54249-8_43)
- Chevalking, S., Knoop, L. & Van Steenberg, F. (2008). *Ideas for Groundwater Management*. Wageningen, The Netherlands: MetaMeta and IUCN.
- Ehrlinger, J., Johnson, K., Banner, M., Dunning, D. and Kruger, J. (2008). Why the unskilled are unaware: Further explorations of (absent) self-insight among the incompetent. *Organizational behavior and human decision processes*, 105(1), 98–121. [doi.org/10.1016/j.obhdp.2007.05.002](https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2007.05.002)
- Elshall, A.S., Arik, A.D., El-Kadi, A.I., Pierce, S., Ye, M., Burnett, K.M., Wada, C.A., Bremer, L.L. & Chun, G. (2020). Groundwater sustainability: A review of the interactions between science and policy. *Environmental Research Letters*, 15(9), 093004. [doi.org/10.1088/1748-9326/ab8e8c](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8e8c)
- Kruger, J. & Dunning, D. (1999). Unskilled and unaware of it: how difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments. *Journal of personality and social psychology*, 77(6), 1121–1134. [doi.org/10.1037/0022-3514.77.6.1121](https://doi.org/10.1037/0022-3514.77.6.1121)
- Liu, Y., Tian, F., Hu, H. & Sivapalan, M. (2014). Socio-hydrologic perspectives of the co-evolution of humans and water in the Tarim River basin, Western China: The Taiji-Tire model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(4), 1289–1303. [doi.org/10.5194/hess-18-1289-2014](https://doi.org/10.5194/hess-18-1289-2014)

# In the Name of Allah



Grantee  
Manager in Charge  
Editor in Chief

Editorial Board



Guiding Council



Advisory Editors



Executive Expert  
Editor  
Design / Graphic  
Order of publication  
Publisher  
ISSN Print/ Online  
Website/ E-Mail  
Address  
Sponsor  
Indexing

## Journal of Water and Sustainable Development



Volume 10, Issue 4 [Serial No. 30], March 2024

Due to certificate no. 3/18/126631 dated 20/9/2015 from the scientific publications review Commission of the Ministry of Science, Research and Technology in Iran. also Due to registration number no76766 dated 25/1/2016 from the Ministry of Culture and Islamic Guidance, this journal has been licensed to publish. This journal is an output of joint scientific activities between the Ferdowsi University of Mashhad and the Hydraulic Association of Iran.

**College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran**

**Shahnooshi Foroushani, N. Prof.,** Ferdowsi University of Mashhad

**Davary, K. Prof.** Ferdowsi University of Mashhad

**Alidadi, H. Prof.,** Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

**Ansari, H. Prof.,** Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

**Bagheri, A. Asso. Prof.,** Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

**Esmaili, K. Asso. Prof.,** Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

**Jolaini, M. Asso. Prof.,** Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, Mashhad, Iran

**Morid, S. Prof.,** Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

**Nassery, H.R. Prof.,** Shahid Behesti University, Tehran, Iran

**Sayahi, A.** General Manager of the Office of Research, Technology Development and Communication with the Industry of the Country Water & Wastewater Engineering Company, **Chairman of the Council**

**Esmailian, H.** Managing director of Mashhad Water & Wastewater Company

**Taheri, A.,** Managing director of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

**Mousavi, S. Y.** Secretary of water Think tank at Iran Water Resources Management Company

**Shahnooshi Foroushani, N.** Manager in Charge

**Davary, K.** Editor in Chief

**Noori Esfandiari, A.** Representative of Water Think tank at Iran Water Resources Management Company

**Sajadifar, S.H.** Representative of Country Water and Wastewater Engineering Company

**Kolahi, M.** Ferdowsi University of Mashhad

**Kalaei, G.H.** Representative of Mashhad Water & Wastewater Company

**Ghanbari, F.** Representative of Mashhad Water & Wastewater Company

**Mirgasemi, S.H.** Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

**Barati, R.** Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.

Quchanian, M., Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F., Oskouhi, M.

Talebi Hossein Abad, F. / Shaikhi, M.R.

Quarterly

Ferdowsi University of Mashhad

2423-5474 / 2717-3321

<http://jwsd.um.ac.ir> / Email: [jwsd@um.ac.ir](mailto:jwsd@um.ac.ir)

Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. P.O.Box: 917751163

Mashhad Water & Wastewater Company

ISC, Agris, CABI, DOAJ, google scholar, SID, Magiran

### Articles in issue:

- **Executive Solutions and Economic Analysis to Reduce Water Consumption in Different Construction Sectors**

S. Saadi, M. Pourhossein Oadi

- **Comprehensive Water Resources Management for a Sustainable Future Using the SWOT Model (Case Study: The Regional Water Company of North Khorasan)**

R. Shirin Hesar, A. Govahi

- **Development of a Fuzzy Decision Support System for Irrigation Network Operation Under Water Scarcity Conditions**

H. Hedayati, A. Parvaresh Rizi,  
A. Nazi Ghameshlou

- **Investigating the Water Withdrawal from Surface Resources and the Beneficial Water Consumption in the Agricultural Sector of Khuzestan Province**

M. Khorramian, P. Varjavand

- **Effects of Different Levels of drought Stress on Yield and Yield Components of Ouinoa (Chenopodium Ouinoa Willd.)**

H. Beyrami, R. Yazdani- Biouki, M. Salehi

- **Providing a Risk Assessment and Management Model for Water and Sewage Infrastructures with the Passive Defense Approach (Case Study: The border Province)**

S. E. Abtahi, A. A. Amir Kardoost,  
D. Sedaghat Shaygan

- **Analysis of Spatiotemporal Changes in the Baseflow of Iran's Rivers over the Past 30 Years**

E. Parizi, E. Hosseinzadeh, S. M. Hosseini

- **Quality Management of Water Resources in Hot and Dry Climate Using the Water Quality Index WQI**

I. Homayoonnezhad, P. Amirian

- **Investigating the Prediction of the Amount of Coagulant Injection in the Drinking Water Purification Process Using Fuzzy Regression Analysis (Case Study: Mashhad Water Treatment Plant No.3)**

Z. Vakili, E. Alamatian, M. Zanguee

- **Investigating the Performance of Membrane Technology with UV System for the Treatment of Gray water and Rainwater**

E. Sadati Seyedmahalleh, N. Mehrdadi,  
Gh. R. Nabi Bidhendi, M. J. Amiri

