

آب و توسعه پایدار

سال دهم . شماره سوم (پیاپی ۲۹) . آذرماه ۱۴۰۲

حکمرانی سیل از «مهار توسط دولت» تا «تاب آوری جوامع محلی»



- ۴ آموزش به کارکنان دولتی (کارکنان عملیات امداد و نجات) در شناخت نیاز جوامع آسیب پذیر برای کمک رسانی مناسب و سریع پس از وقوع سیل
- ۳ با سازمان های اجتماعی محلی همکاری کنید. آن ها می توانند به عنوان نخستین واکنشگران برای نجات افراد آسیب دیده اقدام نمایند
- ۲ برای تخلیه گروه های آسیب پذیر، باید طرح واکنش به سیل تدوین و سرپناه های اضطراری ایجاد شوند
- ۱ این واحدهای مسکونی و ساکنان آن، در برابر سیل های شدید بسیار آسیب پذیر هستند. کاهش عواقب سیل، نیازمند «پاسخ سریع و موثر» است

فهرست مقالات

- استعداد شناسی سرزمین، هویت زیستی و بوم شناسی سیلاب (مطالعه موردی: طرح چند نهادی کوثر در اکوسیستم جفت شده به آب های زیرزمینی)
محمود مهام
- تحلیلی بر حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب
مأده اسکوهی، کاظم اسماعیلی، علی نقی ضیائی
- مروری بر راهبردهای مدیریت ریسک سیل و چالش های قانونی و عملی
سیده محدثه طاهری، ابوالفضل مساعدی
- شناسایی و تحلیل موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه در حوضه آبریز مهاباد
داود امین فنک، روح الله رضایی، زینب کهریزی
- مدل سازی برای وزن دهی موثرترین معیارهای ارزیابی شده دانش بومی با استفاده از روش BWM در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب استان یزد
مهدی خانی، حسن هویدی، احمد رضا یآوری، محمدرضا خانی
- بررسی ابعاد مختلف فقر آب در استان های ایران
سحر صفریپور، مجید مداح
- روش برنامه نویسی ژنتیک (GP) در پیش بینی میزان مصرف آب شهری (مطالعه موردی: شهر نجف آباد)
محمدرضا علیخانی، رامتین معینی
- بررسی روند تغییرات خشکسالی با شاخص خشکی دمایی- پوشش گیاهی (TVDI) و ارتباط آن با عوامل جوی (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیاهکوه)
امین صفدری مولان، عادل مردانه
- بررسی عددی و آزمایشگاهی مسیر حرکت جت های خروجی از دریچه های تخلیه تحت فشار سدهای مخزنی
علی طاهری اقدم، فرزین سلماسی، علی حسین زاده دلیر، اکرم عباسپور
- تهیه مدل بهینه یاب مسیر خطوط انتقال آب با استفاده از الگوریتم فراکاوشی
آرزو طاهری، عباس خاشعی سیوکی، محسن پوررضا بیلندی، سید رضا هاشمی
- حذف آنتی بیوتیک آموکسی کلاو با استفاده از امواج التراسونیک از محلول های آبی
سامان گودرزیان، محسن سلیمانی بابرصاد، احسان دریگوند، محمد حسین پورمحمدی، حسین قربانی زاده خرازی

سال دهم - شماره سوم (پیاپی ۲۹) - آذر ۱۴۰۲

این نشریه طبق نامه شماره ۱۲۶۶۳۱/۱۸ مورخ ۱۳۹۴/۰۶/۲۹ از کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم تحقیقات و فناوری، اعتبار علمی دریافت نموده است. همچنین این نشریه در تاریخ ۱۳۹۴/۱۷/۰۵ موفق به دریافت پروانه انتشار نشریه از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی به شماره ثبت ۷۶۷۶۶ شده است. این نشریه حاصل فعالیت های علمی مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن هیدرولیک ایران است.

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سردبیر

دانشگاه فردوسی مشهد

ناصر شاهنوشی فروشانی / استاد گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

کامران داوری / استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

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 حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی مشهد

سعید مرید / استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

حمیدرضا ناصری / استاد گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی

شورای سیاست گذاری

احمد سیاحی (ریاست شورا) / مدیر کل دفتر تحقیقات، توسعه فن آوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

حسین اسماعیلیان / مدیر عامل شرکت آب و فاضلاب مشهد

علیرضا طاهری / مدیر عامل شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی

سید یحیی 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

کارشناس اجرایی

ویراستاری

طراحی جلد

ترتیب انتشار / ناشر

شماره شاپا

تارنما / رایانامه

آدرس

حامی مالی

پایگاه های نمایه شده

مهری شاهدی، فاطمه طالبی حسین آباد

مرجان قوچانیان، مهری شاهدی (فنی و ادبی) / مائده اسکوهی (لاتین)

محمدرضا شیخی

فصلنامه / انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

۲۴۲۳-۵۴۷۴

<https://jwsd.um.ac.ir/> Email: jwsd@um.ac.ir

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، دفتر نشریه، صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

شرکت آب و فاضلاب مشهد

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

نشریات کشور (MAGIRAN)



الف	سرمقاله: آینده پژوهی سیل و چالش های پیش رو / کاظم اسماعیلی (عضو هیئت تحریریه نشریه)
ث	یادداشت های کوتاه: حکمرانی سیل در آینه نگاه مدیریت جامع حوزه های آبخیز/ حمید نوری (مدیر کل آبخیزداری و حفاظت خاک سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور)
ح	حکمرانی ریسک سیل / علی نجفی نژاد (استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)
۱	استعدادشناسی سرزمین، هویت زیستی و بوم شناسی سیلاب (مطالعه موردی: طرح چند نهادی کوثر در اکوسیستم جفت شده به آب های زیرزمینی) محمود مهام
۱۳	تحلیلی بر حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب مانده اسکوهی، کاظم اسماعیلی، علی نقی ضیائی
۳۵	مروری بر راهبردهای مدیریت ریسک سیل و چالش های قانونی و عملی سیده محدثه طاهری، ابوالفضل مساعدی
۵۱	شناسایی و تحلیل موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه در حوضه آبریز مهاباد داود امین فنک، روح الله رضایی، زینب کهریزی
۶۱	مدل سازی برای وزن دهی موثرترین معیارهای ارزیابی شده دانش بومی با استفاده از روش BWM در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب استان یزد مهدی خانی، حسن هویدی، احمد رضا یآوری، محمد رضا خانی
۷۵	بررسی ابعاد مختلف فقر آب در استان های ایران سحر صفروپور، مجید مداح
۸۷	روش برنامه نویسی ژنتیک (GP) در پیش بینی میزان مصرف آب شهری (مطالعه موردی: شهر نجف آباد) محمد رضا علیخانی، رامتین معینی
۹۹	بررسی روند تغییرات خشکسالی با شاخص خشکی دمایی- پوشش گیاهی (TVDI) و ارتباط آن با عوامل جوی (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیاه کوه) امین صفدری مولان، عادل مردانه
۱۰۹	بررسی عددی و آزمایشگاهی مسیر حرکت جت های خروجی از دریچه های تخلیه تحت فشار سدهای مخزنی علی طاهری اقدم، فرزین سلماسی، علی حسین زاده دلیر، اکرم عباسپور
۱۲۱	تهیه مدل بهینه یاب مسیر خطوط انتقال آب با استفاده از الگوریتم فراکاوشی آرزو طاهری، عباس خاشعی سیوکی، محسن پوررضا بیلندی، سید رضا هاشمی
۱۳۱	حذف آنتی بیوتیک آموکسی کلاو با استفاده از امواج التراسونیک از محلول های آبی سامان گودرزیان، محسن سلیمانی بابرصاد، احسان دریگوند، محمد حسین پورمحمدی، حسین قربانی زاده خرازی
۱۳۶	یادداشت تحلیلی: مشترکات عمومی، نقدی بر مدیریت حقوقی - قانونی آن/ مهدی شفایی
۱۴۲	یادداشت تحلیلی: مدیریت ریسک سیلاب و ایمنی عمومی / کامران امامی

آینده‌پژوهی سیل و چالش‌های

پیش رو



سیل یکی از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین پدیده‌های طبیعی است که تکرار آن در اغلب مناطق دنیا، رو به افزایش بوده و خسارت‌های زیادی چه از نظر انسانی و چه غیرانسانی به وجود می‌آورد (Dottori و همکاران، ۲۰۱۸؛ Vu و Mishra، ۲۰۱۹). از این رو لازم است شرایط فعلی ریسک سیل، چالش‌های فعلی و چالش‌های آینده حکمرانی ریسک سیل (FRG)^۱ مورد توجه قرار گیرد. جهت‌گیری‌های تحقیقاتی در حوزه شناخت انواع سیل، شناسایی شده‌اند و موضوعات جدیدی که برای کاهش خطرات سیل به کار بیشتری نیاز دارند، مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به ترکیب تأثیرات تغییرات اقلیمی پیش‌بینی می‌شود که در آینده، سیستم‌های شهری با خطر سیلاب بیش‌تری مواجه خواهند شد. در رابطه با پایش سیل و نقشه‌برداری، برای برقراری تعامل مناسب بین قابلیت‌های مدل و نیاز کاربران، به یک رابط چند مقیاسی مورد نیاز است. این رابط می‌تواند به کمک ورودی‌های ذی‌نفعان و دانش‌های علوم اجتماعی و شهروندی، مدل‌های چند مقیاسی را با هم ادغام کند و باعث بهبود عملکرد و دقت روش‌های پایش سیل و نقشه‌برداری گردد. می‌توان از سناریوهای کوچک‌تر استفاده نمود و مجموعه مواردی که تغییرات آب و هوا و کاربری زمین را در نظر می‌گیرند، مدنظر قرار داد. پیش‌بینی به‌موقع سیلاب‌های شهری، کمی‌سازی اثرات اجتماعی-اقتصادی سیل و توسعه استراتژی‌های کاهش ریسک سیل، همچنان چالش‌برانگیز خواهد بود (Mishra و همکاران، ۲۰۲۲).

- مبانی و اصول پیش‌بینی

برای مدل‌سازی و ارزیابی مخاطرات ترکیبی، همچنین کمک به کاهش آسیب‌پذیری اجتماعی، نیاز به پژوهش‌های بیشتری است. تعاملات پویا و پیچیده بین اقلیم، تغییرات اجتماعی، فرآیندهای حوضه آبخیز و عوامل انسانی که اغلب با عدم اطمینان زیادی مواجه می‌شوند، نیاز به تحقیقات فرارشته‌ای بین سیاست‌گذاران و ذی‌نفعان برای کاهش ریسک سیل و توانایی آسیب‌پذیری اجتماعی را برجسته می‌کند. این تحقیقات شامل مطالعاتی در زمینه شناسایی و پیش‌بینی ریسک سیل، ارزیابی تأثیرات سیل بر جامعه و محیط‌زیست، تدابیر پیشگیری در برابر سیل و توسعه راهکارهای ارتقای آمادگی و مقابله با سیل می‌باشند.

- ابزار بکارگیری

با استفاده از سنجش از دور که شامل تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمین‌شناسی می‌شود، محققان در حوزه محیط‌زیست و مدیریت بحران می‌توانند بهتر از پیش، پیش‌بینی، پیشگیری و مدیریت سیل را به منظور کاهش خسارات احتمالی انجام دهند. همچنین، با پیشرفت تکنولوژی و داده‌های حس‌گر، می‌توان ریسک سیلاب را مدیریت نمود. به‌عنوان مثال، می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالا و داده‌های حس‌گر به مراتب بهترین پوشش اطلاعات را در اختیار مدیریت بحران قرار داد تا بتوانند با سرعت بیشتری و در مقیاس بزرگ‌تری به تشخیص سیل و برنامه‌ریزی برای کاهش خسارات احتمالی، بپردازند. همچنین، استفاده از حس‌گرهای اینترنت اشیا (IoT)^۲ برای کنترل سیلاب، می‌تواند به عنوان یک راهکار موثر در مدیریت سیلاب و پیشگیری از خسارات آن، مورد استفاده قرار گیرد. این حس‌گرها می‌توانند به صورت مستقیم در سدها، رودخانه‌ها و سایر سازه‌های آبی نصب شوند تا در مورد حجم و سرعت جریان آب، اطلاعات جمع‌آوری کنند. این اطلاعات سپس می‌تواند به مدیریت بحران و دیگر مسئولان مربوطه ارسال گردد تا بتوانند برنامه‌ریزی مناسبی برای کنترل سیلاب و پیش‌بینی خسارت انجام دهند. به طور کلی، استفاده از داده‌های جدید و پیشرفت تکنولوژی، باعث می‌شود که مدیریت سیل با سرعت، دقت، بهره‌وری و قطعیت بیشتری انجام شود و خسارت‌های ناشی از سیل به حداقل کاهش یابد. عوامل مختلفی چون باران شدید، ذوب سریع برف، طوفان‌های گرمسیری، سونامی، رانش زمین، شکست سد و ... باعث ایجاد سیلاب می‌گردند و این علل می‌توانند با عوامل فیزیومورفولوژیکی مختلف ترکیب شوند که منجر به انواع سیل گردد، این علل و عوامل اغلب به هم مرتبط هستند و در طول زمان در پاسخ به تغییرات آب و هوا، شهرنشینی و سایر عوامل تغییر می‌کنند (Sofia و Nikolopoulos، ۲۰۲۰). ولی عوامل دیگری مانند رفتار غیرمستولانه، مانع پیشگیری و مدیریت درست بحران می‌شود. در نهایت، نباید فراموش کرد که فقدان مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب برای مقابله با بحران و پیشگیری از بروز سیل نیز ممکن است سبب شدیدتر شدن این حوادث گردد. گرمایش جهانی و تغییر کاربری زمین منجر به تسریع چرخه هیدرولوژیکی و در نتیجه افزایش فراوانی، مدت و شدت طوفان و همچنین تغییر در الگوهای فصلی بارش شده است (Fowler و همکاران، ۲۰۲۱؛ Singh و همکاران، ۲۰۲۰). شواهد نشان می‌دهد که تغییرات آب و هوا و پوشش زمین، محرک‌های هیدرولوژیکی سیل را در مقیاس محلی و جهانی تغییر می‌دهد. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که تغییرات آب و هوایی احتمالاً ریسک سیل را در نقاط مختلف جهان تشدید می‌کند. روند مرتبط با افزایش جمعیت، شهرنشینی و وقوع بارندگی‌های شدید می‌تواند سیل شهری را تشدید کند (Merz و همکاران، ۲۰۲۱؛ Konapala

و همکاران، ۲۰۲۰). اثر درهم آمیخته شهرنشینی سریع جهانی، تغییرات آب و هوایی، توپوگرافی محلی و فقدان زیرساخت‌های زهکشی کافی، سیل شهری را چالش برانگیزتر می‌کند. اگرچه نمی‌توان از سیل جلوگیری کرد، اما دشت‌های سیلابی و مناطق مستعد سیل را می‌توان برای کاهش خسارت‌های جانی و مالی مدیریت نمود. مدیریت ریسک سیل را می‌توان با درک بهتر عوامل بروز سیل، با توسعه مدل‌سازی و پایش سیل همچون (پیش‌بینی، تجزیه و تحلیل، مدل‌سازی سیل شهری و کاربردهای سنجش از دور)، یکپارچه سازی اطلاعات آب و هوا در طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های زیرساخت مدنی و توسعه راه‌حل‌های نهایی برای جوامع، ایجاد نمود. برای نمونه، روش یادگیری ماشین، رویکردهای ترکیبی و پیش‌بینی کوتاه‌مدت و میان‌مدت، برای پیش‌بینی سیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک سیستم کارآمد پیش‌بینی سیل باید زمان کافی را برای ذی‌نفعان فراهم کند تا اقدامات مناسب برای به حداقل رساندن تلفات جانی و اثرات اجتماعی-اقتصادی صورت گیرد. برای این منظور، مدل‌های پیش‌بینی سیل می‌توانند از یک مدل آماری ساده تا مدل‌های فیزیکی دقیق، متفاوت باشند. ذکر این نکته ضروری است که هر مدلی مزایا و معایب خاص خود را دارد. رویکرد مدل‌سازی یادگیری ماشین مبتنی بر داده و مبتنی بر هوش مصنوعی، می‌تواند جایگزین قدرتمندی برای توسعه مدل پیش‌بینی سیل باشد. چنین مدل‌هایی در درجه اول به داده‌های تاریخی وابسته هستند و عموماً فرآیندهای دینامیکی غیرخطی را فرض نمی‌کنند. الگوریتم‌های رایج یادگیری ماشین را می‌توان در منابع علمی مشاهده نمود (Han و Coulibaly، ۲۰۱۷؛ Tian و همکاران، ۲۰۱۹).

- رویکرد غیرسازه‌ای

مدیریت ریسک سیل (FRM)^۲ با هدف شناسایی خطرات سیل، اثرات بالقوه آن و توسعه راهبردها آغاز می‌گردد. پیش‌بینی می‌شود که در آینده به دلیل اثرات ترکیبی تداوم تغییرات آب و هوایی و تشدید استفاده از زمین، سیل‌های عظیمی به وقوع بپیوندند. در حالی که ابزارهای علوم فیزیکی می‌توانند به ما در پیش‌بینی و مدل‌سازی سیلاب کمک کنند، اما به دلیل وجود عوامل اجتماعی-اقتصادی، سیاسی، فرهنگی و محیط‌زیستی در تصمیمات مدیریت ریسک سیلاب، ضروری است که ابزارهای علوم اجتماعی نیز در بهبود تاب‌آوری در برابر سیلاب مشارکت داشته باشند. در واقع، برای بهبود توانایی مدیریت ریسک سیلاب، نیاز به توسعه فناوری‌های علمی و بهبود درک اجتماعی-اقتصادی و مشارکتی است. بدون ارائه اطلاعات کافی به جامعه، افراد نمی‌توانند در مقابل خطرات سیلاب اقدام به تدابیر مناسبی نمایند. از این رو، بهینه‌سازی مدیریت ریسک سیلاب به تلاش برای بهبود توانایی مدیریت ریسک و کاهش آسیب جامعه در مواجهه با خطرات سیلاب کمک می‌کند. همچنین،

توسعه فناوری‌های علوم اجتماعی می‌تواند به جامعه کمک کند تا درک بهتری در مورد خطرات سیلاب پیدا نمایند. آموزش، افزایش آگاهی، طراحی سیستم‌های هشدار سیلاب، پیشگیری، اقدامات آمادگی، تسهیلات و تجهیزات لازم، شناسایی و مدیریت منابع طبیعی و محیط‌زیست، و برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران سیلاب می‌توانند بهبود را به دنبال داشته باشند (Klijn و همکاران، ۲۰۲۱). نگرش همه‌سویه و ارتقای مدیریت ریسک سیلاب مبتنی بر تاب‌آوری، می‌تواند جامعه را در برابر ریسک سیلاب مقاوم‌پذیرتر کند. در مدیریت ریسک سیلاب، نگرش همه‌سویه به مفهوم این است که تمامی ارکان جامعه، به ویژه دولت، نهادهای مرتبط با مدیریت بحران، عموم مردم، واحدهای تولیدی و صنعتی و سایر نهادهای ذی‌ربط باید به صورت هماهنگ، در جهت مدیریت و کاهش ریسک سیلاب تلاش کنند. در واقع، شناخت و آگاهی مردم، تهیه و آماده‌سازی پلان‌های اضطراری و هماهنگی میان نهادها و سازمان‌ها، از جمله عوامل موثر در ارتقای نگرش همه‌سویه در جامعه برای مقابله با سیلاب هستند. با توجه به تغییرات اقلیمی و آسیب‌های بالقوه آن بر شدت و حجم سیلاب‌ها، تاب‌آوری به عنوان یک استراتژی کاهش ریسک سیلاب بسیار مهم است. برای این منظور، فرآیندهای مهمی مانند کاهش آسیب‌های ناشی از سیلاب، تخصیص مسئولیت‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی مدیریت بحران، به کارگیری فنون، تکنولوژی‌های نوین، ارتقای آموزش و آگاهی‌بخشی به جامعه و مدیران محلی، از جمله راهکارهای موثر در تقویت تاب‌آوری جامعه در برابر ریسک سیلاب هستند. استفاده از رویکرد تاب‌آوری در مدیریت و حکمرانی ریسک سیلاب می‌تواند منجر به افزایش آگاهی جامعه در برابر سیلاب شود (Yang و همکاران، ۲۰۲۲). توجه و همکاری ذی‌نفعان، اثربخشی سیاست‌های مدیریت سیلاب، عملکرد ساختارهای نهادی مدیریت سیلاب، ابزارهایی برای تهیه برنامه‌های پیش‌بینی سیلاب و چارچوب‌هایی برای سازماندهی مؤسسات و حمایت از اجرای مدیریت ریسک سیلاب بوده‌اند. با این حال، هنوز راه‌های زیادی برای بهبود مدیریت و حکمرانی ریسک سیلاب و تقویت تاب‌آوری در برابر سیلاب وجود دارد و بیشتر نیاز به افزایش همکاری میان ذی‌نفعان، استفاده از روش‌های جدید، پیشرفته و ایجاد شفافیت و پاسخگویی در فرآیندهای این حوزه است (Morrison و همکاران، ۲۰۱۸). بررسی وضعیت حکمرانی ریسک سیل در ایران، بیانگر عدم توجه و اهمیت به رودخانه در شهرسازی و طراحی زیرساخت‌ها، فقدان انجام صحیح و به موقع مسئولیت‌های نهادی، تداخل ساختارهای مدیریتی در شرایط بحران، عدم استفاده کارآمد از منابع موجود و تأکید بر مدیریت دولت‌محور سیل می‌باشد. ابزارهای غیرسازه‌ای همچون بیمه سیلاب و شفافیت و سهولت دسترسی مردم و ذی‌نفعان به اطلاعات ریسک سیلاب، می‌تواند در آینده روزهای روشنی را برای کشور تداعی کند.

Aerts, J. C., Bates, P., ... & Macdonald, E. (2021). Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(9), 592-609.

Mishra, A., Mukherjee, S., Merz, B., Singh, V. P., Wright, D. B., Villarini, G., ... & Stedinger, J. R. (2022). An overview of flood concepts, challenges, and future directions. *Journal of hydrologic engineering*, 27(6), 03122001.

Morrison, A., Westbrook, C. J., & Noble, B. F. (2018). A review of the flood risk management governance and resilience literature. *Journal of Flood Risk Management*, 11(3), 291-304.

Singh, J., Karmakar, S., PaiMazumder, D., Ghosh, S., & Niyogi, D. (2020). Urbanization alters rainfall extremes over the contiguous United States. *Environmental Research Letters*, 15(7), 074033.

Sofia, G., & Nikolopoulos, E. I. (2020). Floods and rivers: A circular causality perspective. *Scientific reports*, 10(1), 5175.

Tian, J., Liu, J., Yan, D., Ding, L., & Li, C. (2019). Ensemble flood forecasting based on a coupled atmospheric-hydrological modeling system with data assimilation. *Atmospheric Research*, 224, 127-137.

Vu, T. M., & Mishra, A. K. (2019). Nonstationary frequency analysis of the recent extreme precipitation events in the United States. *Journal of Hydrology*, 575, 999-1010.

Yang, F., Xiong, S., Ou, J., Zhao, Z., & Lei, T. (2022). Human Settlement Resilience Zoning and Optimizing Strategies for River-Network Cities under Flood Risk Management Objectives: Taking Yueyang City as an Example. *Sustainability*, 14(15), 9595.

1-Flood Risk Governance

2-Internet of Things

3-Flood Risk Management

Dottori, F., Szewczyk, W., Ciscar, J. C., Zhao, F., Alfieri, L., Hirabayashi, Y., ... & Feyen, L. (2018). Increased human and economic losses from river flooding with anthropogenic warming. *Nature Climate Change*, 8(9), 781-786.

Fowler, H. J., Lenderink, G., Prein, A. F., Westra, S., Allan, R. P., Ban, N., ... & Zhang, X. (2021). Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(2), 107-122.

Han, S., & Coulibaly, P. (2017). Bayesian flood forecasting methods: A review. *Journal of Hydrology*, 551, 340-351.

Klijn, F., Marchand, M., Meijer, K., van der Most, H., & Stuparu, D. (2021). Tailored flood risk management: Accounting for socio-economic and cultural differences when designing strategies. *Water Security*, 12, 100084.

Konapala, G., Mishra, A. K., Wada, Y., & Mann, M. E. (2020). Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. *Nature communications*, 11(1), 3044.

Merz, B., Blöschl, G., Vorogushyn, S., Dottori, F.,

حکمرانی سیل در آینه نگاه مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز



وقایع فرینی مانند سیلاب‌ها، از برهم خوردن تعادل بین فرساینده‌گری باران و فرسایش‌پذیری خاک شکل می‌گیرند که این دو عامل بین عوامل، روابط و رفتارهای متأثر از تغییر اقلیم، الگوهای متفاوتی را تجربه می‌کنند. ارزیابی و پایش این تعادل با برآورد میزان سلامت حوزه‌های آبخیز و امنیت بوم‌سازگان، به عنوان گامی مهم برای حفاظت اکولوژیکی، ضمن ارائه هشدارهای اولیه تخریب منابع طبیعی، می‌تواند علت و ریشه مشکلات موجود برای شکل‌گیری رخدادهای فرین اقلیمی مانند سیل و خشکسالی را هم‌شناسایی نماید. به کمک ارزیابی اکولوژیکی بوم‌سازگان، درک ما از وضعیت گذشته، حال و آینده سیمای سرزمین در مقابله با پیش‌ران‌ها و تهدیدهای تغییر اقلیم و یا حکمرانی نامطلوب انسانی، افزایش می‌یابد. با توجه به اندرکنش مولفه‌های تنوع زیستی حوزه‌های آبخیز در امنیت بوم‌سازگان و ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، اکولوژیکی، اقلیمی، ژئومورفولوژیکی، خاکشناسی و هیدرولوژیکی برای هر مخاطره محیطی مانند سیل، خشکسالی، فرونشست و لغزش، بدیهی است نگرش تک‌بعدی و بخشی‌نگری برای غلبه بر پیامدهای آن نمی‌تواند کارآمد و موثر باشد. در چنین شرایطی لزوم جامع‌نگری و حکمرانی جامع، یکپارچه و سیستمی در حکمرانی مطلوب سرزمین، اتخاذ بهترین تصمیم‌ها، قانون‌گذاری‌ها و سناریوهای مختلف مدیریتی برای کنترل رواناب و سیل ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

از میان راهبردهای تک‌بعدی و بخشی‌نگر مدیریت مخاطرات محیطی به ویژه در حکمرانی آب در سال‌های اخیر (راهبرد پیشگیری، راهبرد دفاعی، راهبرد کاهشی، راهبرد آمادگی و راهبرد دفاعی) در نگاه مدرن، به راهبردهای چند بعدی و هم‌افزا و هم‌سو که به ارتقای تاب‌آوری بوم‌سازگان در حوزه‌های آبخیز می‌انجامد، می‌توان توجه جدی‌تری داشت.

حکمرانی موفق مخاطراتی نظیر سیل و فرسایش، ریشه در شناخت علت و تعریف مسأله، ارزیابی، انتخاب راه حل‌ها، اجرای پروژه‌ها، پایش مداوم و نظارت بر اقدامات و تجارب گذشته و پیش‌بینی نقش کنشگران و بازیگران کلیدی در برنامه دارد. برنامه‌های هم‌افزا و یکپارچه که راهبردهای آن در چهارچوب‌های اسناد بالادستی، قوانین، عرف و فرهنگ‌ها، سیاست‌ها و تصمیمات ملی و منطقه‌ای، برای کاهش خطرات، به اجماع نسبی و ادبیات مشترک بین تصمیم‌گیران، مدیران و مردم رسیده باشند. سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری به عنوان یکی از نهادها و

دستگاه‌های تصمیم‌گیر برای مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز کشور و برای دستیابی به حکمرانی مطلوب رواناب‌ها، دست کم در برنامه‌ها و پروژه‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری، تغییرات نرم و هوشمندانه‌ای را در رفتار، ساختار، فرآیند و برنامه‌های خود با هدف غلبه قوت‌ها بر ضعف‌ها و برتری فرصت‌ها بر تهدیدها در نظر گرفته است. این سازمان در شرایط گذار از روش‌های سنتی و کلاسیک به روش‌های جدید و رویکردهای نوین مأموریت گراست. رویکردهایی برگرفته از دیدگاه‌ها و استراتژی‌های حاکمیتی، شناسایی کنشگران و نقش‌آفرینان کلیدی، تکمیل و ترمیم قوانین و سامانه‌های مورد نیاز و نیز تلفیق رویکردهای بالا به پایین و پایین به بالا، مشارکتی و سازگار که در اقلیم در حال تغییر کشور، نیازمند تدوین است.

الف. شناسایی آسیب‌های کلیدی

حکمرانی سیلاب‌ها از طریق توسعه آبخیزداری و آبخوان‌داری در کشور و ذخیره‌سازی بارش‌ها و نفوذ باران به زمین و در راستای مدیریت رواناب در سیل‌ها، کاهش تبخیر آب، تقویت آبدهی چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات و جلوگیری از تشدید فرونشست زمین به ویژه در سال‌های پر بارش مانند مانسون‌های تابستان و وقوع الینو در پاییز و زمستان تحقق می‌یابد که خود نیازمند شناخت آسیب‌ها و استفاده از فرصت‌هاست.

• مساحت حوزه‌های آبخیز کشور که در قلمرو فرسایش آبی قرار گرفته و نیازمند فعالیت‌های آبخیزداری هستند، معادل ۱۲۵ میلیون هکتار است که ۴۲ میلیون هکتار از آن شامل حوزه‌های آبخیز سدها و ۸۳ میلیون هکتار آن در حوزه‌های فاقد سد هستند.

۲۸ درصد سطح کشور در معرض سیل‌های شدید و طغیانی و الباقی در درجات مختلفی از سیل‌خیزی قرار دارند، تعداد ۷۳۲۲ مورد رخدادهای سیل بزرگ و کوچک از ابتدای دهه ۳۰ تاکنون در کشور ثبت شده است، که بیش از ۱۶۰۰ سیل در دهه اخیر در کشور رخ داده است، و تعداد ۶۵۰ شهر و ۸۶۵۰ روستا در معرض تهدید سیل قرار دارند.

از سوی دیگر خشکسالی و کم‌آبی مناطق وسیعی از کشور ما را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش تعداد آبخوان‌های ممنوعه و بحرانی در کشور به ۴۱۰ دشت و بیلان منفی و کسری ۱۴۰ میلیارد مترمکعب در آبخوان‌های کشور وضعیت نگران‌کننده‌ای را به وجود آورده است. بیش از ۵۰ درصد دشت‌های کشور با فرونشست مواجه‌اند. نرخ فرونشست از ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر در اکثر دشت‌های مهم کشور پایش شده است. ادامه این روند تعادل اکولوژیک حوزه‌های آبخیز کشور را تهدید و حیات طبیعی و تنوع زیستی در این مناطق را به ویژه با افزایش گرما و تغییرات اقلیمی با چالش جدی روبرو ساخته است. به این ترتیب علاوه بر مدیریت مصرف آب در بخش‌های مختلف به ویژه کشاورزی و صنعت، استفاده از سیلاب‌ها برای کاهش کسری حجم آب آبخوان‌ها، موضوعی مهم و ارزشمند است.

به طور کلی حوزه‌های آبخیز دارای مطالعات تفصیلی - اجرایی در کشور، ۴۱ میلیون هکتار می‌باشد که تاکنون ۲۶ درصد حوزه‌های آبخیز کشور تحت پوشش طرح‌های آبخیزداری و آبخوانداری قرار گرفته اند. اجرای عملیات آبخیزداری در برنامه ششم توسعه با پیش‌بینی ۱۰ میلیون هکتار بوده که ۶۳ درصد آن محقق شده است. در حال حاضر سطح مطالعه آماده اجرا حدود ۲۰ میلیون هکتار می‌باشد که در دست برنامه‌ریزی برای اجرای اقدامات مکانیکی، بیومکانیکی، بیولوژیکی و مدیریتی تحت چتر سند راهبردی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کشور برای کنترل سیلاب و رواناب‌ها در سال‌های ابتدایی برنامه هفتم توسعه است.

از دیگر آسیب‌ها، نقاط ضعف و تهدیدهای موجود در مدیریت پایدار منابع طبیعی و آبخیزداری کشور به ویژه در مواجهه با مخاطراتی نظیر سیلاب‌ها، می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- ضعف در تبیین نقشه راه شفاف برای تحقق اهداف کمی برنامه‌های ملحوظ در اسناد بالادستی کشور

- ضعف در توسعه شبکه اطلاعات و پایگاه داده هوشمند، جامع و موثر و کمبود تخصیص اعتبارات ملی مأموریت‌گرا برای تبیین، ترسیم یا به‌روزرسانی نقشه‌های مورد نیاز برای معیارها و شاخص‌های سلامت حوزه‌های آبخیز و امنیت بوم‌سازگان و نیز فقدان رویکرد مأموریت‌گرا در انتقال داده‌ها و اطلاعات

- عدم هماهنگی و هم‌سویی مناسب در سطوح مختلف تصمیم‌گیری برای حکمرانی مخاطرات محیطی و یا تصمیم‌گیری برای ارتقای سلامت حوزه‌های آبخیز.

- فقدان رویکرد مأموریت‌گرا و پایدار ملی در برنامه‌های پایش و ارزیابی سیلاب‌ها، سلامت آب، سلامت خاک و سلامت حوزه‌های آبخیز و امنیت بوم‌سازگان

- عدم تبیین مطلوب حکمرانی مخاطرات محیطی مانند سیلاب و تصویب قوانین و سازماندهی تشکیلات بر پایه عوامل، رفتارها و روابط بین قلمرو اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و اکولوژیکی بوم‌سازگان

- ضعف در ارزیابی اثرات بهره‌برداری و بررسی نظام بهره‌برداری فعلی و تحلیل استراتژیک و آینده‌نگری از منابع حوزه‌های آبخیز

- ضعف در بررسی اثربخشی دقیق اقدامات آبخیزداری و آبخوانداری و مدیریت جامع و یکپارچه حوزه‌های آبخیز در کشور

- عدم ارزش‌گذاری خدمات بازاری و غیر بازاری اکوسیستم‌ها و محاسبه اثر فرسایش بادی و آبی ناشی از مخاطراتی نظیر سیلاب در معادلات و حسابهای ملی که می‌تواند مدیران و آبخیزنشینان را برای مواجهه با تخریب زمین و پوشش گیاهی پاسخگو نماید.

ب. اقدامات و سیاست‌های مهم برای مواجهه با چالش‌هایی مانند سیل برای تحقق مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

تحلیل شبکه و شناسایی دقیق و صحیح دست‌اندرکاران یا ذی‌نفعان،

توان‌افزایی جوامع محلی در جهت مشارکت فعال جامعه محلی با استفاده از رویکردهای تسهیلگری اجتماعی، ایجاد بانک اطلاعات مکانی، استقرار نظام پایش و ارزیابی مداوم و هدف‌گرا، طراحی و توسعه سامانه تصمیم‌یار مکانیر (DSS) و داشبورد ارزیابی سلامت و مدیریت حوزه‌های آبخیز، تغییر برنامه‌های آموزشی از رویکرد حکمرانی اکولوژیک محور به مدیریت نظام اجتماعی - اکولوژیک محور، توجه به تدوین نقشه فرصت‌های کسب و کار طبیعت‌محور در کل کشور و مشاغل سبز با توجه به حسابداری کرین و حسابداری آب و آبخیز، همگی در حکمرانی پایدار سیلاب‌ها موثرند.

طبق برنامه آبخیزداری کشور، طرح عملیات آبخیزداری و آبخوانداری برای مدیریت مخاطراتی مانند سیلاب‌ها ذیل توجه به موارد فوق‌الذکر، در سطح ۹۰ میلیون هکتار، با اعتباری معادل ۷۳۹ هزار میلیارد تومان (همت) طی ۱۰ سال کامل خواهد شد. برای برنامه هفتم ۴۰ میلیون هکتار با اعتباری معادل ۱۸۲ همت و برنامه هشتم ۵۰ میلیون هکتار معادل ۵۵۷ همت برنامه‌ریزی با برش استانی و سالانه ارائه شده است. ارزش اقتصادی بازاری اجرای عملیات آبخیزداری و آبخوانداری حاصل از پنج فاکتور کنترل فرسایش، مدیریت رسوب، استحصال آب، کاهش خسارت سیل و افزایش تولید علوفه به میزان ۳۴۹۳ همت معادل ۴/۷ برابر مجموع هزینه مطالعه و اجرای طرح آبخیزداری و آبخوانداری می‌باشد.

تمرکز بر حوزه‌های سیل‌خیز و بحرانی (۲۸ میلیون هکتار)، حوزه‌های مرزی و ساحلی (به مساحت ۲۵ میلیون هکتار)، حوزه‌های مشرف بر کانون‌های جمعیتی، حوزه‌های بالادست نظام‌های کشاورزی و باغات سنتی جیاس (GIAS) (مانند انگور و کشمش ملایر، انجیر استهبانات، باغات قزوین، زعفران قائنات و...) و حوزه‌های بالادست قنات، از مهم‌ترین اولویت‌های مدیریت جامع آبخیزهای کشور در این برنامه ۱۰ ساله است. از مجموع بیش از ۴۰ هزار رشته قنات کشور، تاکنون تنها در بالادست حدود ۱۰ هزار رشته قنات، اقدامات آبخیزداری و آبخوانداری با طرح «آبخیز تا جالیز» انجام گرفته است که نتیجه آن، افزایش آبدی متوسط ۱/۵ تا ۳ برابری قنات‌های تحت پوشش آبخیزداری بوده است. لذا جهت احیاء حداقل ۳۰۰۰۰ رشته قنات به مساحت حوزه آبخیز ۱۴ میلیون هکتار، ضرورت در برنامه‌ریزی وجود دارد.

از سوی دیگر تمرکز بر پخش سیلاب در برنامه‌های هفتم و هشتم توسعه، می‌تواند با رویکرد نفوذ رواناب ضمن مدیریت سیلاب‌ها، از تبخیر فراوان آب‌های سطحی هم جلوگیری نماید. وجود ۶۳ میلیون هکتار اراضی کاملاً نفوذپذیر در کشور، که ۲۲ میلیون هکتار آن، نهشته‌های کواترن هستند و ۹ میلیون هکتار آن را مخروط‌های افکنه‌ها با آبرفت‌های درشت دانه تشکیل داده‌اند، ظرفیت مناسبی برای این برنامه‌ریزی محسوب می‌شوند. در هر صورت تاکنون ۱۴/۵ میلیون هکتار عرصه‌های مستعد پخش سیلاب در سطح حوزه‌های آبخیز کشور شناسایی شده است که در مدیریت جامع حوزه‌های

آبخیز برای کنترل سیلاب مورد توجه خواهد بود.

به هر صورت مشارکت از تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری تا اقدام و نظارت و پایش در این برنامه، نیازمند آگاهی‌بخشی به ذی‌نفعان و استفاده از ظرفیت تشکلهای و تعاونی‌های منابع طبیعی و آبخیزداری دارد. استفاده از ظرفیت بند ب ماده ۲۹ قانون احکام دائمی کشور برای حمایت از تشکلهای و تعاونی‌های منابع طبیعی و آبخیزداری که امروزه ۱۲۰۰ مورد از آنها با قوانین وزارت تعاون و رفاه اجتماعی و ۲۷۶ مورد با قوانین سازمان تعاون روستایی ایران تا سال ۱۴۰۱ تأسیس شده‌اند، می‌تواند گام موثرتری برای مشارکت ذی‌نفعان و ذی‌حقان در پروژه‌های آبخیزداری و آبخیزداری باشد. فرای برنامه‌های آبخیزداری برای کنترل سیلاب‌ها، توجه به کنترل کانون‌های ریزگرد کشور و بیابان‌زدایی و نیز تلاش برای مدیریت مراتع از طریق طرح‌های مرتع‌داری و استفاده از ظرفیت سامانه‌ای عرفی هم در همین راستا و مدیریت رواناب‌ها قابل تعریف است. همچنین صیانت از جنگل‌های قدیمی و تنوع زیستی در رویشگاه‌های کشور و نیز اجرای هوشمندانه طرح کاشت مردمی یک میلیارد درخت، زیر چتر تفکر جامع و نگاه یکپارچه حکمرانی سرزمین در حوزه‌های آبخیز است. لذا خلاصه اقدامات آینده را می‌توان در طرح‌های کلان ذیل در مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز برای حکمرانی مخاطراتی نظیر سیلاب‌ها در کشور دانست.

- طرح تحول احیا و توسعه پوشش گیاهی و تولید علوفه در مراتع در سطح ۵۰ میلیون هکتار
- طرح مقابله با بیابان‌زایی و کنترل کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در سطح ۸ میلیون هکتار
- طرح کاشت مردمی یک میلیارد درخت در چهار سال

- طرح صیانت از جنگل‌ها برای حفظ تنوع ژنتیکی کشور

- طرح حفاظت فیزیکی و بیولوژیکی از عرصه‌های ملی

- طرح سامانه پنجره واحد مدیریت زمین

- طرح جبران عقب‌ماندگی اجرای طرح‌های آبخیزداری و آبخیزداری در کشور از ۲۶ درصد به ۱۰۰ درصد با رعایت و تأکید بر موارد ذیل:

- رعایت تناسب در اجرای پروژه‌های سدسازی، آبخیزداری و آبخیزداری مطابق سیاست‌های کلی نظام در کشور به مساحت ۴۲ میلیون هکتار

- تخصیص کامل درآمدهای سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور جهت اجرای برنامه‌های طرح احیاء سرزمین

- ضرورت مشارکت، انسجام‌بخشی و هماهنگی دستگاه‌های اجرایی با مشارکت مردم برای مدیریت جامع حوزه آبخیز با محوریت استانداران در قالب طرح مدیریت جامع حوزه آبخیز کشور

- تدوین قوانین، مقررات و شیوه‌نامه اجرایی جهت مشارکت مردم در منافع حوزه آبخیز کشور با همکاری دستگاه‌های اجرایی (طرح مردمی‌سازی منابع طبیعی)

- استفاده از ظرفیت «مرکز بین‌المللی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و منابع زیستی در مناطق خشک و نیمه‌خشک» تحت نظارت یونسکو برای تولید علم، تبادل دانش و اطلاعات و تجارب بین‌المللی و دانش بومی، تبیین دستورالعمل‌ها و فرآیندهای مدیریت جامع مشتمل بر گام‌های تحلیل سیستم و شناسایی ساختار مشکلات، ارائه مدل مفهومی، ارائه و توسعه راه‌حل‌ها، مدل‌سازی برای انتخاب راه‌حل‌ها، اجرای راه‌حل‌ها و پایش و ارزش‌یابی دستاوردها در سطح ملی، استان‌ها و جوامع محلی با مشارکت وزارت جهاد کشاورزی، وزارت کشور، وزارت نیرو و سازمان حفاظت از محیط زیست.

یادداشت کوتاه

حکمرانی ریسک سیل



طبیعی گرگان
علی نجفی‌نژاد / استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع

سیل همه ساله در نقاط مختلف دنیا خسارت‌های مالی و جانی فراوانی ایجاد می‌کند. در کشور ما نیز این مخاطره همه ساله خسارت‌های زیادی برجا می‌گذارد. در مورد کاهش وقوع این مخاطره و کاستن از آسیب‌های وارده در ۵۰ سال اخیر تلاش‌های زیادی صورت گرفته است. علی‌رغم همه این تلاش‌ها، خسارت‌ها و آسیب‌ها همچنان رو به افزایش است. در مورد چرایی این مسأله عده‌ای موضوع حکمرانی را مطرح می‌کنند و اعتقاد دارند که موضوع به ضعف حکمرانی سیل برمی‌گردد. در این یادداشت کوتاه

بطور اجمالی به حکمرانی سیل و الزامات آن پرداخته خواهد شد. حکمرانی یک مفهوم بحث برانگیز است، اما اتفاق نظر وجود دارد که حکمرانی در دستیابی به یک هدف جمعی، بیشتر نمایان می‌شود. بحث‌های نظری در مورد شیوه‌های مختلف حکمرانی وجود دارد که به نقش بازیگران مختلف از قبیل بخش دولتی، خصوصی و شهروندان عادی، نحوه توزیع قدرت و ساختارهای نهادی، مرتبط است. برخی حکمرانی را گذار از تصمیم‌گیری سنتی توسط دولت، و از بالا به پایین، به سمت شبکه پیچیده بازیگران و فرآیندهای غیرسلسله‌مراتبی می‌دانند.

حکمرانی بطور کلی دارای ویژگی‌هایی است که عبارتند از شفافیت، تصمیم‌گیری فراگیر و مشارکتی، پاسخگویی، عدالت، و پذیرش اجتماعی. این ویژگی‌ها در حکمرانی ریسک سیل نیز قابل تعمیم است. با توجه به چالش‌های فزاینده ناشی از ریسک سیل، نیاز مبرمی به حکمرانی بهتر ریسک سیل برای افزایش تاب‌آوری وجود دارد. در حکمرانی خوب مواردی که باید مورد توجه قرار گیرند، عبارتند از: نقش‌ها و

مسئولیت‌ها، هماهنگی بین بخشی، داده‌ها و اطلاعات، تأمین مالی، صداقت و شفافیت، مشارکت ذی‌نفعان، پایش و ارزشیابی.

مدیریت مخاطرات طبیعی از جمله سیل یک مشکل پیچیده حکمرانی است. مدیریت مخاطرات طبیعی مستلزم اقدام در همه مقیاس‌ها - از سطح محلی تا سطح ملی - است. ایجاد هماهنگی بین بخش‌های مختلف اعم از دولتی و خصوصی، یک چالش کلیدی است. اگرچه دولت‌ها از اختیار و مشروعیت قانونی برای کاهش ریسک خطرات طبیعی برخوردارند، ولی سایر بازیگران غیردولتی از جمله جوامع محلی و شهروندان نیز دانش و منابع زیادی در اختیار دارند. این وابستگی متقابل، نیاز به همکاری گسترده دارد و ایجاد هماهنگی برای مدیریت ریسک سیل و کاهش خسارت‌های آن در شرایط وجود شکاف‌های گسترده بین سازمان‌ها و پراکندگی مسئولیت‌ها، چالش بزرگی است که به راهبری ماهرانه نیاز دارد. کاهش ریسک سیل نیازمند یک استراتژی یکپارچه در همه مراحل است که یک چالش حکمرانی مهم می‌باشد. در مدیریت ریسک سیل، مشارکت ذی‌نفعان، ایجاد هماهنگی در اقدامات بخش‌های عمومی و خصوصی و به کارگیری ابزارهای مختلف سیاستی، می‌تواند تاب‌آوری اجتماعی را تقویت کند، کارایی بیشتری فراهم کرده و مشروعیت تصمیم‌گیری‌ها و اقدامات کاهش خطر سیل را افزایش دهد.

حکمرانی ریسک سیل شکل خاصی از حکمرانی ریسک است و به ماهیت و اصول و مبانی حکمرانی مربوط به زمینه ریسک موردنظر و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با ریسک، مربوط می‌شود. حکمرانی مستلزم در نظر گرفتن شبکه پیچیده بازیگران، قوانین، قراردادهای فرآیندها و سازوکارهای مربوط به نحوه جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل و انتقال اطلاعات مربوط به ریسک و نحوه تصمیم‌گیری است. حکمرانی ریسک سیل به شبکه بازیگران، قوانین، منابع، گفت‌وگوها و سازوکارهای هماهنگی چند سطحی اطلاق می‌شود که از طریق آنها، ریسک سیل مدیریت می‌شود.

اغلب مجامع علمی تأیید کرده‌اند که سیل فقط با راه‌حل‌های مهندسی قابل کنترل نیست، زیرا روش‌های کنترل مهندسی، حفاظت کامل ایجاد نمی‌کند و از نظر اقتصادی پرهزینه بوده و در درازمدت پایدار نیستند. بنابراین، در حکمرانی ریسک سیل باید از افزایش ظرفیت و توانایی بازیابی جوامع حمایت شود. تنوع در اقدامات مداخله و مدیریت، باعث می‌شود تا مشکل در مقیاس‌های چندگانه از یک قطعه زمین زراعی تا سطح آبخیز، مدیریت شود. در این حالت هم افراد و صاحبان زمین و هم سازمان‌های منطقه‌ای و ملی، نقش خود را ایفا خواهند کرد.

مخاطره سیل با عدم قطعیت و پیچیدگی زیاد، تعدد بازیگران و تنوع نظرات و دیدگاه‌های گاه متناقض همراه است. مدیریت مناسب این شرایط مستلزم بکارگیری اصول حکمرانی سیل مناسب و انعطاف‌پذیر در همه سطوح، ملی، منطقه‌ای و محلی است. حکمرانی مؤثر، کارآمد و فراگیر مدیریت سیل در طیف گسترده‌ای از اقدامات شامل

پیش‌بینی، پیشگیری/کاهش و آمادگی و پاسخ و بازیابی، تحقق می‌یابد. مدیریت سیل، مسئولیت مشترک همه ذی‌نفعان است، بسته به اقدامات مورد نیاز، و طیف گسترده ذی‌نفعان، یک چارچوب حکمرانی چند سطحی برای به حداقل رساندن پراکندگی، پیچیدگی و همپوشانی‌ها مورد نیاز است. نیاز به همکاری در سطوح مختلف، برای سیاست‌گذاری، تبادل اطلاعات، نظارت، ارزشیابی، تنظیم مقررات و تأمین منابع مورد نیاز وجود دارد.

گزارش ملی سیلاب‌ها (۱۳۹۹) حکمرانی سیل را دارای چهار بعد می‌داند: «کنشگران، گفت‌وگوها، قواعد و منابع. کنشگران متخصص و توانمند باید مسئولیت خود را پذیرا باشند و برای اجرای این راهبردها با یکدیگر همکاری کنند؛ راهبردها باید در گفت‌وگو حاکم بر ذهنیت و کنش کنشگران و سازمان‌های مرتبط با آنها حاکم شود؛ قواعد رسمی و غیررسمی ذهنیت‌ها و فرهنگ‌های سازمانی، پارادایم‌های فکری از اجرای این راهبردها حمایت کنند؛ و کنشگران از قدرت و منابع لازم - در سطح فردی و سازمان‌ها - برای اجرای راهبردها برخوردار باشند.»

یکی از اصول مهم حکمرانی ریسک سیل مشارکت ذی‌نفعان است که در حال حاضر در کشور ما ذی‌نفعان کلیدی از جمله صاحبان اراضی در مدیریت رواناب و سیل، نقشی ندارند. به عنوان مثال در استان گلستان، با توجه به نقش اراضی زراعی شیب‌دار در تولید رواناب و سیل در مناطق بالادست گرگان‌رود و علی‌رغم مصوبات متعدد، برنامه‌ای برای مدیریت این اراضی مشاهده نمی‌شود.

مشارکت ذی‌نفعان می‌تواند موجب اعتمادسازی شود، آگاهی در مورد خطرات را افزایش دهد، تضادهای مدیریت کند و به تعیین اهداف همگرا در سیاست‌گذاری کمک کند. بنابراین لازم است همه کسانی که در مدیریت سیل مشارکت دارند یا احتمالاً تحت تأثیر تصمیمات مدیریت سیل قرار می‌گیرند، مشارکت مؤثر داشته باشند. برای مدیریت بهتر ریسک سیل باید به مشارکت همه بازیگران اصلی و مهم، توجه بیشتری صورت گیرد. لازم است برای اطمینان از تعامل سازنده، بسترهای تعامل مناسب با ذی‌نفعان برای ارتباط مستمر و تبادل اطلاعات برای تصمیم‌گیری، فراهم گردد. علاوه بر این موارد، ارزشیابی منظم فرآیندها و بررسی نتایج و میزان تحقق اهداف برای یادگیری و تعیین درس آموخته‌های کلیدی برای اصلاح، بهبود و سازگاری، باید مدنظر قرار گیرد.

ویژگی پدیده سیل و وجود عوامل متعدد در مراحل مختلف از لحظه برخورد قطرات باران با سطح زمین تا افزایش دبی رودخانه و خروج از کانال و وقوع خسارت و تبدیل شدن به بحران، حکم می‌کند که برای مدیریت آن هیچ راهی جز حکمرانی فراگیر خردمندانه و با مشارکت مؤثر همه بازیگران وجود ندارد. بنابراین لازم است گفت‌وگو حکمرانی ریسک سیل در سطوح مختلف گسترش یابد و ابعاد مختلف این شیوه نگرش به چالش مهم سیل در سطوح مختلف ملی و منطقه‌ای و محلی، تبیین گردد.

Land Capability, Bio-Ecological Identity, and Flood Ecology (Case Study: Kowsar's Multi-Institutional Plan in the Ecosystem Coupled to Groundwater)

M. Maham

1- Assistant Professor of Culture and Social Studies Research Institute of Islamic Culture and Thought, Tehran, Iran.

Email: maham812002@yahoo.com

Received: 03-09-2023

Revised: 09-11-2023

Accepted: 29-11-2023

Available Online: 21-12-2023

استعدادشناسی سرزمین، هویت زیستی و بوم‌شناسی سیلاب (مطالعه موردی: طرح چند نهادی کوثر در اکوسیستم جفت شده به آب‌های زیرزمینی)

محمود مهام

استادیار پژوهشکده فرهنگ و مطالعات اجتماعی، پژوهشگاه فرهنگ و اندیشه اسلامی، تهران، ایران.

E-Mail: maham812002@yahoo.com

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸

Abstract

Flood governance is one of the main sub-branches of land use planning in the ecosystem dependent on groundwater. Social understanding of natural phenomena is an important variable in planning and policymaking. Territorial changes over time create biological-terrestrial heritage for societies. The delay characteristic of being flooded on the plateau of Iran created water reservoirs, and therefore, special ecosystem services. In fact, the shape, structure, and function of urban, rural, and nomadic biological complexes are related to each other and to these biological characteristics, including the natural nexus between mountains and plains, alluvial cones, and flood plains. Criticism and negation of modernization programs in the development of the country and the occurrence of the Islamic revolution in Iran brought the issue of how to intervene in the land to the institution of construction jihad. Kowsar's research-executive project, which is a model of intervention in the land and flood biology-ecology based on the coupling of the land with underground water, was able to achieve continuous and long-term experiences in three scientific-institutional-political layers with the cooperation of several the strain (socio-ecological) and identification of the flood as an irreplaceable biological and territorial feature for sustainable life. From another point of view, a new method of intervention was experienced in flood bio-ecology, in which trans-sectoral perspective and biophysical-social approach replaced sectoral perspective and physical approach. The foresight of flood governance depends on the rethinking of biophysical-social experiences (land use planning).

Keywords: land-Water, Flood Ecology, Alluvial Cone, Mountain, Kowsar's Project.

چکیده

حکمرانی سیل یکی از زیرشاخه‌های اصلی آمایش سرزمین در اکوسیستم جفت شده به آب‌های زیرزمینی است. درک اجتماعی پدیده‌های طبیعی، متغیری مهم در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری می‌باشد. تغییرات سرزمینی در طول زمان، میراث زیستی-زمینی را برای جوامع می‌سازند. دیرینگی و ویژگی سیلابی بودن در فلات پهناور و ناهموار ایران، ذخایر آبی و در نتیجه خدمات اکوسیستمی خاصی را پدید آورد. شکل، ساختار و عملکرد مجتمع‌های زیستی شهری و روستایی و عشایری در پیوند با یکدیگر بودند. برای فهم این پیوندها توجه به ویژگی‌های زیستی ازجمله برخورداری از همبست طبیعی کوه و دشت، مخروط افکنه‌ها و دشت‌های سیلابی، ضروری است. با شروع نوسازی و تغییر در الگوی تحلیل ویژگی‌های زیستی و سرزمینی، هویت زیستی دوره پیشانوسازی دستخوش تغییرات بنیادین شد. نقد و نفی برنامه‌های نوسازی در آبادانی کشور و وقوع انقلاب اسلامی در ایران، مساله چگونگی مداخله در سرزمین را فرا روی نهاد جهاد سازندگی قرار داد. طرح پژوهشی-اجرایی کوثر که یک الگوی مداخله در سرزمین و زیست‌بوم‌شناسی سیل بر پایه جفت‌شدگی سرزمین با آب‌های زیرزمینی است، توانست تجارب پیوسته و طولانی مدتی را در سه لایه دانشی-نهادی-سیاستی با یاریگیری چندسویه (اجتماعی-اکولوژیک) و شناسایی سیل به مانند ویژگی زیستی و سرزمینی غیر قابل جایگزین برای زیست مانا پدید آورد. از منظری دیگر، شیوه مداخله جدیدی در زیست‌بوم‌شناسی سیل تجربه شد که در آن، فرابخشی‌نگری و رویکرد بیوفیزیکی-اجتماعی جایگزین بخشی‌نگری و رویکرد فیزیکی شد. آینده‌نگری حکمرانی سیل در گرو بازاندیشی تجارب بیوفیزیکی-اجتماعی (آمایش سرزمینی) است.

واژه‌های کلیدی: زمین-آب، بوم‌شناسی سیل، مخروط افکنه، کوهستان، طرح کوثر.

توزیع و تقسیم جمعیت در سرزمین وسیع و ناهمگون، در نسبت با آب، معنادار می‌شود. حفاظت از آب و ماندگاری تقسیم عادلانه آب، به همگرایی فرهنگ و فناوری بر پایه استعدادهای زمینی و سرزمینی وابسته است. «برنامه‌ریزی زمین جز جدایی‌ناپذیر فرایند برنامه‌ریزی کاربری زمین بوده است. فرایند برنامه‌ریزی زمین و اصول اساسی آن در هر قاره و هر فرهنگ با برنامه‌ریزی کاربری زمین و طراحی محیط آمیخته است» (هیگینز و بیبر، ۱۳۸۱). انسان‌ها سیستم‌های رودخانه، دریاچه‌ها و سطوح سیلاب‌گیر را از قرون بسیار قبل تغییر داده و همچنان این تغییرات در حال انجام هستند. از این رو، نقش هیدرولوژی اجتماعی در تبیین رابطه انسان، سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها (جباری و حسین‌پور، ۱۳۹۹) مورد توجه قرار گرفته است. «وضعیت حاضر هر سرزمینی نتیجه اثرات تجمیعی همه رویدادهایی است که تا آن لحظه در آنجا واقع شده و بنابراین، بازتاب شرایط قبلی تاریخی، بیوفیزیکی و انسانی است» (یاوری و طیب‌زاده، ۱۳۹۶). همه محیط‌ها توسط فعالیت‌های انسانی تغییر یافته‌اند، از این رو به‌عنوان سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی هم‌تکامل^۱ شناسایی و مطالعه می‌شوند. تحقیقات برای بهبود مدیریت آب‌های زیرزمینی به‌طور فزاینده‌ای ارزش استفاده از نظریه و روش‌های تحقیقات اجتماعی را مورد توجه قرار داده و آشکار ساخته است. این روند همچنین نشان‌دهنده بلوغ فزاینده آن رشته‌ها است (Jakeman و همکاران، ۲۰۱۶). امروزه برنامه‌های متعدد بین رشته‌ای و فرا رشته‌ای تعریف و اجرا می‌شوند تا «کنترل سیل به‌عنوان خدمات اکوسیستمی^۲» (Vallecillo و همکاران، ۲۰۲۰) قابل فهم و تحلیل شود. بر پایه همین تغییر رویکرد است که «سیستم‌های متصل به آب‌های زیرزمینی و ارزیابی این سیستم‌ها به‌عنوان سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی و سیستم‌های سازگار پیچیده» (Huggins و همکاران، ۲۰۲۲) شناخته شده‌اند. کنش‌های متقابل^۳ آب-زمین، خود تقویت‌کننده^۴ است (Zipper و همکاران، ۲۰۲۰)، بنابراین، نقش کلیدی در زیست جمعی و تغییرات آن دارد. دیرین‌شناسی زیست جمعی در فلات ایران نشان می‌دهد، الگوهای تحرک و استقرار و به تعبیر دیگر، نظام زیستگاهی و سکونتگاهی مجتمع‌های زیستی عشایری، روستایی و شهری بر این پایه شکل گرفته‌اند. استعدادشناسی سرزمین و کالبدشکافی هویت زیستی به مانند میراث سرزمینی، نیازمند بازخوانی چگونگی شکل‌گیری سیمای سرزمین و تغییرات بیوفیزیکی-اجتماعی آن است. «یک جنبه مهم ولی فراموش شده زمین ریخت‌شناسی شهری^۵، جایگاه زمین ریخت‌شناسی شهرهای مختلف یک کشور است. مخروط افکنه‌ها^۶ مهم‌ترین عارضه استقرار شهرهای ایران می‌باشند» (عباس‌نژاد، ۱۴۰۲). در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای، رودخانه‌ها رسوبات خود را به‌صورت مخروط افکنه‌ای از رسوبات بر جا می‌گذارند.

طغیان این رودخانه‌ها در مناطق گرم و خشک مانند ایران که پوشش گیاهی فقیری دارند، به‌صورت انباشت حجم قابل توجهی از رسوب ظاهر می‌شود. بسیاری از مناطق شهری و روستایی بر روی این مخروط افکنه‌های آبرفتی جای گرفته‌اند. قسمت قابل توجهی از اراضی کشاورزی و صنعتی کشور و به‌خصوص مناطق مسکونی بر روی مخروط افکنه‌ها بنا شده‌اند^۷. به‌عنوان مثال، فقط در دامنه جنوبی البرز بیش از ۴۵ مخروط افکنه کوچک که گاه به یکدیگر نیز رسیده‌اند و همچنین دو مخروط افکنه عظیم ورامین و کرج وجود دارند. توجه به چگونگی تشکیل این مخروط‌ها و به‌خصوص جریان‌های چگال^۸ که هم بیشترین نقش را در شکل‌گیری آن‌ها دارند و هم عمده‌ترین صدمات را به بار می‌آورند، مهم‌ترین فعالیت برای کاهش خسارات سیل در این نوع رودخانه‌ها به‌شمار می‌روند (محمودیان، ۱۳۷۴).

وسعت سرزمینی، تنوع زمینی و زیستی در سایه تنوع انتخاب اجتماعی در فلات ایران، موجب شد در دوره پیشانوسازی نسبت جمعیت و آب، به تعبیر دقیق‌تر اکولوژی و انرژی در این سرزمین وسیع و ناهموار، آمایش سرزمین ویژه‌ای را زمینه‌سازی و تثبیت نماید. طرح مجدد مساله مداخله در سرزمین و زمین از آغاز دوره نوسازی، وابستگی الگوهای پیشین زیست جمعی به یکدیگر را بر هم زد. واگرایی درون‌بافتی و میان‌بافتی الگوهای یاد شده از مسیر واگرایی دانشی-نهادی-سیاستی به‌صورتی هم‌افزا از یک سو و فقدان جایگزین بوم‌پایه از سوی دیگر، مساله مداخله را با چالش‌های جدی روبه‌رو کرد. با وقوع انقلاب اسلامی در ایران و نفی برنامه‌های نوسازی، مساله مداخله و چگونگی بازطراحی پیوند آب و بافت جمعیت، مجدداً مطرح شد. از این رو، نهادی چون جهاد سازندگی که به‌صورت طبیعی باید مداخله در سرزمین را طراحی و اجرا می‌کرد، عملاً با مساله پیچیده و فرا رشته‌ای آب و توسعه روبه‌رو شد. مساله‌ای که یکی از محورهای بسیار مهم آن، چگونگی مداخله در زمین و سرزمین با توجه به ویژگی سیلابی بودنش است. در این مقاله، طرح چندنهادی کوثر که تجربه دانشی-نهادی-سیاستی محسوب می‌شود، بررسی شد.

هدف از این مقاله، با تمرکز بر «رویکرد حل مساله» و نه «حل مساله»، روغایی از دو ویژگی است: اول، توجه به استعدادها، سرزمینی، و دوم، کار جمعی و هماهنگی (طبیعی-اجتماعی) مستمر در طرحی پژوهشی-اجرایی در مقیاس ملی. بازاندیشی و درس‌آموزی از این نمونه واقعی، گامی موثر در حل بهینه مساله سیلاب در کشور است.

واقعیت این است که هر شناسایی‌ای در «استعدادشناسی سرزمین» و «بوم‌شناسی سیلاب» سابقه زیستی-زمینی-اجتماعی دارد و «هویت زیستی» زیستگاه‌ها و سکونت‌گاه‌ها را می‌سازد. باتوجه به سوابق زیستی در سرزمین، قابل تأمل است که در اکوسیستم ایران زمین که جفت شده^۹ با آب‌های زیرزمینی است، «هویت زیستی»

پیوندشناسی آب- زمین- سرزمین می‌باشد. تفاوت‌هایی که واگرایی و یا همگرایی حوزه‌های طبیعی و اجتماعی را آشکار می‌سازد. شکل (۲) به خوبی نشان می‌دهد، یک منبع حیاتی (آب) در یک سرزمین (فلات پهناور ایران) می‌تواند نتایج متضادی در استعدادشناسی و هویت زیستی داشته باشد.



شکل ۲- پیوندشناسی آب - زمین - سرزمین

تصویر مشترک در شکل (۲-الف و ب) تصویر سمت راست بالا است که زمین، امانت‌داری حفاظت و تحویل آن به نسل بعدی را نشان داده است. تعامل اکوسیستم طبیعی و اکوسیستم اجتماعی همواره وجود دارد اما تضاد نتایج پیوند آب- زمین- سرزمین که در تصویر مشترک وجود دارد، بستگی به همگرایی یا واگرایی «فرهنگ و فناوری» در دوره‌های مختلف دارد. به عبارت دیگر بر پایه همبست «فرهنگ-زیست‌بوم-فناوری» مشخص می‌شود که کاربری/ بهره‌وری زمین و تقسیم آب، می‌تواند نتایج کاملاً متضادی چون آبادانی یا ویرانگری در پی داشته باشد. بنابراین مساله، در اصل وجود آب در شکل سیلابی آن نیست بلکه به زمین‌شناسی اجتماعی آب، درک اجتماعی زمین-آب^{۱۲} و وضعیت واگرایی یا همگرایی در همبست «فرهنگ-زیست‌بوم-فناوری» از مناظر دانشی- نهادی- سیاستی وابسته است. ماتریس چگونگی شکل‌گیری نتایج متفاوت از یک ویژگی سرزمینی (سیلابی) در جدول (۱) نشان داده شده است.

این سرزمین در پیوند با تغییرات آبی، چگونه شکل گرفته است. به‌طور مشخص، طرح‌های سیلابی چه رابطه‌ای با این ویژگی دارند؟ و چگونه آن را سامان داده‌اند؟ از آنجا که برگزیدن دیدگاه ایجابی، یک ضرورت برای حکمرانی سیل است، جستجوگری در مطالعات و تحقیقات سیلاب برای یافتن طرح/ طرح‌های نهادی، که حافظ سرزمین و هویت زیستی آن بوده‌اند، اولویت اول را دارد. گذشته، چراغ راه آینده است. طرح چندنهادی کوثر، حافظ این هویت زیستی بوده که با هدف حفاظت پویا از سرزمین، طراحی و اجرا شده است. ازاین‌رو، برای مطالعه و تحلیل در این مقاله، انتخاب شد. روشن است که کالبدشکافی و بازخوانی تجارب بومی می‌تواند به حکمرانی و آمایش سرزمین با بهره بردن از سواد سیل و آبادانی و به تعبیر دیگر، بازشناسی و بازیابی اکوسیستم وابسته به آب‌های زیرزمینی^{۱۳}، کمک شایانی نماید.

آب و زیست: رویکردهای پیوندی و تقابلی در ارتباطات اکوسیستمی (طرح مسأله)

از منظر دانشی، روندهای تحلیل آب و زیست در سایه تفاوت‌های استعدادشناسی سرزمین شکل گرفته‌اند. تفاوت در سرزمین‌شناسی تاثیرات جدی بر هویت زیستی و الگوهای بهره‌برداری از زمین و سرزمین دارد زیرا تغییرات همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است ویژگی به‌هم پیوستگی دارند. به‌عنوان مثال، «فرایندهای بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی مربوط به سیستم‌های آب زیرزمینی در مقیاس‌های فضایی مختلف، از جمله مقیاس جهانی و منطقه‌ای رخ می‌دهند (Jakeman و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۱- به هم پیوستگی تغییرات سرزمینی

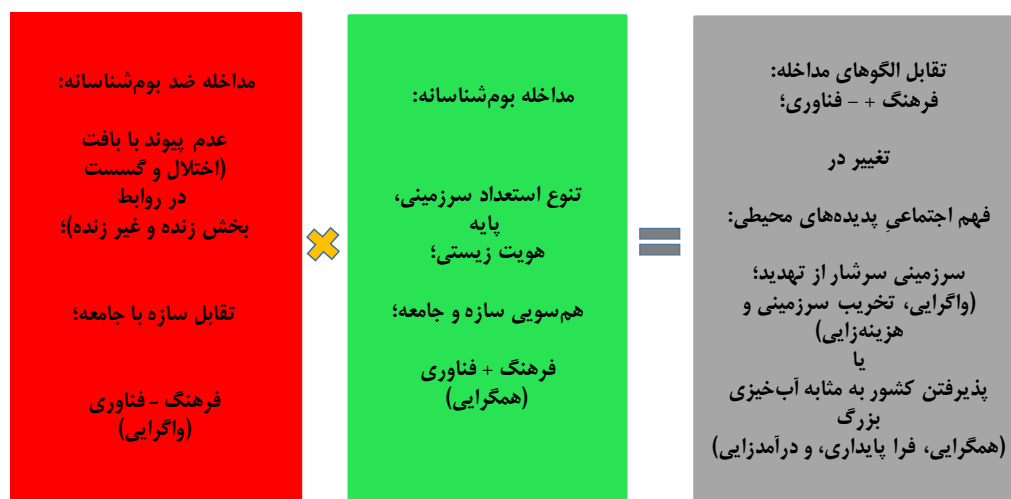
تغییر سیمای سرزمین به‌دست آمده از اندرکنش تغییرات طبیعی و اجتماعی است. باتوجه به قدرت و وسعت زیاد دخالت‌های انسانی و جوامع بشری در محیط، تغییر سیمای سرزمین، در واقع، بیانگر تغییر رویکرد در سرزمین‌شناسی و استعدادهای آن است^{۱۴}. بنابراین، تفاوت در روندهای تغییرات سیمای سرزمین، تفاوت در

جدول ۱- ماتریس چگونگی شکل‌گیری نتایج متفاوت از یک ویژگی سرزمینی (سیلابی)

ویژگی زیستی/ استعداد سرزمینی	مناظر سه گانه و هم‌افزا	همبست	وضعیت	دوره	برنامه و بودجه
سیلابی	دانشی == نهادی == سیاستی	فناوری زیست‌بوم - فرهنگ	واگرا همگرایی	پیشا‌نوسازی، نوسازی، پسا‌نوسازی.	- دو رویکرد/ تصویر اقدام ترجیحی: اول، مبارزه و تقابل با ویژگی زیستی یا دوم، تعامل (پیشگیری و بهره‌برداری). - پیامد رویکردها: اولی، هزینه‌زایی؛ تخصیص اعتبار برای خسارات یا دومی، درآمدزایی؛ حفاظت پویا از زمین و سرزمین/ تنوع زیستی طبیعی و اجتماعی. - پیامد بلند مدت بر مناظر سه گانه: زوال یا ماندگاری حافظه اکولوژیکی؛ جهت‌گیری به‌سوی تخریب (تنفر) یا آبادانی (تعلق) زمین و سرزمین

طی دوره‌های سه گانه پیشانوسازی، نوسازی و پسانوسازی-که بعضاً متداخل هستند- اتفاق افتاده، رویارویی دانشی-نهادی-سیاستی دو رویکرد یاد شده است. برآیند این رویارویی‌ها تغییرات سیمای سرزمین را به‌صورت فعلی در آورده است. در شکل (۳) روندشناسی تجمیعی الگوهای مداخله و پیامدهای آن، نشان داده‌اند.

بنابراین، پرسش از سیلاب، پرسش از استعدادشناسی سرزمین و چالش هویت زیستی می‌باشد. در این راستا می‌توان دو رویکرد را در استعدادشناسی سرزمین، شناسایی کرد: رویکرد پیوندی و همبستی، و رویکرد تقابلی و ستیزه‌جویانه با زیست‌بوم که پیوستگی عوامل زنده و غیر زنده (زمین) را در ارتباطات اکوسیستمی نپذیرفته است. آنچه



شکل ۳- روندشناسی تجمیعی الگوهای مداخله و پیامدهای آن

چالش‌های استعدادشناسی سرزمین در طرح چندنهادی کوثر

در بازه زمانی نزدیک به تولد^{۱۳} و تکوین طرح چندنهادی کوثر، استعدادشناسی سرزمین مشابهی -هر چند به‌صورت حاشیه‌ای- در جریان بود. به‌عنوان مثال، در جدول (۲) به چهار نمونه اشاره می‌شود.

۱) در یک دید کلی، سطح کشور را از نظر منابع آبی می‌توان به دو ناحیه تقسیم کرد: ناحیه اول: شمال، غرب و جنوب غربی ایران و ناحیه دوم: قسمت‌های مرکزی و سراسر شرق ایران را شامل می‌شود. از نظر امکانات بالقوه آب، ۳۰ درصد از وسعت کشور ۶۹ درصد امکانات آبی کشور را به خود اختصاص می‌دهد و ۷۰ درصد بقیه کشور تنها ۳۱ درصد این امکانات بالقوه را در اختیار دارد. توزیع منابع آب زیرزمینی کشور، نسبتاً بهتر و متعادل‌تر است که علت آن وجود مجموعه‌ای بسیار مساعد از نهشته‌های رسوبات آبرفتی در مناطق حاشیه کویری ناحیه مرکزی و شرقی ایران است که در اثر نفوذ بارندگی‌های متناوب و سیلاب‌های متعدد طی قرون متمادی مخازن بسیار مناسبی از آب زیرزمینی را در این نواحی تشکیل داده است، هر چند در حال حاضر بهره‌برداری بی‌رویه، این مخازن مناسب را تهدید می‌کند. سهم اندک ایران از موجودی آب‌های شیرین کره زمین و مشکلات بهره‌برداری از آن، این واقعیت را مطرح می‌سازد که علاوه بر ضرورت صرفه‌جویی باید روش‌های مناسب استفاده از آب، شناسایی و به‌کار گرفته شود. با آگاهی از این موضوع که در نواحی مرکزی و شرقی کشور (مناطق کم‌باران) آبخوان‌های آبرفتی بسیار مناسبی وجود دارد و بهره‌برداری از آن‌ها قابل توجه است، یکی از راه‌های استفاده مناسب‌تر از امکانات بالقوه آب این نواحی، کنترل سیلاب‌ها و برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌های آبرفتی است. از این طریق می‌توان ضمن تقویت سفره‌های آب زیرزمینی که عموماً با کاهش سالانه ذخیره مواجه هستند، بهره‌برداری از آبخوان‌ها را در شرایطی که نیاز به آب بیشتر می‌شود، افزایش داد (ناسوتی، ۱۳۷۳).

۲) طی سال‌های گذشته توجه به مدیریت مخروط افکنه‌ها و حفظ پایداری آن‌ها در برخی کشورها توسعه یافته است. علاوه بر احداث سد، توسعه (نادرست) مناطق شهری و روستایی و غیر قابل نفوذ کردن مخروط افکنه‌ها در ایجاد سیلاب و پایین انداختن تراز آب آبخوان پایین‌دست خود موثر است. در ایران، به این موضوع کمتر توجه شده و تعداد زیادی از مناطق شهری و صنعتی از جمله مراکز توسعه یافته در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز و شهر جدید هشتگرد، شهرک‌های شمال بزرگراه تهران-کرج، شهرک‌های احداث شده در شرق تهران، شهر دماوند و ... روی مخروط افکنه‌ها احداث شده‌اند و در حال رشد هستند (میرابوالقاسمی، ۱۳۷۷).

۳) کاربری روش‌های غیر ساختمانی یا مدیریتی آن هم به شکل سیستماتیک و امروزی آن بیش از چند دهه قدمت ندارد. اقداماتی که در این گروه جای می‌گیرند اساساً مشتمل بر اقداماتی است که به‌جای مهار فیزیکی سیلاب‌ها استفاده معقول و بخردانه از اراضی سیل‌گیر و سیلاب دشت‌ها را مورد تأکید قرار می‌دهد. برای مهار خسارات فزاینده سیل باید روش‌های ساختمانی و مدیریتی را توأمان به‌کار بست (بزرگ‌زاده، ۱۳۷۲).

۴) نوع و گستره فعالیت‌های زیستی-تولیدی در تابعیت مطلق ظرفیت‌ها و قابلیت‌های طبیعی مناطق قرار دارد، به‌ویژه برای سرزمین خشک و کویری ایران که به‌طور طبیعی با حساسیت و محدودیت شدید قابلیت‌های طبیعی زیستی روبه‌رو است. اگر قرار باشد خودکفا و مستقل مانیم / شویم باید آنچه را که نظام بیولوژیکی پهنه‌های کویری سرزمین خشک ما اجازه می‌دهد، تولید و استفاده شود. معضلات ناشی از کم‌آبی کشور علاوه بر برداشت و مصرف بی‌رویه، به‌ویژه به عدم شناخت مدیریت آبی کشور نسبت به اهمیت حفاظت، احیاء و بازسازی بستر تولید آب یعنی آبخیزها مربوط می‌شود (قبادیان، ۱۳۶۹). به بیان دیگر، شناخت مساله و واقعیت اکوسیستمی آن، نکته بسیار مهمی که در مسائل آبی و خاکی و به‌طور کلی، مسائل زیستی و سرزمینی فراموش می‌شود. چگونگی و چرایی رویکرد حل مساله، بسیار مهم است. برای این مهم، باید رویکرد فرابخشی و فرا رشته‌ای (درک سین اکولوژیکی) فراگیر شود.

درازمدتی داشته باشند؟ از منابع آب زیرزمینی می‌توان به طور سودمند برای تکمیل منابع آب سطحی در مواقع خشکی و کم آبی استفاده کرد. در عوض، هر موقع که آب سطحی مازاد وجود داشت می‌توان آبخانه‌ها را تغذیه کرد و معمولاً استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی به این معنی است که برداشت از آبخانه‌ها بیشتر از متوسط مقادیر تغذیه آن‌ها نباشد. اگر برداشت دراز مدت متوسط از متوسط درازمدت تغذیه فراتر نرود، استفاده توأم از سامانه منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌تواند باعث شود که از منابع آب سطحی استفاده بیشتری به عمل آید (لاکس، ۱۳۷۴). همچنین با افزایش حضور انسان‌ها در دشت‌های سیلابی^{۱۴}، «مناطق که زیر آب نبودند» به «مناطق که انتظار نمی‌رود زیر آب باشند»، تغییر کرده و خسارت‌های اقتصادی ناشی از طغیان رود در دهه‌های اخیر افزایش یافته است. در دیدگاه مهندسی رایج، برگرفته از سامانه دانش اروپا^{۱۵}، سیل عامل خطری آزاردهنده برای حیات، دارایی‌ها، و فعالیت اقتصادی افراد است. بنابراین واکنش غالب مهندسی به سیل، در جوامع امروزی، متکی بر دیدگاه تقلیل‌گرایانه است (باندیوپادهای،

طرح چندنهادی کوثر در مسیری پر چالش گام نهاده بود. تحقیقات در این زمینه نشان دادند «در شرایط ایران که آب برف، بخش قابل ملاحظه‌ای از منابع تغذیه‌کننده جریان‌های سطحی و زیرزمینی را تشکیل می‌دهد، نه تنها روش‌های ذوب برف بررسی نشده است بلکه هیدرولوژی برف نیز تاکنون چندان مورد توجه قرار نگرفته است» (رئیس اردکانی و پرهت، ۱۳۷۴) و «میانگین درازمدت مقادیر آب زیرزمینی حداقل در حال حاضر در دسترس نیست» (حکیمی لاریجانی، ۱۳۷۲). «هر چند نهشته‌های دوران چهارم حدود نیمی از ایران را پوشانده‌اند، باین‌وجود بررسی چندان‌دانی درباره آن‌ها صورت نگرفته است و اطلاعات حال حاضر (۱۳۶۹) تا آنجا که به آبرفت‌های دانه درشت مناسب برای تشکیل آبخوان مربوط می‌شود، ناقص می‌باشد (کوثر، ۱۳۷۴).

باید افزود مناطق خشکی که کمبود آب سطحی دارند ولی از مقادیر کم و بیش قابل ملاحظه‌ای آب‌های زیرزمینی بهره‌مند هستند، موقعیت دوگانه‌ای دارند. این موقعیت این است که از این آب‌های زیرزمینی چگونه استفاده کنند که توسعه اقتصادی و اجتماعی

۱۳۹۶). در مورد ارزیابی توان محیط‌زیست در ایران می‌توان گفت از آنجا که از رویه غیربومی برای بهره‌برداری از منابع طبیعی و محیط‌زیست در فلات ایران استفاده شده، مقیاس‌های مشاهده، مناسب واقعیت ترکیب و توزیع منابع در ایران نبوده است و نتیجه ارزیابی به‌جای آنکه بر اساس واقعیت باشد، محاسباتی باشد (یاوری و همکاران، ۱۳۹۶).

بنابراین جهت‌گیری واگرایی باید به همگرایی و بهره‌مندی از همبست فرهنگ-زیست‌بوم-فناوری تغییر می‌یافت، این ضرورت، تدریجاً آشکار می‌شد. در بررسی روند تغییرات طرح‌های تحقیقاتی در زمینه کشاورزی پایدار که چهار سال پس از انتشار کتاب طرح چندنهادی با عنوان «مهار سیلاب‌ها و بهره‌وری بهینه از آن‌ها» منتشر شد (کوثر، ۱۳۷۴)، بر این ضرورت تاکید شده است: تفاوت کشاورزی پایدار با کشاورزی رایج در این است که در کشاورزی پایدار بر ثبات عملکرد در دراز مدت با حداقل تاثیر بر محیط تاکید می‌شود درحالی‌که کشاورزی رایج بر هدف‌های کوتاه‌مدت و حداکثر عملکرد متکی است. هدف‌های کشاورزی پایدار را نمی‌توان تنها با کاهش نهاده‌ها به انجام رساند بلکه باید نظام‌های زراعی جدیدی منطبق با نیازهای جامعه و فرهنگ آن‌ها طراحی کرد (زارع فیض‌آبادی و کوچکی، ۱۳۷۸).

حفاظت از سیمای سرزمین به معنای حفاظت از فضاهای زیست جمعی است. تصمیم‌گیری نهادی در مقیاس ملی برای انتخاب چگونگی روبه‌رو شدن با کمیابی آب از یک‌سو و تنوع منابع آبی

از سوی دیگر در فلات ایران، مساله‌ای دشوار و فرا رشته‌ای است. ضروری است «مبارزات حفظ قلمرو رشته‌ای» (هاو، ۱۳۷۷) کنار گذاشته شوند. «پیوند میان مباحث حوزه علوم انسانی و مسائل فنی، هم‌زمان که به پختگی و غنای هر دو حوزه می‌افزاید، در عمل، زمینه‌ای را برای جذابیت و کاربردی شدن موضوعات فراهم می‌آورد (لیستر و برد بروک، ۱۳۹۵). کاربردی شدن حداقل در سه معنا قابل توجه است: کاربردی شدن به معنای فنی-مهندسی/فناورانه شدن، کاربردی شدن به معنای اجتماعی شدن فناوری، و کاربردی شدن در معنای فرا پایداری و آمایش سرزمین یعنی پیوندها و همبست‌هایی که معطوف به بازگشت‌پذیری سرزمین هستند و کلان حوزه علوم پزشکی و دام‌پزشکی را نیز شامل می‌شود. به تعبیر شادروان سید عبدالعظیم امیرشاه کرمی، «سازه^{۱۶}، باید در جامعه بنشیند» (گفت‌وگوی نویسنده با امیرشاه کرمی، ۱۳۹۵). به این ترتیب دوگانه سازه-جامعه، از وضعیت واگرایی به وضعیت همگرایی تغییر مسیر^{۱۷} خواهد داد، زیرا «اساس، وحدت و همبستگی پدیده‌های طبیعی است. به کمک مطالعات بین رشته‌ای، چگونگی این روابط مشخص می‌شود و آمایش حوضه نیز متناسب با آن‌ها صورت می‌گیرد» (رجایی، ۱۳۷۳). از این رو نیاز فوری به دانش میان رشته‌ای در زمینه سیل (باندیوپادهای، ۱۳۹۶) وجود دارد. طرح چندنهادی کوثر در همین مسیر^{۱۸} - با بازنگری بیوفیزیکی-اجتماعی استعدادهای سرزمینی برای حفاظت پویا از هویت سرزمینی- گام برداشت. جدول (۳) به خوبی محیط‌شناسی ترکیبی و چندمقیاسی در طرح چندنهادی کوثر را نشان می‌دهد.

جدول ۳- محیط‌شناسی ترکیبی و چندمقیاسی در طرح چندنهادی کوثر

افزایش جمعیت در دنیا، فزونی گرفتن نیاز و چشمداشت مردم کشورهای در حال توسعه، تسلط نسبتاً کامل ابرقدرت‌ها بر بازارهای جهانی و ترفندهای جنگ‌افروزان و سایر عوامل بالفعل و بالقوه‌ای که در بر هم زدن آرامش و آسایش جهان کوشش می‌کنند، نگرشی ژرف به منابع موجود و یافتن راه‌هایی برای بهره‌وری خردمندانه از آن‌ها را لازم می‌سازد. وابستگی به بیگانگان برای فروش نفت، و خرید فرآورده‌هایی که تهیه آن‌ها از راه استفاده منطقی از منابع طبیعی تجدیدشونده ایران میسر است، درک شماری از واقعیت‌ها و دگرگونی پاره‌ای تعاریف و معیارها را ناگزیر می‌سازد. گفتنی است داشتن قدرت خرید، همواره تضمینی در برابر دریافت کالا، به‌ویژه مواد غذایی نبوده و عواملی دیگر، چون خشکسالی و شیوع آفات و امراض گیاهی و دامی در کشورهای تولیدکننده، جنگ، سیل، زلزله، حصر اقتصادی، نوسانات ارزش برابری ارزها و استفاده از خوراک به‌عنوان اسلحه نیز باید در برنامه‌ریزی‌های درازمدت در نظر گرفته شود. چنانچه هیچ‌یک از این وقایع تحقق نیابد، نیروی مخرب دیگری فرصت خودنمایی خواهد یافت: فرسایش خاک، که با افزایش جمعیت افزایش می‌یابد، به تدریج مهمترین منبع تولید خوراک انسان و دام را نابود کرده و اگر روند آن متوقف، یا وارونه نشود بیابانی شدن جامه عمل خواهد پوشاند. وابستگی اقتصادی ما واقعیت دارد. برای دستیابی به خوداتکایی و آماده شدن برای نان خود خوردن، حتی رساندن کمک به گروهی از گرسنگان کشورهای به ظاهر نادر، منوط به دگرگونی بنیادی سیاست اقتصادی ایران، به‌ویژه شاخه کشاورزی آن است. از آنجا که خشکی مهمترین عامل بازدارنده کشاورزی ایران به‌شمار می‌رود، در نظر گرفتن آب به‌عنوان نخستین نهاد کشت و زرع و راه آمدن با آن، برای بهره بیشتر بردن از این مایه حیات، از آسان‌ترین و ارزان‌ترین راه‌های رسیدن به استقلال است. برای رسیدن به این هدف و تحقق آن‌ها لازم است:

- نگهداری آب و استفاده به‌جا و به هنگام از آن؛
- جلوگیری از فرسایش خاک؛
- پیشگیری از نابودی جنگل‌ها، مراتع و حیات وحش. یا به گفته‌ای دیگر، پذیرفتن کشور چون آبخیزی بزرگ، و یاری جست از طبیعت برای اداره عاقلانه آن. در این کشور زمین خوب، انبارهای زیرزمینی تهی از آب و آفتاب فراوان وجود دارد باید برای بهره‌برداری برنامه ریزی صورت گیرد.

وجود لایه‌های بسیار پهناور و ژرف آبرفتی در دامنه‌های جنوبی البرز و شرقی زاگرس در فلات مرکزی ایران، در دره‌های این رشته کوه‌ها، نعمتی بزرگ برای ساکنان کشور ما به‌شمار می‌رود. سیلاب و آبرفت، دو نعمت ناشناخته‌اند. موقعیت جغرافیایی ایران و بسیاری از کشورهای مسلمان نشین که می‌توان آن‌ها را سرزمین‌های سیل و خشکسالی دانست، تعمق ژرف‌نگری در سیلاب و بهره‌وری زیرکانه از آن را، واجب می‌نماید (کوثر، ۱۳۷۴).

فضای پژوهشی در زمان اجرای طرح کوثر باوجود مشکلات پژوهشی و اجرایی، چنین مسیری را میسر می‌ساخت. «در اولویت‌های چهارگانه پژوهشی در زمینه منابع جدید آب که توسط کمیسیون آب شورای پژوهش‌های علمی کشور تهیه و ابلاغ شد، «استفاده بهینه از ظرفیت‌های موجود» و «تغذیه آب‌های زیرزمینی و پخش سیل» در اولویت اول قرار داده شده بودند»^{۱۹}.

همچنین در اولین کنفرانس منابع آب زیرزمینی ویژه مناطق خشک و نیمه خشک که با همکاری وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، کمیسیون ملی یونسکو در ایران و کمیته ملی آب‌شناسی از تاریخ ۱۴ تا ۱۶ شهریورماه ۱۳۷۳ برگزار شد، در بند ۷ قطعنامه‌ای که در این کنفرانس منتشر شد، تاکید شد: برای تقویت منابع آب زیرزمینی و جبران کسری مخارج طرح‌هایی شامل طرح‌های تغذیه مصنوعی با استفاده از آب‌های مهار نشده و آب قنوت در فصل‌های غیر از فصل‌های مصرف (به‌ویژه در دشت‌های ممنوعه بحرانی و ممنوعه با بیلان منفی) اجرا شود (بی‌نام، ۱۳۷۳).

روندشناسی رشد و نمو و شکل‌گیری طرح چندنهادی کوثر

ایده طرح کوثر^{۲۰} که در ابتدا با «کوشش گروهی از تلاش‌گران موسسه تحقیقات و جنگل‌ها و مراتع کشور و با پشتیبانی وزارت کشاورزی آغاز شد با پیگیری جهاد سازندگی» (کوثر، ۱۳۷۴) رشد و تداوم یافت. پیشینه پژوهی فعالیت‌های پژوهشی و اجرایی این طرح، نشان‌دهنده صورت‌بندی جدیدی از آبادانی بوم پایه با اتکاء به تحقیق و پژوهش می‌باشد که برای امروز بسیار آموزنده و الهام‌بخش است. یاریگری مردم با مردم و دولت با سرزمین، تجربه‌ای گران‌بها و کاربردی برای اصلاح حکمرانی سیل می‌باشد. گزارش دفتر طرح و برنامه معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی با بررسی بازه زمانی چهل سال (۱۳۳۰-۱۳۷۰)، روند افزایشی سیل را نشان می‌دهد (معیری و انتظار، ۱۳۸۷)، این روند همچنان ادامه دارد. «طی دهه‌های گذشته (۱۹۸۱-۲۰۰۹) خسارت‌های اقتصادی‌ای که سیلاب‌ها در ایران ایجاد کرده‌اند به ۷۳۷۴۵۳۶۸ دلار رسیده است» (پاریزی و سیدحسینی، ۱۴۰۱). در واقع، چالشی بودن سیلاب برای زیست در اکوسیستم خشک و نیمه خشک ایران زمین، که با آشفتگی‌های به‌دست آمده از تغییرات مجتمع‌های زیستی شهری، روستایی و عشایری همراه بود، روز به روز آشکارتر و پُررنگ‌تر می‌شود. فضای رشد و شکل‌گیری طرح چندنهادی کوثر، فضای مساله و حل مساله را در اکوسیستم جفت شده به آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد. این الگوی مداخله جهاد سازندگی به مانند تجربه‌ای مردمی-حاکمیتی، باید بازآفرینی و تکمیل شود. در جدول (۴) کوشش‌های پیوسته

و رشد و نمو تدریجی اما قوی طرح چندنهادی کوثر، قابل توجه است، زیرا نتیجه این فعالیت‌ها به تولید اثر «مهار سیلاب‌ها و بهره‌وری بهینه از آن‌ها» انجامید (کوثر، ۱۳۷۴).

جدول ۴- مروری فشرده بر پیشینه اجرایی و پژوهشی طرح چندنهادی کوثر

عنوان	سال
طرح اجرایی و پژوهشی گسترش سیلاب در ایجاد مزارع و مراتع مشجر چونگان ممسنی	۱۳۵۸
برنامه گسترش سیلاب گربایگان، فسا	۱۳۶۱
گزارش مأموریت در ارتباط با اجرای طرح گسترش سیلاب در منطقه چونگان ممسنی	۱۳۶۴
گزارش کاربرد سیلاب در تثبیت ریگ‌های روان، تولید بی تا علوفه و ایجاد پناه‌گاه برای حیات وحش	
گسترش سیلاب در استان هرمزگان	۱۳۶۶
کاربرد نتایج گسترش سیلاب در بازسازی مناطق جنگ‌زده	۱۳۶۷
زراعت سیلابی، تغذیه مصنوعی: دوران کنار آمدن با کویر	۱۳۶۷
بیابان‌زدایی با گسترش سیلاب: کوششی هماهنگ	۱۳۷۲
مهار سیلاب‌ها و بهره‌وری بهینه از آن‌ها: آبیاری سیلابی، تغذیه مصنوعی، بندهای کوتاه خاکی	۱۳۷۴

انتشار کتاب «سیل، نفرین نیست، بخششی است در جامه‌ای ناشناخت» (کوثر و همکاران، ۱۳۹۸) و برگزاری وبینار ملی دانش بومی آبخیزداری در کشور و مدیریت پایدار سرزمین که با سخنرانی افتتاحیه کوثر (خواندن متن ارسالی ایشان) آغاز شد (کوثر، ۱۳۹۹)، استمرار تلاش علمی با رویکرد اجتماعی-اکولوژیک (پیوندی و همبستی) را در تحلیل ارتباطات اکوسیستمی، به‌صورت حاشیه‌ای، محدود و غیر فراگیر، نشان می‌دهد.

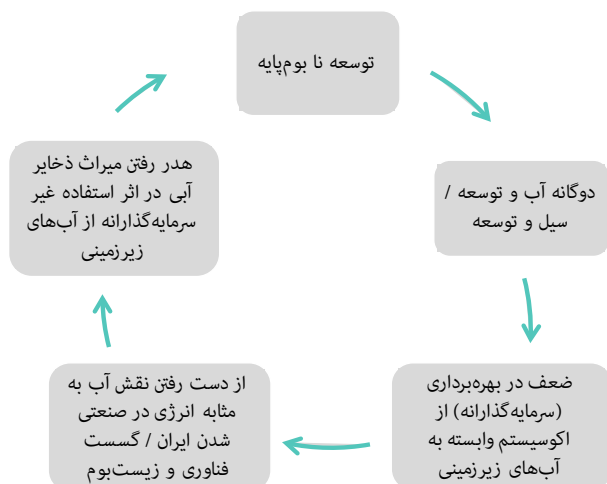
تنوع یاریگری در طرح چندنهادی کوثر

ضعف‌های تحلیلی و رویکردی متأثر از گسست در همبست فرهنگ-زیست‌بوم-فناوری، مطالعه طرح‌های محیطی مرکب شامل طرح کوثر را دشوار می‌سازد. تقسیم کار چندلایه، اتفاق نظر در شبکه پژوهشی-اجرایی طرح، هم‌سوسازی بلندمدت نیروهای پژوهشی و اجرایی در سطوح مختلف، درک مشترک برای تداوم و همراهی و پیروز شدن بر موانع دانشی-نهادی-سیاستی از ویژگی‌های مهم در طرح‌های کل‌نگر مانند حکمرانی سیل می‌باشند که در طرح یاد شده وجود داشتند و می‌توانند الهام‌بخش فعالیت‌های آینده باشند. جدول (۵) تنوع یاریگری در طرح نهادی کوثر را نشان می‌دهد و بر پایه داده‌های کتاب «مهار سیلاب‌ها و بهره‌وری بهینه از آن‌ها» (کوثر، ۱۳۷۴) تهیه شده است.

جدول ۵- تنوع همکاری‌ها در طرح چندنهادی کوثر

ردیف	تنوع / دامنه یاریگری	نهاد	یاریگران
۱	یاریگری خانواده و استاد	خانواده‌ها (خانواده پدری + همسر و فرزندان)	پدر، سید امین الله کوثر و استاد، حبیب الله مشکسار
۲	یاریگری درون موسسه‌ای	موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع	محمد اسدی- پرویز باباخانو- بهرام پیمانی فرد- حسینعلی صدری، مصطفی جعفری، بهروز ملک‌پور، مجتبی علاقه‌بند راد، تقی شامخی
۳	یاریگری درون وزارتخانه‌ای	معاونت آموزش و تحقیقات جهاد سازندگی	محمد تقی امانپور
۴	یاریگری‌های علمی و دانشگاهی؛ (به مثابه تقسیم کار ملی)	دانشگاه استان (دانشگاه شیراز) و خارج از استان (دانشگاه ارومیه)، مرکز تحقیقات کشاورزی فارس.	علیرضا سپاسخواه، علی ابطحی- قدرت الله فرهودی، ارسلان قهرمانی، اکبر کامکار حقیقی، نجف علی کریمیان، منوچهر مفتون، خواهران ابریشمی، خسروی و رضایی و برادر یحیی رحیمی، اسماعیل رهبر و اکبر زرگر، عین الله مرادی، اروج‌علی کریمی، محمد درویش، بهرام پیمانی فرد
۵	یاریگری فرا ملی (سازمانی و فردی)	دانش‌پرو ایرانی ساکن امریکا، سازمان ملل متحد	پرنده بدیعی، حمیدرضا غفارزاده
۶	یاریگری دستگاه‌ها و مسئولان اجرایی	سازمان آب منطقه‌ای فارس، صدا و سیما ایران مرکز شیراز، استانداران پیشین فارس، معاونان استانداران در امور عمرانی، شهردار پیشین فسا، وزارتخانه‌های جهاد سازندگی و کشاورزی	محمد رضا خوبان، خسرو آرا، محمدنبی حبیبی و نعمت الله تقاء، کریم لیمویی و محمد رضا مجیدی، محمدحسین سلیمان زاده

چندنهادی کوثر به نقد آن پرداخت، در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴- چرخه مورد نقد در طرح چندنهادی کوثر

باید پذیرفت که یاریگری و همکاری، قاعده عبور از کمیابی و ضرورت آمایش سرزمین است. تجارب تقسیم آب در پیشینه بهره‌وری و کاربری یک سرزمین، همین واقعیت را به اثبات رسانده‌اند. در واقع، طرح چندنهادی کوثر، بازبانی و روزآمدسازی آب‌شناسی اجتماعی-اکولوژیک و سیل‌شناسی بوم‌پایه را پژوهش و اجرایی می‌کند و این نکته مهمی است که در حکمرانی سیل، باید مد نظر قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

استعدادشناسی سرزمین و خوانش چگونگی پیوندهای طبیعی و اجتماعی، نقش کلیدی در طراحی چگونگی مداخله در سرزمین و زمین را دارد. برآیند تعاملات اجتماعی-اکولوژیک در طول زمان، میراثی بر جای می‌گذارد که هویت زیستی و سامانه بهره‌وری از زمین و سرزمین را شکل می‌دهد که می‌تواند به آبادانی یا تخریب سرزمین منجر شود. چرخه تخریبی که طرح

پیشنهادهات

برای تقویت، تکمیل و استمرار موثر طرح چندنهادی کوثر، در شکل‌های (۵ و ۶) سایه روشن پیشنهادها ارائه شده است. امید است، قسمت خاکستری و کمتر آشکار پیشنهادها، در مسیر پیدایی و تحقق قرار گیرند.



شکل ۵- سایه روشن پیشنهادها



شکل ۶- سایه روشن پیشنهادها

در راستای کاهش محدوده خاکستری و تقویت بخش روشن در شکل‌های (۵ و ۶) پیشنهاد می‌شود:

- ۱- در اجرای اسناد ملی و استانی آمایش سرزمین، نقش سیلاب در آبادانی سرزمین، بر پایه تحلیل تلفیقی (بیوفیزیکی-اجتماعی)، شناسایی و عملیاتی شود.
- ۲- در بازنگری سند ملی آمایش سرزمین، تعریف «آب قابل برنامه‌ریزی» باتوجه به ظرفیت‌های بالقوه سیلابی و روند-الگو شناسی آینده سیلابی کشور، نگاشته شود. به عبارت دیگر ظرفیت‌های «برنامه‌ریزی» بر پایه اصلاح استعدادشناسی سرزمین

دیرینه‌شناسی الگوهای زیست جمعی نشان می‌دهد تنوع مجتمع‌های زیستی در پیوند با ویژگی‌های زیستی سرزمین ازجمله سیلابی بودن شکل گرفته است. به عبارت دیگر تنوع الگوها بازتاب روندهای بیوفیزیکی-اجتماعی در سرزمین هستند. مساله حکمرانی، مساله‌ای مردمی-حاکمیتی است و تجارب گذشته می‌توانند در طراحی‌های آینده، نقش حیاتی ایفا نمایند زیرا مسائل امروز، نوپدید نیستند. ازاین‌رو در پرسش اصلی مقاله، چگونگی مداخله در سرزمین و بوم‌شناسی سیل در نهاد مردمی-حاکمیتی جهاد سازندگی مطرح شد. طرح چندنهادی کوثر که تجربه دانشی-نهادی-سیاستی محسوب می‌شود، به عنوان یکی از تجارب نهادی در زمینه سیل، انتخاب و بررسی شد. طرح کوثر از منظر ایده‌پردازی در فهم و حل مساله، فرایند اجرا و پیاده‌سازی، طرحی فرا فردی، فرا نهادی و آمایش سرزمینی است که در فضای سازندگی بوم‌پایه با محوریت استقلال و اولویت امنیت آبی و غذایی درون‌زا، شکل گرفته و قابل توجه و استفاده در طراحی حکمرانی سیل می‌باشد. در بازخوانی و بازاندیشی طرح چندنهادی کوثر، تلاش شد به جای مباحث فیزیکی و چگونگی «حل مساله»، «رویکرد حل مساله» در آن، موشکافی شود تا بُعد شناختی در استعدادشناسی و بوم‌شناسی، برجسته شود. بنابراین با پرداختن به جفت‌شدگی سرزمین با آب‌های زیرزمینی، اهمیت بیوفیزیکی-اجتماعی برجسته شد. همچنین با تاکید بر «رویکرد حل مساله» به جای پرداختن به «حل مساله» در طرح کوثر، فرصت توجه به ابعاد اجتماعی انواع همکاری و یاریگری فراهم شد. به عبارت دیگر برای تحلیل اجتماعی-بیوفیزیکی (آمایش سرزمینی) به مانند یک راهبرد حیاتی در حل مسائل آبی کشور ازجمله حکمرانی سیل زمینه‌سازی شد. طرح چندنهادی کوثر، طرحی نمونه برای آمایش سرزمین و کوششی هماهنگ میان انسان‌ها در سطوح همسان و متفاوت با یکدیگر و همچنین هماهنگ با طبیعت ایران زمین، محسوب می‌شود. هماهنگی‌ای که کیمیای امروز در حل مسائل شده است. «بوم‌شناسی سیلاب» برای حکمرانی سیل، نیازمند آشنایی با سیمای سرزمین و تغییرات بیوفیزیکی آن با هدف‌گذاری حفاظت از تنوع طبیعی و اجتماعی (قابلیت برگشت‌پذیری سرزمین) است. به عبارت دیگر هم‌سویی هویت و استعداد در قالب همبست فرهنگ-زیست‌بوم-فناوری ضرورت دارد. عدم تجدید چاپ آثار مرتبط با این تجربه بومی و حاشیه‌ای بودن آن، نباید مانع از کاربست آن در طراحی حکمرانی سیل در کشور شود. باید پرهیز از مطلق‌گرایی در حکمرانی سیل پذیرفته شود، و از همه ظرفیت‌ها و قابلیت‌های زمینی و زیستی استفاده شود. بنابراین، طرح کوثر که تجربه‌ای بومی در اکوسیستم جفت شده به آب‌های زیرزمینی بوده می‌تواند در طراحی و تکمیل حکمرانی سیل نقش ویژه‌ای ایفا نماید.

و ملاحظه هویت زیستی، ارتقا (پژوهشی-اجرایی) داده شود.

۳- آب‌شناسی اجتماعی و مهندسی، در سرفصل‌های آموزشی-پژوهشی و اجرایی با ماموریت‌های منطقه‌ای و ملی پیش‌بینی شود و در دوره‌های برنامه‌ریزی شده زمانی-مکانی، عملیاتی شود. به عبارت دیگر تقسیم کار ملی در ارتباط جامعه و صنعت باتوجه به «اکوسیستم جفت شده به آب‌های زیرزمینی» صورت گیرد.

۴- کتاب «مهار سیلاب‌ها و بهره‌وری بهینه از آن‌ها: آبیاری سیلابی، تغذیه مصنوعی، بندهای کوتاه خاکی» (کوثر، ۱۳۷۴) تجدید چاپ شود. طبیعتاً افزودن تجارب جدید مفید خواهد بود.

۵- شاخص‌سازی برای طراحی، ارزیابی، رصد، بازنگری، و به‌طور کلی، برنامه‌ریزی و بودجه‌نویسی طرح‌های پژوهشی-اجرایی حکمرانی سیل در مقیاس ملی بر پایه ویژگی‌های اجتماعی-محیط‌شناختی طرح چندنهادی کوثر، انجام شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1-co-evolving social-ecological systems (SES)
- ۲- امروزه برنامه‌های متعدد بین رشته‌ای و فرا رشته‌ای تعریف و اجرا می‌شوند تا «کنترل سیل به عنوان خدمات اکوسیستمی» (Vallecillo و همکاران، ۲۰۲۰) قابل فهم و تحلیل شود.
- 3-interactions
- 4-Self-amplifying
- 5-Urban geomorphology
- 6-Alluvial fan
- ۷- گفتنی است این تجربه محدود به ایران زمین نیست. «به‌طور کلی، مخروط افکنه‌ها در بسیاری از نقاط جهان به دلیل داشتن شرایط مناسب، موقعیت خوبی برای استقرار سکونت‌گاه‌ها و مراکز استقرار انسانی، از دوره‌های پیش از تاریخ تاکنون فراهم کرده‌اند» (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱).
- به عنوان مثال، «در ژاپن حدود نیمی از کل جمعیت و مناطق شهری مهم در دشت‌های سیلابی که تنها ده درصد از وسعت کل کشور را شامل می‌شود، اقامت دارند» (خلخالی، ۱۳۷۴).
- دشت‌های سیلابی نقش اساسی در تبادل سیل و آب زیرزمینی دارند (Kiedrzyńska و همکاران، ۲۰۱۵).
- 8-Density Flow
- 9-coupled
- 10-Ground Water-dependent ecosystem (GDEs)
- ۱۱- زیست جمعی همواره متأثر از این تغییر است. به عنوان نمونه بنگرید به (نیکنامی، ۱۳۸۳):
- <https://dorl.net/dor/20.1001.1.10258620.1383.30.35.3.8>
- 12-Land-Water

۱۳- گفتنی است متن کتاب «مقدمه‌ای بر مهار سیلاب‌ها» در سال ۱۳۶۷ برای چاپ و انتشار به موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع تقدیم شده (کوثر، ۱۳۷۴) بود.

۱۴- Floodplains: دشت‌های طرفین رودخانه که در مواقع طغیانی، آب در آن جاری می‌شود به نام دشت‌های سیلابی خوانده می‌شود (شفقی و مدنی، ۱۳۶۳).

۱۵- در اروپا، سیل را یکی از سه نفرین الهی می‌پنداشتند؛ دو دیگر، قحطی و طاعون بودند. بر خلاف آنان، ما بیابان‌نشین‌ها همواره شیفته سیلاب بوده‌ایم (کوثر و همکاران، ۱۳۹۸).

۱۶- ساختارهای غیرقابل نفوذ نشان‌دهنده میزان توسعه شهری می‌باشند و معمولاً در صورتی که شبکه جمع‌آوری درستی در کار نباشد، خطرهای سیل افزایش می‌یابد (غضبان، ۱۳۸۱). به این ترتیب در رابطه سازه و جامعه و زیست‌بوم، واگرایی پدید می‌آید.

۱۷- یک نمونه خارجی از تغییر مسیر، «علاقه فزاینده به رها کردن مقداری آب در طبیعت است. این گرایش، بازتاب نگرانی از دست رفتن کارکردهای حیات‌بخش و اساسی می‌باشد و مانع بالقوه قدرتمندی در برابر کالایی شدن آب است. در آمریکا، سیستم رود و خدمات اکولوژیکی که ارائه می‌دهد، اهمیت بیشتری در تصمیمات مدیریت سیستم آبیاری، مجوزهای استفاده آب، تمدید مجوز سدهای برق آبی، ساخت سدها، حقوق آب و مدیریت دشت‌های سیلابی دارند» (پوستل، ۱۳۸۲).

۱۸- برای درک بهتر این مسیر و شناسایی سهل‌تر فضای مساله سیل در زمان رشد و تکوین طرح چندنهادی کوثر، گزارش مجله اکونومیست در سال ۱۹۹۵ با عنوان «سیل در قلب اروپا» که در فصلنامه امور آب وزارت نیرو (آب و توسعه) به چاپ رسید، قابل توجه است. در این گزارش، سیل در کشورهای اروپایی از جمله فرانسه و آلمان و هلند بررسی شده و چنین نتیجه‌گیری کرده است: حتی کشورهای برخوردار از بهترین تکنولوژی و پیشرفته‌ترین نظامات اجتماعی نیز در مقابل طغیان‌های طبیعت، ضربه‌پذیر هستند. چندین عامل ساخته و پرداخته دست بشر سبب شد این فاجعه بسیار بدتر از آن باشد که در غیر آن صورت، می‌بود. این مشکلات که به دست بشر ایجاد شده توانایی و قابلیت سیستم‌های رودخانه‌ای را برای پذیرش و جذب سیلاب‌ها نسبت به گذشته کاهش داده است (اکونومیست، ۱۳۷۴). سپس افزود: ووجیکایو جویچ، استاد یکی از دانشگاه‌های آمریکا می‌گوید: راه چاره هر چه باشد، تشخیص مشکل، آشکار و واضح است: «ما باید در کل فلسفه مقابله با سیل که در قرن اخیر (قرن بیستم) حاکم بوده است، تجدیدنظر کنیم» (اکونومیست، ۱۳۷۴).

۱۹- گفتنی است «شیرین کردن آب‌های شور» در گروه چهارم در اولویت‌های پژوهشی در زمینه منابع جدید آب (بی‌نام، ۱۳۷۲) قرار داده شده است. باتوجه به گذشت ۳۰ سال از تعیین اولویت‌های یاد شده و غلبه رویکرد تقابلی با ویژگی سرزمینی

(سیلابی بودن) در برنامه و بودجه توسعه کشور، به نظر می‌رسد اولویت‌های اول و آخر (چهارم) جابه‌جا شده است. از این رو، برای اصلاح حکمرانی در اکوسیستم وابسته به آب زیرزمینی، ضروری است استعدادشناسی سرزمین، مورد توجه جدی در اسناد بالادستی علمی (زیستی-فرهنگی و فناوریانه) قرار گیرد.

۲۰- بیان جدید این ایده با «انگاره آبخوانشهر» (کوثر و همکاران، ۱۳۹۸) مطرح شده که بسیار متفاوت از ایده «بام‌رود» (فرزاد، ۱۳۶۲) است. تحلیل این تفاوت در استعدادشناسی سرزمین، نیازمند فرصت دیگری است.

منابع

اکنونمیست. (۱۳۷۴). سیل در قلب اروپا. آب و توسعه، فصلنامه امور آب- وزارت نیرو، ۳(۳)، ۹۸-۹۹.

امیرشاه کرمی، سید عبدالعظیم. (۱۳۹۵). گفت‌گوی نویسنده با دکتر سید عبدالعظیم امیرشاه کرمی. ۱۳۹۵/۳/۱۷.

بی‌نام. (۱۳۷۲). اولویت‌های پژوهشی در زمینه منابع جدید آب. آب و توسعه، فصلنامه امور آب - وزارت نیرو، ۱(۲)، ۴۵-۴۶.

بی‌نام. (۱۳۷۳). نخستین کنفرانس ملی منابع آب زیرزمینی در کرمان. آب و توسعه، فصلنامه امور آب- وزارت نیرو، ۲(۲)، ۹۵-۹۶.

باندیوپادهیای، جایانتا. (۱۳۹۶). آب، بوم‌سازگان‌ها و جامعه: تلاقی رشته‌ها. مترجم ویدا نوشین‌فر. پژوهشگاه فرهنگ، هنر و ارتباطات. چاپ اول. تهران، ایران.

بزرگ‌زاده، مصطفی. (۱۳۷۲). خطر سیل و شیوه‌های مقابله با آن. آب و توسعه، فصلنامه امور آب - وزارت نیرو، ۱(۱)، ۲۶-۳۳.

پاریزی، اسماعیل، و سیدحسینی، موسی. (۱۴۰۱). تحلیل فراوانی سیلاب ۱۰۰ ساله در حوضه‌های آبریز ایران و بررسی عوامل تاثیرگذار بر آن. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۳(۲)، ۱۹-۳۸. doi: 10.22108/GEP.2022.130040.1450

پوستل، سندرا. (۱۳۸۲). آخرین آبادی. مترجم: امیر عباس صدیقی و مسعود سلطانی. نشر نی. چاپ اول. تهران، ایران.

جباری، آناهیتا، و حسین‌پور، باقر. (۱۳۹۹). مروری بر مطالعات هیدرولوژی اجتماعی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶(۳)، ۲۲۲-۲۴۴. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1399.16.3.16.4>

حکیمی لاریجانی، پرویز. (۱۳۷۲). وضعیت منابع آب کشور طی پنج سال اخیر. آب و توسعه، فصلنامه امور آب - وزارت نیرو، ۱(۱)، ۶۷-۶۰.

خلخال، غلامعلی. (۱۳۷۴). منابع آب و استفاده از آن در ژاپن. آب و توسعه، فصلنامه امور آب - وزارت نیرو، ۳(۲)، ۱۵-۲۹.

رئیی اردکانی، عزت‌الله، و پرهمت، جهانگیر. (۱۳۷۴). بررسی ذوب برف در ارتفاعات زاگرس ایران. آب و توسعه، فصلنامه امور آب - وزارت نیرو، ۳(۲)، ۴۸-۳۸.

رجایی، عبدالحمید. (۱۳۷۳). کاربرد ژئومورفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط. قومس. چاپ اول. تهران، ایران.

زارع فیض‌آبادی، احمد، و کوچکی، عوض. (۱۳۷۸). بررسی روند تغییرات طرح‌های تحقیقاتی در زمینه کشاورزی پایدار. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۷، ۱۶۱-۱۷۸.

شفقی، سیروس، و مدنی، حسن. (۱۳۶۳). زمین‌شناسی عمومی. پلی تکنیک تهران. چاپ اول. تهران، ایران.

عباس‌نژاد، احمد. (۱۴۰۲). موقعیت زمین‌ریخت شناسی شهرهای ایران و برخی از محدودیت‌ها و مزایای ناشی از آن. فصلنامه علوم زمین، ۲۲ (۲)، ۲۰۵-۲۲۲. doi: 10.22071/

GSI.2022.359402.2028

غضبان، فریدون. (۱۳۸۱). زمین‌شناسی زیست‌محیطی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول. تهران، ایران.

فرزاد، هومان. (۱۳۶۲). در جستجوی منابع ناشناخته آب و انرژی در ایران. سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران. چاپ اول. تهران، ایران.

قبادیان، عطاءالله. (۱۳۶۹). سیمای طبیعی فلات ایران. دانشگاه شهید باهنر کرمان. چاپ اول. کرمان، ایران.

کوثر، سید آهنگ. (۱۳۷۴). مقدمه‌ای بر مهار سیلاب‌ها و بهره‌وری بهینه از آن‌ها: آبیاری سیلابی، تغذیه مصنوعی، بندهای کوتاه خاکی. موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، وزارت جهاد سازندگی. چاپ اول. تهران، ایران.

کوثر، سیده شباهنک، رئیسی اردکانی، عبدالله، حاتمی، احمد، بذرافکن، محمود، آل حسین، سید اصغر، کاظمی، درنا، و کوثر، سید آهنگ. (۱۳۹۸). سیل نفرین نیست، بخشی است در جامه‌ای ناشناخت. انتشارات نوید شیراز. چاپ اول. تهران، ایران.

کوثر، سید. آهنگ. (۱۳۹۹). وینار ملی دانش بومی آبخوان داری در کشور، مدیریت پایدار سرزمین، ۱۸/۰۹/۱۳۹۹.

لاکس، پیتز. (۱۳۷۴). مدیریت منابع آب و توسعه پایدار (بخش دوم). آب و توسعه، فصلنامه امور آب- وزارت نیرو، ۴(۴)، ۱۶-۱۷.

لیستر، رزماری، و برد بروک. آدریان. (۱۳۹۵). حقوق انرژی و محیط‌زیست. مترجم: آرامش شهبازی. دانشگاه علامه طباطبائی. چاپ اول. تهران، ایران.

محمودیان، بهنام. (۱۳۷۴). شناخت عوامل موثر در جریان‌های واریزه‌ای به‌منظور مهار آن‌ها (مطالعه موردی: مسیل گلاب‌دره تهران). آب و توسعه، فصلنامه امور آب- وزارت نیرو ۳(۴)، ۶۳-۷۲.

مقصودی، بیژن، فاضلی نشلی، حسن، قاسم، عزیزی، گیل‌مور، گوین، و اشمیت، آرمین. (۱۳۹۱). نقش مخروط افکنه‌ها در توزیع سکونتگاه‌های انسانی پیش از تاریخ از دیدگاه باستان‌شناسی (مطالعه موردی: مخروط افکنه جاجرود و

- Vallecillo, S. Kakoulaki, G. La Notte, A. Feyen, L. Dottori, F., & Joachim M. (2020). Accounting for changes in flood control delivered by ecosystems at the EU level, *Ecosystem Services*, 44 (101142), 1-16. doi: [org/10.1016/j.ecoser.2020.101142](https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101142)
- Zipper, S C. Jaramillo, F. E, L W. Cornell, S E. Gleeson, T. Porkka, M. Häyhä, T. Crépin, A S. Fetzer, I. Gerten, D. Hoff, H. Matthews, N. Ricaurte-Villota, C. Kumm, M. Wada, Y., & Gordon, L . (2020). Integrating the water planetary boundary with water management from local to global scales. *Earth's Future*, 8(2), 1-23. doi: [10.1029/2019EF001377](https://doi.org/10.1029/2019EF001377)
- حاجی عرب). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۴(۴)، ۲۲-۱. doi : [10.22059/JPHGR.2012.30239](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2012.30239)
- معیری، مسعود، انتظاری، مژگان. (۱۳۸۷). سیلاب و مروری بر سیلاب‌های استان اصفهان. مطالعات برنامه‌ریزی سکونت گاه‌های انسانی (چشم‌انداز جغرافیایی)، ۳(۶)، ۱۱۰-۱۲۴.
- میرابوالقاسمی، هادی. (۱۳۷۷). اثرات احداث سد بر تعادل طبیعی رودخانه‌ها و برخی از جنبه‌های زیست‌محیطی آن. آب و توسعه، فصلنامه امور آب- وزارت نیرو ۶(۱)، ۴۱-۵۰.
- ناسوتی، محمد. (۱۳۷۳). نگاهی گذرا به منابع آب جهان و سهم ایران از آن. آب و توسعه، فصلنامه امور آب- وزارت نیرو، ۲(۲): ۸۵-۹۰.
- نیکنامی، کمال‌الدین. (۱۳۸۳). سنجش تأثیر تغییر بافت بهره‌وری از زمین در یکپارچگی زمین‌سیمای طبیعی و باستان‌شناختی. مجله محیط‌شناسی، ۳۰(۳۵)، ۵۱-۶۰. doi : [20.1001.1.10258](https://doi.org/10.1001.1.10258.60-51)
- [620.1383.30.35.3.8](https://doi.org/10.1001.1.10258.60-51)
- هاو، جازلز. (۱۳۷۷). موانع کاربرد تحلیل‌های علوم اجتماعی در تصمیم‌گیری‌های امور آب. آب و توسعه، فصلنامه امور آب- وزارت نیرو، ۶(۱): ۲۸-۳۶.
- هیگینز، کترین، و بییر، آن‌آر. (۱۳۸۱). برنامه‌ریزی محیطی برای توسعه زمین (راهنمایی برای برنامه‌ریزی و طراحی محلی پایدار). مترجمان: سید حسین بحرینی و کیوان کریمی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم. تهران، ایران.
- یاوری، احمدرضا، زبردست، لعبت، و هاشمی، سید محمود. (۱۳۹۶). شناخت استعداد سرزمین در فلات ایران. انتشارات آوای قلم. چاپ اول. تهران، ایران.
- یاوری، احمدرضا، و طیب‌زاده، نگار. (۱۳۹۶). سنجش و ارزیابی در برنامه‌ریزی استفاده از سرزمین. انتشارات آوای قلم. چاپ اول. تهران، ایران.
- Huggins, X. Gleeson, T. Castilla-Rho, JC. Holley, C. Re, V., & Famiglietti, J. (2022). Groundwater in complex adaptive social-ecological systems. review in Groundwater. <https://www.researchgate.net/publication/1-56>, doi: [10.31223/X5F93P](https://doi.org/10.31223/X5F93P)
- Jakeman, A. Barreteau, O. Hunt, R. Rinaudo, J., & Ross, A. (2016). Integrated Groundwater Management Concepts, Approaches and Challenges. Springer Nature. Switzerland. doi: [10.1007/978-3-319-23576-9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9)
- Kiedrzyńska, E. Kiedrzyński, M., & Zalewski, M. (2015). Sustainable floodplain management for flood prevention and water quality improvement. *Natural Hazards*. 76, 955-977. doi: [org/10.1007/s11069-014-1529-1](https://doi.org/10.1007/s11069-014-1529-1)

Analysis of Flood Governance and Risk Management

M. Oskouhi¹, K. Esmaili^{2*}, A.N. Ziaei²

1, 2- Ph.D. Candidate and Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: esmaili@um.ac.ir)

Received: 04-09-2023

Revised: 12-12-2023

Accepted: 20-12-2023

Available Online: 21-12-2023

تحلیلی بر حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب

مآنده اسکوهی^۱، کاظم اسماعیلی^{۲*}، علی نقی ضیائی^۲

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، سازه‌های آبی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: esmaili@um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

Abstract

Flood governance and risk management involve measures and strategies aimed at reducing the risk of floods and managing their impacts. This process includes identifying and evaluating risks, planning and prevention, readiness for response and performance in crisis situations, effective and rapid response to floods, and constructive measures and continuous improvement. The main approach of this research is based on five themes related to various issues related to flood risk management, which include stakeholder engagement, policies and action, research on practice, supporting tools, governance, and frameworks. The study of flood risk management has experienced significant developments over the past two decades. Attention to the application of flood risk management and comparative analysis of flood governance in flood management studies has been undertaken, which means creating a complex arrangement that shapes the behavior of governance and social actors regarding flood risk management. Based on the results of the review of research sources, the main structures of flood risk management and flood governance studies are strongly interrelated but also differ in their main structures, which are evident in the discovered keywords in the analysis. The articles were codified based on the main topics in MAXQDA software, and then the complete sets of codes in all reviewed articles were examined. The findings of the research show that improving flood resilience requires extensive efforts in the fields of physical and social sciences. Researchers should, for flood forecasting and modeling, in addition to the physical sciences, develop social science tools. These actions can help improve the planning and management of flood crises and reduce their social and economic effects..

Keywords: Governance, Flood Risk Management, Resilience, MAXQDA Software.

چکیده

حکمرانی و مدیریت ریسک سیل شامل تدابیر و راهبردهایی است که به منظور کاهش خطر سیلاب و مدیریت اثرات آن طراحی می‌شوند. این فرایند شامل شناسایی و ارزیابی خطر، برنامه‌ریزی و پیشگیری، آمادگی برای واکنش و عملکرد در شرایط بحرانی، پاسخگویی سریع و مؤثر در مواجهه با سیلاب، اجرای تدابیر سازنده و بهبود مستمر است. رویکرد اصلی این پژوهش بر پنج موضوع نهاده شده است که به مسائل مختلف مرتبط با حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب می‌پردازد و شامل مشارکت ذی‌نفعان، سیاست‌ها و اقدامات، تحقیق در عملیات، ابزارهای پشتیبانی و چارچوب‌ها می‌باشد. مطالعه مدیریت ریسک سیلاب در دو دهه گذشته تحول چشمگیری را تجربه کرده است. توجه به کاربرد مدیریت ریسک سیلاب و تحلیل مقایسه‌ای حکمرانی ریسک سیلاب در مطالعه مدیریت سیلاب صورت گرفته است که به معنای ایجاد چیدمان پیچیده‌ای است که رفتار عوامل حاکمیتی و اجتماعی در مورد مدیریت ریسک سیلاب را شکل می‌دهد. با توجه به بررسی منابع مطالعاتی، بین ساختار اصلی مطالعات مدیریت ریسک سیلاب و حکمرانی ریسک سیلاب همبستگی زیادی وجود دارد. مقاله‌های مورد بررسی بر اساس موضوعات اصلی در نرم‌افزار MAXQDA کدگذاری شدند، سپس مجموعه کامل کدها در تمام مقاله‌ها بررسی شدند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد بهبود تاب‌آوری در برابر سیلاب نیازمند تلاش‌های گسترده‌ای در زمینه‌های علوم فیزیکی و اجتماعی است. پژوهشگران باید برای پیش‌بینی و مدل‌سازی سیلاب، علاوه بر علوم فیزیکی به توسعه ابزارهای علوم اجتماعی بپردازند. این اقدامات می‌تواند به بهبود برنامه‌ریزی و مدیریت بحران‌های سیلاب کمک کرده و تأثیرات اجتماعی و اقتصادی آن را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: حکمرانی، مدیریت ریسک سیلاب، تاب‌آوری، نرم‌افزار MAXQDA.

به طور کلی، سیلاب پرتکرارترین و پر هزینه ترین خطر طبیعی است (United Nations, ۲۰۱۵). در مطالعات گذشته رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی، تشدید و گسترش فعالیت های اقتصادی در مناطقی که در معرض سیلاب هستند، به عنوان عوامل اصلی افزایش خسارت های سیلاب در آینده شناخته شده اند (Kundzewicz و همکاران، ۲۰۱۴؛ Alfieri و همکاران، ۲۰۱۶؛ Vitousek و همکاران، ۲۰۱۷). سیلاب ها تأثیرات اجتماعی و اقتصادی چشمگیری بر جوامع دارند و این تأثیرات گسترده و در حال رشد هستند. بر اساس گزارش گروه بازپرداخت بیمه سوئیس، سیلاب بیشتر از هر خطر طبیعی دیگری، بیش از نیم میلیارد نفر در سراسر جهان را هر سال تحت تأثیر قرار می دهد و میانگین خسارت سالانه سیلاب برابر با ۵۰ میلیارد دلار آمریکا است (Swiss Re Group, ۲۰۱۸). همچنین، گزارش گروه بین المللی تغییرات اقلیمی نشان می دهد رشد جمعیت جهانی، شهرنشینی و تغییرات اقلیمی باعث افزایش هزینه های اجتماعی و اقتصادی سیلاب خواهند شد. باتوجه به دامنه و شدت اثرات سیلاب، این پدیده به عنوان یک موضوع مهم در مطالعات علمی شناخته شده است و تحلیل های متخصصان در سراسر جهان برای درک بهتر علل بروز سیلاب و طراحی برنامه های کاهش آثار مربوط به آن، به کار گرفته می شوند. تجزیه، تحلیل و ارزیابی مدیریت ریسک سیلاب که یک رویکرد استراتژیک برای کاهش آثار سیلاب با استفاده از به اشتراک گذاشتن مسئولیت ها و استفاده از تنوع ابزارها است، موضوع مهمی می باشد (Klijn و همکاران، ۲۰۰۸؛ Simonovic, ۲۰۱۲؛ Sayers و همکاران، ۲۰۱۳). با این حال، حکمرانی ریسک سیلاب به معنای ترتیبات نهادی پیچیده ای که رفتار مسئولان دولتی و جامعه ای در ارتباط با مدیریت ریسک سیلاب را شکل می دهد، یک موضوع نسبتاً جدید است (Raadgever و همکاران، ۲۰۱۸).

در کشورهای توسعه یافته، رویکرد استاندارد مدیریت ریسک سیلاب، اغلب شامل استراتژی های مبتنی بر تاب آوری بوده است (Zevenbergen و Gersonius, ۲۰۰۷؛ Shrubsole, ۲۰۱۳)، تلاش برای کنترل ریسک سیلاب به کمک زیرساخت و کنترل رفتار با قوانین و مقررات (Holling و Meffe, ۱۹۹۶) وجود دارد. هدف استراتژی های مبتنی بر تاب آوری، حذف تهدیدات تا جایی که ممکن است و به حداقل رساندن پتانسیل تأثیرات نامطلوب بر جامعه است. اگرچه رویکرد مبتنی بر تاب آوری در برابر سیلاب می تواند حفاظت قابل توجهی در برابر آن را ارائه دهد، اما نمی تواند به خوبی با عدم قطعیت مقابله نماید (Meyer و همکاران، ۲۰۱۲). تمرکز بر تاب آوری می تواند به ویژه در مواردی که زیرساخت ها یا کنترل های نظارتی قادر به ارائه حفاظت کافی در برابر رویدادهای ناگهانی نیستند، زیرساخت های پرهزینه ای باشد و در بعضی موارد نمی تواند به صورت کامل جان انسان ها را حفاظت کند (Millerd و همکاران، ۱۹۹۴؛ Holling و Meff, ۱۹۹۶؛ Folke و همکاران، ۲۰۰۲).

Dawson و همکاران، ۲۰۱۱؛ Park و همکاران، ۲۰۱۳).

رویکردهای سازگاری، با پذیرش عدم قطعیت، به دنبال سازگاری به جای کنترل سیستم های محیطی، پاسخی مکمل به مدیریت ریسک سیلاب مبتنی بر تاب آوری ارائه می دهند. مدیریت تطبیقی سیستم های پویا با قابلیت تنظیم و توانایی سازگاری با تغییرات محیطی حداقل از دهه ۱۹۵۰ در دسترس بوده است (Walters و Hilborn, ۱۹۷۸). رویکردهای سازگاری در مدیریت ریسک سیلاب بر کاهش، مقابله و بازایی تغییرات مورد انتظار و غیرمنتظره با استفاده از طیف متنوعی از گزینه های سیاستی و مدیریتی تمرکز دارند. یکی از اجزای مهم انطباق در این رویکرد، یادگیری مستمر و پذیرش شرایط متغیر سیستم است (Akamani و Wilson, ۲۰۱۱؛ Zhou و همکاران، ۲۰۱۲؛ Van Wesenbeeck و همکاران، ۲۰۱۴). تمایل به به کارگیری رویکردهای سازگاری در مدیریت محیطی از اواخر دهه ۱۹۷۰ شروع شده است (Holling, ۱۹۷۸؛ Walters و Hilborn, ۱۹۷۸؛ Grayson و همکاران، ۱۹۹۴؛ Gunderson, ۱۹۹۹؛ Folke و همکاران، ۲۰۰۲؛ Allan و Stankey, ۲۰۰۹) و به تدریج در سیاست و عمل اتخاذ می شود (Nobel, ۲۰۱۵). رویکردهای سازگاری نیز برای مدیریت ریسک سیلاب مورد قبول قرار گرفته است. به عنوان مثال، برنامه کاهش خسارت سیلاب در کانادا (Millerd و همکاران، ۱۹۹۴) که پیش نیاز آن دور شدن از اتکا به سازه های کنترل سیلاب و در جهت رویکردهای غیرسازه ای و سازگارتر با شرایط است آن را تأیید نموده است.

اتحادیه اروپا به تازگی الزام به پذیرش دیدگاه سازگاری مدیریت ریسک سیلاب برای کشورهای عضو خود را در قانون قرار داده است. در این راستا دستورالعمل سیلاب اتحادیه اروپا در سال ۲۰۰۷ (European Council, ۲۰۰۷) معرفی شد که نه تنها کنترل سیلاب و آمادگی در برابر سیل را مشخص می کند، بلکه ظرفیت مقابله و سازگاری با حوادث سیلاب را نیز مورد توجه قرار می دهد. ظهور رویکردهای سازگاری بیشتر برای مدیریت ریسک سیلاب نشان می دهد که رویکردهای سنتی مبتنی بر تاب آوری بی ارزش نیستند. بهبود تاب آوری در برابر حوادث سیلاب و ایجاد ظرفیت برای انطباق با شرایط متغیر سیلاب نیازمند ترکیبی از هر دو رویکرد مبتنی بر تاب آوری و سازگاری است (Schelfaut و همکاران، ۲۰۱۱).

تاب آوری به معنای توانایی یک سیستم به منظور حفظ عملکرد، ساختار و هویت سیستم است (Folke و همکاران، ۲۰۱۰). در دو دهه گذشته تمرکز بر این مسئله که چگونه «حکمرانی خوب» می تواند تاب آوری در برابر سیلاب را ارتقا دهد افزایش یافته است (Dwyer و همکاران، ۱۹۹۷؛ Rahman و Buck-land, ۱۹۹۹؛ Cutter و همکاران، ۲۰۰۰؛ Smits و همکاران، ۲۰۰۶؛ Levy و همکاران، ۲۰۰۷؛ Carter و همکاران، ۲۰۰۹؛ Rosner و همکاران، ۲۰۱۴؛ Borba و همکاران، ۲۰۱۵). مفهوم تاب آوری به عنوان یک مفهوم شناخته شده در حوزه مدیریت ریسک، به ظرفیت یک سیستم، جامعه یا

سازمان برای تحمل، تعامل و بازبایی در مواجهه با تغییرات، نوسانات یا حوادث ناخواسته اشاره دارد. در واقع، تاب‌آوری به اندازه‌گیری و تقویت قدرت سیستم برای مقابله با تهدیدات و سپری کردن اثرات منفی آن‌ها می‌پردازد. تاب‌آوری شامل قابلیت‌هایی است که به سازمان‌ها یا جوامع کمک می‌کند تا در مواجهه با تغییرات و شوک‌ها، عملکرد مناسب داشته باشند و به سرعت واکنش نشان دهند. این مفهوم شامل جنبه‌های مختلفی مانند ایمنی، پایداری، آمادگی، شفافیت، همکاری و بازبایی می‌شود.

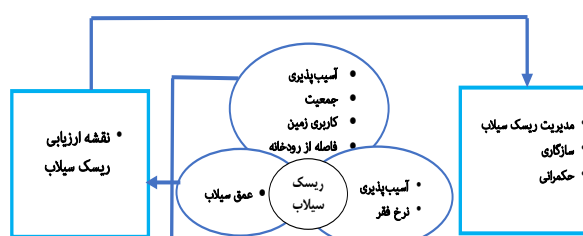
حکمرانی به فرآیندهای گسترده نهادها، سیاست‌ها و روابطی اطلاق می‌شود که از طریق آن‌ها تصمیم‌گیری‌ها و اقداماتی انجام می‌شود که بر سیستم‌های محیطی و اجتماعی تأثیر می‌گذارد، در مقابل، مدیریت شامل تصمیمات عملیاتی برای دستیابی به نتایج خاص است (Armitage و همکاران، ۲۰۱۲) و ممکن است به عنوان زیرمجموعه‌ای از حکومت تلقی شود. ابتکارات تحقیقاتی چند رشته‌ای، به‌ویژه در اروپا تلاشی برای توسعه رویکردهای تاب‌آوری در حوزه مدیریت ریسک سیلاب را نشان می‌دهند؛ باین حال، در بسیاری از موارد، حکمرانی محدود به مجموعه‌ای از استراتژی‌ها، سیاست‌ها و اقدامات شده است، این محدودیت به‌ویژه در نهادهایی که ذاتاً در برابر تغییر مقاوم هستند، مشاهده می‌شود (Knieper و Pahl-Wostl، ۲۰۱۴؛ Barnett و همکاران، ۲۰۱۵؛ Penning-Russell و Johnson، ۲۰۱۵). برای بهبود مدیریت ریسک سیلاب و افزایش تاب‌آوری در برابر سیلاب، ضرورت استفاده از متون علمی موجود آشکار است. باین حال، تاکنون هیچ تحقیقی در مورد وضعیت تحقیقات تاب‌آوری مدیریت ریسک سیلاب در رابطه با حکمرانی یا شکاف‌های کلیدی در دانش که باید برای بهبود تاب‌آوری در برابر سیلاب مورد توجه قرار گیرد، انجام نشده است. بهبود در این زمینه نیازمند تحقیقات بیشتر و شناسایی نقاط قوت و ضعف در حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب و مدیریت تاب‌آوری در برابر تغییرات است؛ بنابراین، هدف این پژوهش، ارزیابی ماهیت و دامنه تحقیقات علمی در مورد حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب با رویکرد تاب‌آوری است.

مواد و روش‌ها

همکاری و مشارکت عمومی می‌تواند به عنوان یک عامل بسیار مهم در یک موضوع تحقیقاتی در نظر گرفته شود که به عنوان مشارکت ذی‌نفعان نام دارد. این نوع کدگذاری و طبقه‌بندی موضوعات و تحقیقات، به تفسیر مقاله و حوزه موضوعی وابسته است. کدگذاری اولیه، توسط مفهوم حکمرانی و سیاست‌گذاری در مورد مدیریت محیط‌زیست، بر طبق مضامین گسترده‌تری مانند "حکمرانی"، "سیاست" و "نظریه" متمرکز شده بود و با پیشرفت در کدگذاری با نرم‌افزار MAXQDA و تحلیل آن، اصلاح شد. این نرم‌افزار برنامه‌ای کاربردی برای تحلیل پژوهش‌های کیفی است که محیط مناسبی

را برای تحلیل محتوای متن با استفاده از کدگذاری فراهم می‌کند. همچنین به منظور تحلیل داده‌های ساختارنیافته و نیمه ساختاریافته از جمله مصاحبه‌ها، مقالات، رسانه‌ها، نظرسنجی، مطالعات کیفی و ... از نرم‌افزار MAXQDA استفاده می‌شود. مقالات بر اساس موضوعات اصلی کدگذاری شدند، سپس مجموعه کامل کدها در تمام مقاله‌ها بررسی شد و در جایی که موضوعات پرداخته شده مشابه بودند، ترکیب شدند. برای اطمینان از اینکه کدها به خوبی محتوای مقالات را به تصویر می‌کشند، کدگذاری محوری چندین بار بررسی شد. ابتدا موضوع اصلی از مقاله‌ها استخراج شد. سپس، برای شناسایی روابط در تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب، تحلیل و شناسایی مقالاتی که به بیش از یک موضوع پرداخته بودند، تکرار شد (بعضی مقاله‌ها چند موضوع محوری را بررسی کردند و فقط زیرمجموعه یک عنوان نبودند و در چند تقسیم‌بندی قرار گرفتند) و همچنین مقالاتی که به راحتی نمی‌شد آن‌ها را در هیچ موضوع واحدی در دوره‌های اولیه کدگذاری طبقه‌بندی کرد، در نظر گرفته شد. تمرکز اصلی در این مقاله بر تحلیل تحقیقات علمی ارائه شده در مقاله‌های نشریات معتبر بین‌المللی می‌باشد. مطالعات تطبیقی یا هم‌سنجی یکی از روش‌های تحقیق در علوم اجتماعی است که هدف آن بررسی و مقایسه فرهنگ‌ها و عادات‌های مختلف در کشورها و مناطق مختلف می‌باشد. یکی از مشکلات اصلی در این نوع تحقیقات، تفاوت در تعریف مجموعه داده‌ها و امکان استفاده از دسته‌بندی‌های متفاوت در مناطق مختلف است. مطالعات تطبیقی به طریق ساده‌تر، روشی برای مقایسه دو یا چند چیز با هدف پیدا کردن مسئله خاص در باره یک یا چندین نوع مسئله است که با هم مقایسه می‌شوند. این روش معمولاً در یک پژوهش که از چندین رشته تشکیل شده است (به عنوان یک پژوهش میان‌رشته‌ای)، استفاده می‌شود و در بیشتر موارد این نتیجه‌ای که روش‌شناسی خاصی برای مطالعات تطبیقی وجود ندارد، به دست می‌آید. راهبرد مناسب در این حوزه، استفاده از یک رویکرد میان‌رشته‌ای و انعطاف‌پذیر است، باین حال نتایج به دست آمده از مطالعات تطبیقی هیچ قطعیت خاصی در ارائه پاسخ یکپارچه و منسجم ندارند. به علت ماهیت پویایی و پیچیدگی مسائل مطرح در حوزه مطالعات تطبیقی، در کنار عدم قطعیت در نتایج به دست آمده، دشواری‌هایی در ارائه پاسخ‌هایی که بتوانند به صورت یکپارچه و منسجم به چالش‌های موجود پاسخ دهند، وجود دارد. در نتیجه، برای ارائه پاسخ‌های جامع و یکپارچه در این حوزه، لازم است نتایج به دست آمده توسط افراد ذی‌صلاح با دقت ارزیابی و تحلیل شوند. در حوزه مطالعات تطبیقی، به طور قطع روش‌هایی وجود داشته و دارند که بسیار معمول هستند. مثلاً می‌توان اظهار کرد که در این روش، تجزیه و تحلیل کمی اطلاعات استفاده می‌شود و در اغلب مطالعات تطبیقی، داده‌های کمی به عنوان نقطه شروع استفاده می‌شوند. در این صورت، ممکن است نیاز به معیارهای کمی وجود داشته باشد که می‌توانند در محاسبه میزان تأثیر مؤلفه‌های مختلف در عملکرد

سیستم کمک کنند. باین حال، داده‌های کیفی اهمیت زیادی دارند، زیرا ممکن است ارزیابی صحیحی از نحوه کار سیستم و تأثیر تغییرات در شرایط مختلف به دست آید؛ بنابراین، برای بهبود سطح دقت و قطعیت در این روش، بهتر است داده‌های کمی و کیفی هر دو در نظر گرفته شود. اولین پژوهشی که در زمینه حکمرانی و تاب‌آوری در برابر سیلاب منتشر شد، توسط Corradini و همکاران (۱۹۸۷) ارائه شده است. پس از تحلیل و بررسی در این زمینه نتایج به این صورت به دست آمده که بیشتر مقاله‌ها در زمینه حکمرانی سیلاب بعد از سال ۲۰۰۸ منتشر شده است. در این زمینه می‌توان به پژوهش Klijn و همکاران (۲۰۰۸) اشاره نمود. در شکل (۱) چارچوب ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب ارائه شده است.



شکل ۱- چارچوب ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب (Luu و همکاران، ۲۰۲۰)

نتایج و بحث

• اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیلاب

اقدامات سازه‌ای می‌تواند شامل ساخت سدها، مخازن ذخیره آب، سیستم‌های زهکشی و... باشد. درحالی که اقدامات غیرسازه‌ای شامل ارتقای سیستم‌های هشدار سیل و اطلاع‌رسانی در صورت وقوع سیلاب، توسعه منابع اطلاعاتی و افزایش آگاهی عمومی در خصوص ایمنی در شرایط سیلابی، مدیریت بحران، تدابیر اجتماعی و خدمات روانشناختی برای کمک به افراد تحت تأثیر سیلاب و همچنین بررسی و تغییر کاربری اراضی به منظور کاهش خطرات سیلاب می‌شود. اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای در کنار یکدیگر می‌توانند کمک کننده باشند تا اثرات سیلاب به حداقل برسد و خسارت‌های ناشی از آن کاهش یابد. حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب به عنوان یکی از مهمترین اقدامات غیرسازه‌ای کنترل سیلاب تلقی می‌شود که شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌ها و اقدامات مرتبط با شناسایی، ارزیابی، کنترل و کاهش اثرات سیلاب می‌باشد. این اقدامات برای کاهش خسارت‌های انسانی و اقتصادی ناشی از سیلاب و افزایش توانمندی‌های اجتماعی و اقتصادی در مقابله با سیلاب انجام می‌شود.

• پیشرفت در تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب

پنج حوزه کلیدی مرتبط با حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب برای تاب‌آوری با کدگذاری در متن مقاله‌ها انجام شد که این

موضوعات که در زیر توضیح داده می‌شوند عبارت‌اند از: مشارکت ذی‌نفعان، سیاست‌ها و اقدامات، تحقیق در عملیات، ابزارهای پشتیبانی و چارچوب‌ها.

۱- مشارکت ذی‌نفعان

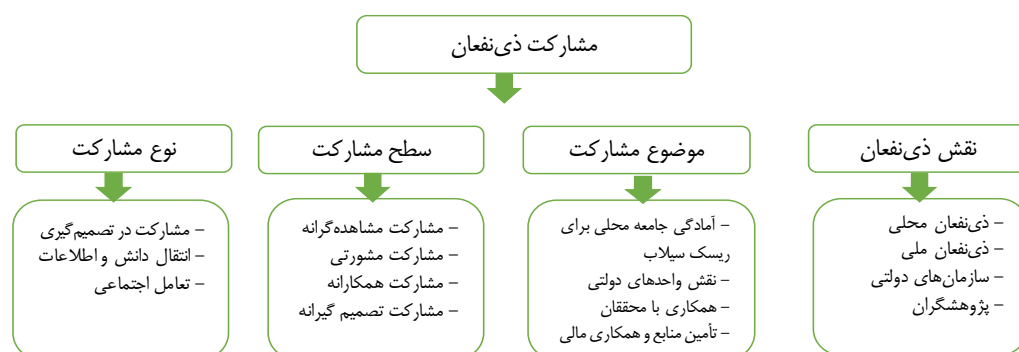
مشارکت ذی‌نفعان در مدیریت و حکمرانی ریسک سیلاب بسیار مهم است. ذی‌نفعان شامل هر شخص، جامعه، سازمان، دولت و سایر فرآیندهایی هستند که متأثر از خطرات سیلاب خواهند بود لذا، می‌توانند در تصمیمات، اجرا و نظارت بر مدیریت ریسک سیلاب مشارکت کنند و تأثیرگذاری خود را در این حوزه افزایش دهند. مشارکت‌های ذی‌نفعان می‌تواند در مراحل مختلف مدیریت ریسک سیلاب، از جمله تهیه داده‌ها و اطلاعات، تحلیل و معرفی خطرات، توسعه و پیاده‌سازی سیاست‌های پیشگیری و کاهش خطرات، تخصیص منابع، اولویت‌بندی فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی بحران، استفاده شوند. همچنین، سازمان‌های مردم‌نهاد، سازمان‌های دولتی و شرکت‌های خصوصی، بخش علمی و تحقیقاتی می‌توانند متحد شده و برای گام‌های عملیاتی جهت مدیریت بهتر خطرات سیلاب کمک کنند. در تحقیقات شامل موضوع مشارکت ذی‌نفعان در مدیریت ریسک سیلاب، به بحث سازمان‌ها و ساختارهای آن‌ها، تعاملات با ذی‌نفعان و دیدگاه‌های آن‌ها در مورد مدیریت ریسک سیلاب، می‌پردازند.

بخشی از مقاله‌ها به موضوع مشارکت ذی‌نفعان، رفتارهای فردی و گروهی مرتبط با خطر سیلاب، اثربخشی حکمرانی و تأثیر آن بر مدیریت ریسک سیلاب، توسعه و پذیرش استراتژی‌ها و سیاست‌های مدیریت ریسک سیلاب، پرداخته‌اند (Ingirige و Wedawatta, ۲۰۱۴; Jeffers, ۲۰۱۴; Thorne, ۲۰۱۴). بررسی ایده‌ها، تجربیات و اطلاعات بین سازمان‌ها و چرایی ارتباطات، اهمیت ویژه‌ای دارد. در مقاله‌های Head (۲۰۱۴)، Thaler (۲۰۱۴) و Osberghaus (۲۰۱۵) به ساختار و سبک حکمرانی در مدیریت ریسک سیلاب پرداخته شده است. در مقاله‌های Nye و همکاران (۲۰۱۱)، Johannessen و Hahn (۲۰۱۳) و Stevens و Hanschka (۲۰۱۳) روی سبک‌های مختلف حکمرانی که در مدیریت ریسک سیلاب استفاده می‌شوند یا می‌توانست استفاده شوند، مانند سلسله مراتب، تمرکززدایی، چندمحوری بودن و همه‌سالاری، تمرکز شده است. Neuvel و van der Knaap (۲۰۱۰) و Cashman (۲۰۱۱) در پژوهش‌هایی تحت عنوان مشارکت ذی‌نفعان، به موضوعات مرتبط با مشارکت عمومی تمرکز کرده‌اند و به اهمیت و روش‌های مشارکت عمومی، ارتباطات مناسب و مؤثر در فرآیندهای مدیریت ریسک سیلاب پرداخته‌اند. تعداد کمی از مقاله‌ها نقش و مسئولیت ذی‌نفعان را در حکمرانی مدیریت ریسک سیلاب بررسی کردند. این مقاله‌ها به نحوه مشارکت دولت‌های ملی، منطقه‌ای، محلی و همچنین سازمان حفاظت از محیط‌زیست در مدیریت ریسک سیلاب پرداخته‌اند. در جدول (۱) تعدادی از پژوهش‌ها در زمینه

مشارکت ذی‌نفعان در حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب ارائه شده است و در شکل (۲) کدگذاری محوری مشارکت ذی‌نفعان در پژوهش‌های حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب با استفاده از نرم‌افزار تحلیل داده MAXQDA نشان داده شده است.

جدول ۱- تعدادی از پژوهش‌ها در زمینه مشارکت ذی‌نفعان

پژوهش‌ها در زمینه مشارکت ذی‌نفعان	
(Posthumus و همکاران، ۲۰۰۸)، (van der Knaap و Neuvel، ۲۰۱۰)، (White و همکاران، ۲۰۱۰)، (Penning-Rowse و Green، ۲۰۱۰)، (Cashman، ۲۰۱۱)، (Lee و Chen، ۲۰۱۱)، (Nye و همکاران، ۲۰۱۱)، (Tseng و Penning-Rowse، ۲۰۱۲)، (Evers و همکاران، ۲۰۱۲)، (Hahn و Johannessen، ۲۰۱۳)، (Stevens و Hanschka، ۲۰۱۳)، (Ingirige و Wedawatta، ۲۰۱۴)، (Jeffers، ۲۰۱۴)، (Thorne، ۲۰۱۴)، (Head، ۲۰۱۴)، (Thaler، ۲۰۱۴)، (Osberghaus، ۲۰۱۵)، (Wehn و همکاران، ۲۰۱۵)، (Almoradie و همکاران، ۲۰۱۵)، (Levin-Keitel و Thaler، ۲۰۱۶)، (Benson و همکاران، ۲۰۱۶)، (Geaves و Penning-Rowse، ۲۰۱۶)، (Maskrey و همکاران، ۲۰۱۶)، (Kuhlicke و همکاران، ۲۰۱۶)، (Batica و Gourbesville، ۲۰۱۶)، (Edelenbos و همکاران، ۲۰۱۷)، (Begg، ۲۰۱۸)، (Begg و همکاران، ۲۰۱۸)، (O'Donnell و همکاران، ۲۰۱۸)، (Dell'Ovo و همکاران، ۲۰۱۸)، (Nouzari و همکاران، ۲۰۲۰)، (Puzyreva و de Vries، ۲۰۲۱)، (Blázquez و همکاران، ۲۰۲۱)، (Maskrey و همکاران، ۲۰۲۲)، (Puzyreva و همکاران، ۲۰۲۲)، (Ebekozen و همکاران، ۲۰۲۳)	



شکل ۲- کدگذاری محوری مشارکت ذی‌نفعان در پژوهش‌های حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب

- استفاده از روش‌های پایدار در طراحی و اجرای سیستم‌های مدیریت ریسک سیلاب، از جمله استفاده از رویکردهای اکوسیستمی و سیستم هوشمند در جهت کاهش آسیب‌پذیری.
- اجرای برنامه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی باتوجه به ریسک سیلاب در مناطق آسیب‌پذیر.

در زمینه سیاست‌ها و اقدامات، مقاله‌ها به سه موضوع اصلی پرداخته‌اند: جداسازی الگوهای مدیریت ریسک سیلاب، ترکیب الگوهای مدیریت ریسک سیلاب و بررسی مطالعات پس از وقوع سیلاب. همچنین، تعدادی از این مقاله‌ها، مطالعات پس از سیلاب را با تمرکز بر رویدادهای خاص سیلاب، برای تجزیه و تحلیل تأثیرات مالی، مهندسی و انسانی ارائه داده‌اند (Frostick و Coulthard، ۲۰۱۰؛ Smith و Lawrence، ۲۰۱۴؛ Wedawatta و همکاران، ۲۰۱۴). تعدادی از مقاله‌ها از جمله Kundzewicz (۲۰۰۲)، Hartmann و Tempels (۲۰۱۴) و Zheng و همکاران (۲۰۱۴) به دو شیوه مدیریت ریسک سیلاب به‌عنوان دو الگوی مخالف (تاب‌آوری و سازگاری) تمرکز داشتند و سیاست‌ها و اقدامات مرتبط با مدیریت ریسک سیلاب در چارچوب هر یک از این دو الگو، بررسی شده‌اند. این مقاله‌ها رویکردهای تاب‌آوری و سازگاری را به‌صورت صریح یا ضمنی مخالف یکدیگر می‌دانند، همچنین ممکن است به رویکردهای خاصی از هر یک از این الگوها تمرکز کنند

۲- سیاست‌ها و اقدامات^۲

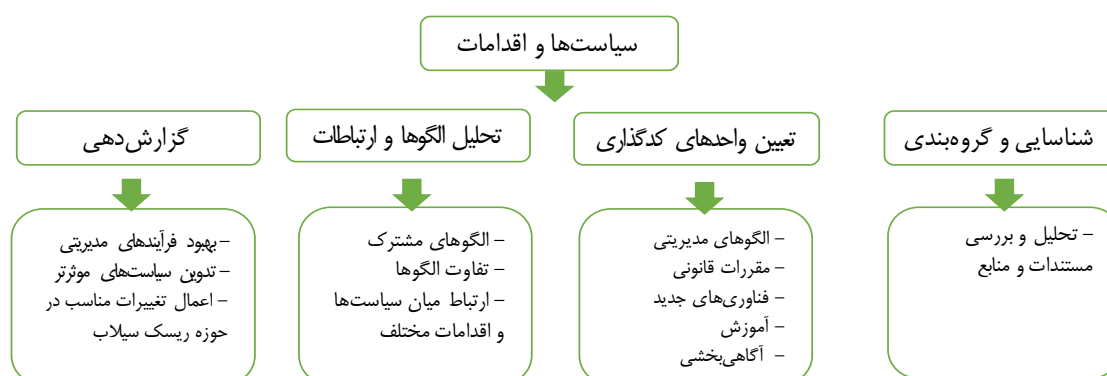
- سیاست‌ها و اقدامات در مدیریت و حکمرانی ریسک سیلاب می‌تواند شامل موارد زیر باشد:
- تهیه و تحلیل داده‌های ریسک سیلاب، از جمله داده‌های هیدرولوژی، فرسایش، کیفیت آب و ...
- تدوین و اجرای سیاست‌های ملی و منطقه‌ای مدیریت ریسک سیلاب شامل قوانین، مقررات، دستورالعمل‌ها و استانداردهایی که برای پیشگیری، کاهش خطرات و مدیریت بحران سیلاب تعیین شده‌اند.
- توسعه ساختارهای نهادی شفاف و پاسخگو برای مدیریت ریسک سیلاب در سطح ملی، مانند سازمان مدیریت بحران، سازمان حفاظت محیط‌زیست، سازمان جنگل‌ها و مراتع و ...
- ترویج و توسعه استفاده از فناوری‌های جدید و پیشرفته در جمع‌آوری داده‌های سیلاب و برآورد خطرات سیلاب، از جمله شبکه‌های حسگر، مدل‌های ماشینی و هوش مصنوعی.
- آموزش و افزایش آگاهی جامعه درباره خطرات سیلاب، راهکارهای پیشگیری، امکانات ایمنی، تدابیر اضطراری و برنامه‌های مدیریت بحران سیلاب.
- همکاری و هماهنگی میان مراجع مختلف مدیریتی و اجرایی در جهت تصمیم‌گیری مؤثر و افزایش هماهنگی در حوزه مدیریت ریسک سیلاب.

(Escaramia و همکاران، ۲۰۰۷؛ Surminski، ۲۰۱۴). در نهایت، Gersonius و همکاران (۲۰۱۳) و van Wesenbeeck و همکاران (۲۰۱۴) با تمرکز بر موضوع مدیریت ریسک سیلاب، به رویکردی ترکیبی از تاب‌آوری و سازگاری متمرکز شده‌اند و نتایج و اثربخشی این رویکرد ترکیبی برای مدیریت ریسک سیلاب را توصیف نموده‌اند.

در جدول (۲) تعدادی از پژوهش‌ها در زمینه سیاست‌ها و اقدامات حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب ارائه شده است و در شکل (۳) به ارائه کدگذاری محوری سیاست‌ها و اقدامات در پژوهش‌های حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب با استفاده از نرم‌افزار تحلیل داده MAXQDA پرداخته شده است.

جدول ۲- تعدادی از پژوهش‌ها در زمینه سیاست‌ها و اقدامات

پژوهش‌ها در زمینه سیاست‌ها و اقدامات
(Kundzewicz، ۲۰۰۲)، (Escaramia و همکاران، ۲۰۰۷)، (Coulthard و Frostick، ۲۰۱۰)، (Heintz و همکاران، ۲۰۱۲)، (Simonovic، ۲۰۱۲)، (Gersonius و همکاران، ۲۰۱۳)، (Lawrence و Smith، ۲۰۱۴)، (Wedawatta و همکاران، ۲۰۱۴)، (Tempels و Hartmann، ۲۰۱۴)، (Zheng و همکاران، ۲۰۱۴)، (Surminski، ۲۰۱۴)، (van Wesenbeeck و همکاران، ۲۰۱۴)، (Rosner و همکاران، ۲۰۱۴)، (Johnson و Penning-Russell، ۲۰۱۵)، (Raadgever و همکاران، ۲۰۱۸)، (شاکری رستمی و همکاران، ۱۴۰۰)، (Dottori و همکاران، ۲۰۲۳)



شکل ۳- کدگذاری محوری سیاست‌ها و اقدامات در پژوهش‌های حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب

۳-تحقیق در عملیات^۳

تحقیق در عملیات، روشی به‌منظور به‌کار بستن روش‌های تحلیلی توسعه یافته، برای کمک به تصمیم‌گیری بهتر می‌باشد. تحقیق در عملیات با استفاده از روش‌هایی مانند، مدل‌سازی ریاضی، برای تحلیل شرایط پیچیده، همواره به مدیران اجرایی توانایی اتخاذ تصمیم‌های مناسب‌تر و ایجاد سیستم کارا، بهینه و ثمربخش را خواهد داد. مقاله‌هایی که تحت عنوان تحقیق در عملیات طبقه‌بندی شده‌اند، به بررسی عملکرد حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب، تمرکز داشته است و اغلب گزینه‌های جدید یا جایگزین برای مدیریت ریسک سیلاب را پیشنهاد یا نقد می‌کنند. در این زمینه، مقاله‌هایی با تمرکز بر موانع و راه‌حل‌ها وجود دارد و پژوهش‌های کمتری بر نحوه عملی کردن اصول یا نظریه انجام شده است. تحقیق در عملیات در مدیریت و حکمرانی ریسک سیلاب می‌تواند روش‌های مختلف اجرایی در مدیریت ریسک سیلاب، برآورد خطرات سیلاب و طراحی و اجرای سیستم‌های مدیریت ریسک سیلاب را بررسی نماید. بعضی از موضوعاتی که در این حوزه می‌توان تحقیق کرد، عبارت‌اند از:

- بررسی عوامل مؤثر در موفقیت یا شکست سیستم‌های مدیریت ریسک سیلاب، ازجمله عوامل سازمانی، فنی، مالی و اجتماعی.

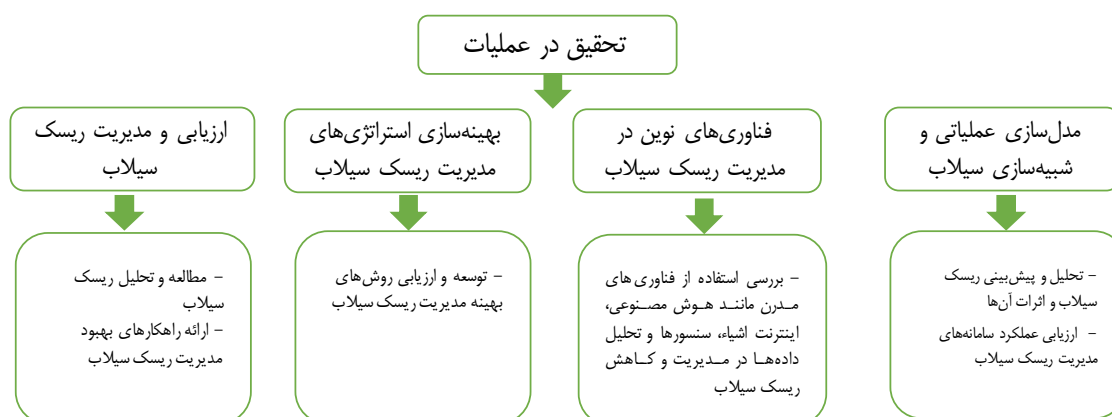
- تحلیل ریسک سیلاب و برآورد خطرات سیلاب در مناطق مختلف با استفاده از روش‌های مختلف، ازجمله مدل‌های هیدرولوژی، شبکه‌های حسگری و فناوری‌های دیگر.
- بررسی مزایا و معایب روش‌های مختلف مدیریت ریسک سیلاب، از جمله روش‌های ساختاری، غیر ساختاری و ترکیبی.
- بررسی نقش و کارکرد نهادهای مختلف در مدیریت ریسک سیلاب، شامل سازمان‌های دولتی، تشکلهای مردمی، بخش خصوصی و...
- بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر ریسک سیلاب و تدابیر و اقدامات در این زمینه.
- بررسی تأثیر استفاده از فناوری‌های جدید و پیشرفته در تسهیلات مدیریتی برای ریسک سیلاب، از جمله روش‌های پیشگیری، تشخیص و پاسخگویی به بحران.
- تحلیل هزینه-فایده روش‌های مختلف مدیریت ریسک سیلاب و ارائه راهکارهایی برای بهینه‌سازی هزینه‌ها و افزایش اثربخشی.
- بررسی تأثیر اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی ریسک سیلاب بر جامعه و تدابیر اقتصادی و اجتماعی جهت مدیریت ریسک سیلاب.
- مقاله‌هایی با موضوع موانع و راه‌حل‌ها، بر شناسایی موانع راهبردهای موفق مدیریت ریسک سیلاب و پیشنهاد راه‌حل‌های بالقوه تمرکز دارند. حکمرانی سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری محلی را در نظر نمی‌گیرد

(Haase, 2013; Jeffers, 2013) و دارای اولویت‌های متفاوت بین گروه‌های ذی‌نفعان (Butler و Pidgeon, 2011) می‌باشد. مقاله‌های تحقیق در عملیات، عمدتاً بر مطالعات موردی اجرای استراتژی‌ها، سیاست‌ها یا اقدامات مدیریت ریسک سیلاب تمرکز داشتند، مانند اجرای ناموفق پروژه بازسازی دشت سیلابی در آلمان (Guerrin و همکاران, 2014) و اثربخشی روش‌های ارتباط ریسک به‌عنوان

بخشی از فرآیند ارزیابی خطر سیلاب در رودخانه Sihl سوئیس (Buchecker و همکاران, 2013). در جدول (۳) به ارائه تعدادی از پژوهش‌ها در زمینه تحقیق در عملیات حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب پرداخته شده است و در شکل (۴) کدگذاری محوری تحقیق در عملیات در پژوهش‌های حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب با استفاده از نرم‌افزار تحلیل داده MAXQDA ارائه شده است.

جدول ۳- تعدادی از پژوهش‌ها در زمینه تحقیق در عملیات

پژوهش‌ها در زمینه تحقیق در عملیات
(Holling, 1978), (Cutter و همکاران, 2000), (Klijn و همکاران, 2008), (Butler و Pidgeon, 2011), (Schelfaut و همکاران, 2011), (Simonovic, 2012), (Haase, 2013), (Jeffers, 2013), (Buchecker و همکاران, 2013), (Park و همکاران, 2013), (Shrubsole, 2013), (Guerrin و همکاران, 2014), (Arnell و Lloyd-Hughes, 2014), (Morrison-Saunders و همکاران, 2014), (Olsson و همکاران, 2014), (Barnett و همکاران, 2015), (Alferi و همکاران, 2016), (خانیکی و میرمجلسی, 1398), (Goyal و همکاران, 2022), (Prakash و همکاران, 2023), (Gemtzi و همکاران, 2023)



شکل ۴- کدگذاری محوری تحقیق در عملیات در پژوهش‌های حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب

۴- ابزارهای پشتیبانی^۴

حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب نیازمند به‌کارگیری ابزارها و فناوری‌های مختلف است. برخی از ابزارهای مؤثر در حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب عبارت‌اند از:

- سامانه‌های هشدار سیلاب: این سامانه‌ها از طریق شبکه‌های حسگری و فناوری ارتباطی در صورت رخ دادن خطرات سیلاب به مردم هشدار می‌دهد.
- مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژی: این مدل‌ها به برآورد حجم و شدت سیلاب در مناطق مختلف می‌پردازند و می‌توانند در پیش‌بینی خطرات سیلاب مفید باشند.
- روش‌های ماشینی و هوش مصنوعی: استفاده از این روش‌ها در برآورد خطرات سیلاب مفید است.
- روش‌های نقشه‌برداری سیلاب: این روش‌ها به تعیین مناطق آسیب‌پذیر و محل ریسک سیلاب می‌پردازند و می‌توانند در تدوین برنامه‌های مدیریتی مفید باشند.
- خودکارسازی در جمع‌آوری داده‌های سیلاب: به‌واسطه استفاده از

نرم‌افزارهای مربوط به شبکه‌های حسگری و هوش مصنوعی می‌توان به‌طور خودکار داده‌های مربوط به سیلاب را جمع‌آوری نمود.

- روش‌های ارزیابی بحران سیلاب: این روش‌ها شامل تعریف وظایف و مسئولیت‌ها، ارزیابی وضعیت‌های بحرانی، طرح‌ریزی پاسخ و پشتیبانی پس از پایان بحران در مدیریت ریسک سیلاب می‌باشند.
- توسعه زیرساخت‌های مکانی: فناوری‌ها و ابزارهای GIS (سامانه اطلاعات جغرافیایی) می‌تواند در طراحی و اجرای برنامه‌های مدیریت ریسک سیلاب مفید بوده و اطلاعات لازم به‌صورت دقیقی را برای تصمیم‌گیری در مورد خطرات سیلاب فراهم کند.
- مدل‌های اقتصادی و مالی: استفاده از مدل‌های اقتصادی و مالی در تحلیل هزینه-فایده و ترجیح بین اقدامات مختلف در مدیریت ریسک سیلاب مفید است.

ابزارهای پشتیبانی شامل برنامه‌ها، رویه‌ها و فرآیندهایی هستند که می‌توانند برای پیش‌بینی، مدل‌سازی هیدرولوژیکی و کمک به برنامه‌ریزی مدیریت ریسک سیلاب استفاده شوند که عمده پژوهش‌های بررسی شده در حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب

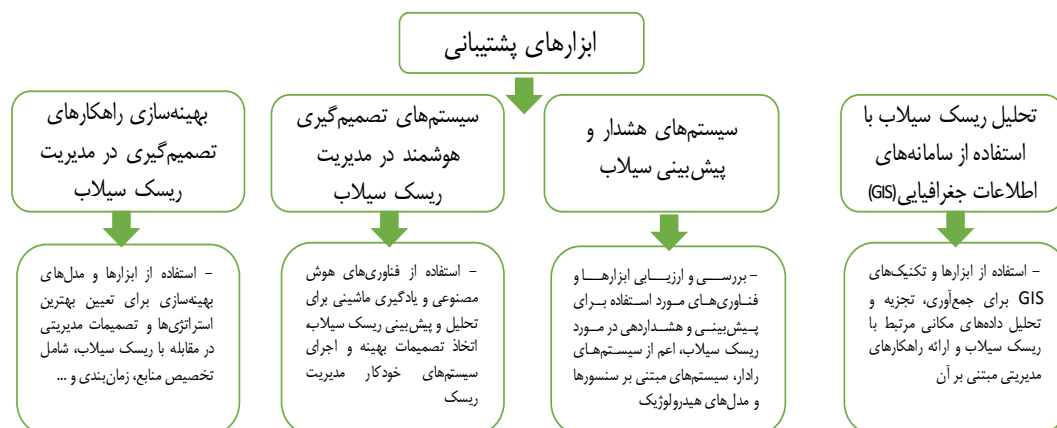
بر ابزارهای پشتیبانی تمرکز داشته‌اند. به صورت کلی، ابزارهای پشتیبانی برای مدیریت ریسک سیلاب شامل نوعی ورودی داده (مانند ارزش دارایی، داده‌های هیدرولوژیکی، اولویت‌های ذی‌نفعان) برای ارائه اطلاعات و تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی (مانند تجزیه و تحلیل ریسک، ارزیابی ریسک سیلاب فصلی، ارزیابی اقتصادی) و شامل برنامه‌های نقشه‌برداری برای برنامه‌ریزی در زمینه ریسک سیلاب می‌شوند. سه موضوع اصلی در این زمینه شامل جداسازی الگوهای مدیریت ریسک سیلاب، ترکیب الگوهای مدیریت ریسک سیلاب و بررسی مطالعات پس از سیلاب می‌باشد. Liang و Wang (۲۰۱۱)، Neyshabouri و Yazdi (۲۰۱۴) و Seo و همکاران (۲۰۱۵) ابزارهای پیش‌بینی، مدل‌سازی جریان سیلاب و پیش‌بینی فراوانی سیلاب را ارائه داده‌اند. در دومین موضوع مورد بحث که تعدادی از مقاله‌ها به آن پرداختند، ارزیابی و برنامه‌ریزی در خصوص ابزارهای موجود و پیشنهادی برای ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر سیلاب بررسی شد (Prudhomme و همکاران، ۲۰۱۳)، همچنین اثرات مالی بالقوه سیلاب نیز بررسی شد (Veerbeek و

Zevenbergen, ۲۰۰۹) که در بعضی موارد هدف آن پشتیبانی از فرآیندهای برنامه‌ریزی مدیریت ریسک سیلاب بوده است (Zhou و همکاران، ۲۰۱۲؛ Golz و همکاران، ۲۰۱۵). پژوهش‌های Woodward و همکاران (۲۰۱۴) و Gersonius و همکاران (۲۰۱۵) در زمینه مدیریت ریسک سیلاب با موضوع ارزیابی سیاست و تصمیم‌گیری مرتبط بودند و بر روی ابزارهایی برای ارزیابی جایگزین‌های سیاست، مانند تجزیه و تحلیل گزینه‌های واقعی به منظور کمک به تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاری با تمرکز بر کاهش ریسک، پرداخته شد. همچنین، برای حمایت از تصمیمات مدیریت ریسک سیلاب در محیط‌های چند ذی‌نفع، تجزیه و تحلیل تصمیمات چند معیاره انجام گرفته است (Porthin و همکاران، ۲۰۱۳). در جدول (۴) تعدادی از پژوهش‌ها در زمینه ابزارهای پشتیبانی در حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب ارائه شده است و در شکل (۵) کدگذاری محوری ابزارهای پشتیبانی در پژوهش‌های حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب با استفاده از نرم‌افزار تحلیل داده MAXQDA نشان داده شده است.

جدول ۴- تعدادی از پژوهش‌ها در زمینه ابزارهای پشتیبانی

پژوهش‌ها در زمینه ابزارهای پشتیبانی

(Corradini و همکاران، ۱۹۸۷)، (Grayson و همکاران، ۱۹۹۴)، (Dwyer و همکاران، ۱۹۹۷)، (Levy و همکاران، ۲۰۰۷)، (Klijn و همکاران، ۲۰۰۸)، (Carter و همکاران، ۲۰۰۹)، (Zevenbergen و Veerbeek، ۲۰۰۹)، (Strickert و همکاران، ۲۰۰۹)، (Meyer و همکاران، ۲۰۰۹)، (Sheate، ۲۰۰۹)، (Burch و همکاران، ۲۰۱۰)، (Liang و Wang، ۲۰۱۱)، (Dawson و همکاران، ۲۰۱۱)، (Zhou و همکاران، ۲۰۱۲)، (Kontogianni و همکاران، ۲۰۱۲)، (Meyer و همکاران، ۲۰۱۲)، (Simonovic، ۲۰۱۲)، (Pahl-Wostl و همکاران، ۲۰۱۳)، (Prudhomme و همکاران، ۲۰۱۳)، (Porthin و همکاران، ۲۰۱۳)، (Mechler و همکاران، ۲۰۱۴)، (Neyshabouri و Yazdi، ۲۰۱۴)، (Woodward و همکاران، ۲۰۱۴)، (Knieper و Pahl-Wostl، ۲۰۱۴)، (Daw و همکاران، ۲۰۱۵)، (Seo و همکاران، ۲۰۱۵)، (Golz و همکاران، ۲۰۱۵)، (Gersonius و همکاران، ۲۰۱۵)، (Tavares و Dos Santos، ۲۰۱۵)، (Di و Baldassarre و همکاران، ۲۰۱۵)، (Perera و همکاران، ۲۰۲۰)، (Zang و همکاران، ۲۰۲۲)



شکل ۵- کدگذاری محوری ابزارهای پشتیبانی در پژوهش‌های حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب

۵- چارچوب‌ها^۹

یکی از مهمترین مسائل در حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب، توسعه چارچوب‌های مناسب است. این چارچوب‌ها می‌توانند شامل ابزارها، روش‌ها و الزامات مختلفی باشند که هدف آن‌ها بهبود دقت تصمیم‌گیران و توسعه پاسخ‌های اثربخش مدیریت

ریسک سیلاب است؛ به عبارت دیگر، چارچوب‌های حکمرانی و مدیریت واسطه‌ای بین وضعیت موجود و آینده ریسک سیلاب در یک منطقه هستند. برخی از چارچوب‌های مهم در حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب عبارت‌اند از:

- چارچوب حکمرانی چند مقیاسی: این چارچوب برای پاسخ به

چالش‌های حکمرانی ریسک سیلاب در مقیاس‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، این چارچوب شامل جامعه و مقیاس‌های دولتی، شرکت‌ها و افراد می‌باشد.

• چارچوب مدیریت ریسک سیلاب پایدار: این چارچوب، به‌منظور ارائه روشی مناسب برای مدیریت اقتصادی و محیط‌زیستی ریسک سیلاب، ارائه شده است.

• چارچوب تصمیم‌گیری در مورد سیلاب: این چارچوب برای توزیع واحدهای سیلاب و مدیریت ریسک سیلاب، ارائه شده است.

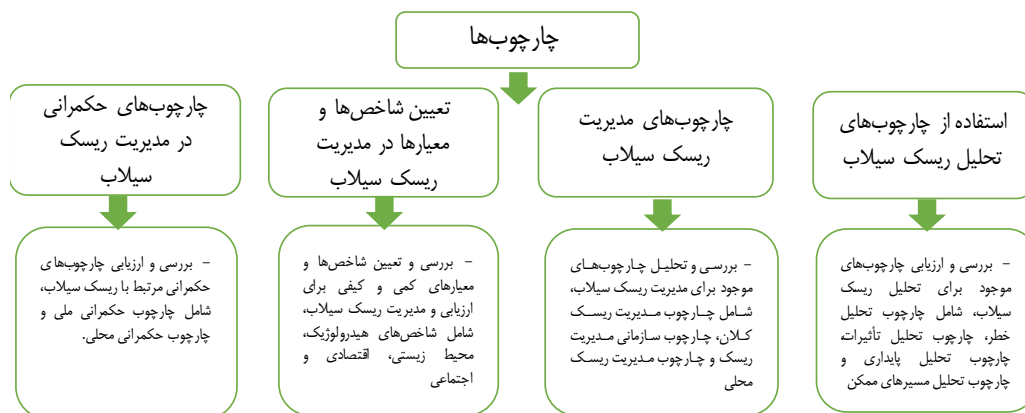
• چارچوب تعیین شاخص‌ها و معیارها در مدیریت ریسک سیلاب: این چارچوب به‌منظور بررسی و تعیین شاخص‌ها و معیارهای کمی و کیفی برای ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب، شامل شاخص‌های هیدرولوژیکی، محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی می‌باشد.

در کنار این چارچوب‌ها، برای مدیریت ریسک سیلاب در طول زمان، حکمرانی و مدیریت فرایندهای بهره‌برداری، نظارت همه‌جانبه، ارزیابی عملکرد، بهبود پایدار و ارتباط با جامعه محلی، سازمان‌های دولتی و متخصصان نیز بسیار مهم است. به همین دلیل، استفاده از چارچوب‌های مناسب در حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب، عامل اصلی موفقیت و پایداری این برنامه‌ها خواهد بود. موضوع تحقیقات نهایی در زمینه مدیریت ریسک سیلاب، شامل مقاله‌هایی است که بر چارچوب‌های حمایتی برای تحقیق، عمل و سیاست مدیریت ریسک سیلاب تمرکز دارند. این مقاله‌ها، سه موضوع مختلف را پوشش دادند. دو مقاله، به چارچوب‌های عملی یا کاربردی پرداختند که فرآیندهای توسعه استراتژی مدیریت ریسک سیلاب و اجرای سیاست‌ها را مورد بحث قرار دادند. به‌عنوان مثال، Gersonius و

همکاران (۲۰۱۲) یک فرآیند انطباق برای زیرساخت‌های مقاوم در برابر سیلاب در نظر گرفته‌اند که استراتژی مدیریت ریسک سیلاب را تعیین می‌کند، عملکرد را نظارت می‌کند و امکان تعدیل و پاسخ به دانش به دست آمده از طریق نظارت را فراهم می‌کند. از سوی دیگر، Sendzimir و همکاران (۱۹۹۹) از مدیریت و ارزیابی محیطی سازگار به‌عنوان یک چارچوب یکپارچه برای مدیریت ریسک سیلاب استفاده نموده‌اند. چارچوب‌های تحقیقاتی، مربوط به گردآوری رشته‌های مختلف برای حمایت از تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب یکپارچه‌تر، زیرساخت مقاله‌های این حوزه را تشکیل می‌دهند. در مقاله Van Ree و همکاران (۲۰۱۱)، پروژه تحقیقاتی FloodProBE بررسی شده که در آن به ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت، ارزیابی قابلیت اطمینان کنترل سیلاب، توسعه فناوری‌ها و مفاهیم جدید برای ارتقای اثربخشی حفاظت در برابر سیلاب پرداخته شده است. چارچوب‌های نهادی مربوط به ساختار سازمان‌ها، بیانگر نقش و مسئولیت‌های آن‌ها در میان ذی‌نفعان هستند. این چارچوب‌ها به شیوه ارتباط و همکاری بین دولت، سازمان‌های مرتبط، جوامع محلی، صنعت و سایر ذی‌نفعان برای رسیدن به اهداف مدیریت ریسک سیلاب، می‌پردازند. یکی از نمونه‌های آن تحلیل Van Herk و همکاران (۲۰۱۴) از تعامل و ارتباطات بین سازمان‌های مدیریت ریسک سیلاب می‌باشد. در جدول (۵) تعدادی از پژوهش‌ها در زمینه چارچوب‌های حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب ارائه شده است و در شکل (۶) کدگذاری محوری چارچوب‌ها در پژوهش‌های حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب با استفاده از تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار MAXQDA نشان داده شده است.

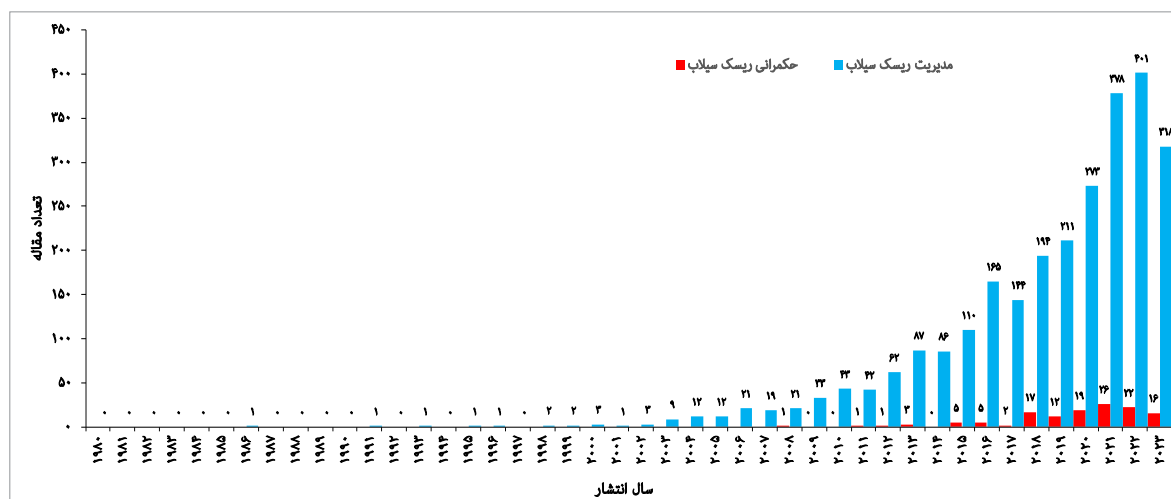
جدول ۵- تعدادی از پژوهش‌ها در زمینه چارچوب‌ها

پژوهش‌ها در زمینه چارچوب‌ها	
(Buckland و Rahman، ۱۹۹۹)، (Sendzimir و همکاران، ۱۹۹۹)، (Anderies و همکاران، ۲۰۰۴)، (Schanze، ۲۰۰۶)، (Van Ree و همکاران، ۲۰۱۱)، (Godden و Kung، ۲۰۱۱)، (Simonovic، ۲۰۱۲)، (Gersonius و همکاران، ۲۰۱۲)، (Armitage و همکاران، ۲۰۱۲)، (Crona و Parker، ۲۰۱۲)، (Morinville و Bakker، ۲۰۱۳)، (Clarvis و همکاران، ۲۰۱۴)، (Herk Van و همکاران، ۲۰۱۴)، (Cosens و همکاران، ۲۰۱۴)، (Borba و همکاران، ۲۰۱۵)، (Alexander و همکاران، ۲۰۱۶)، (حاجی بیگلو و شیخ، ۱۳۹۷)، (میرزایی و سعدالدین، ۱۳۹۸)، (Figueiredo و همکاران، ۲۰۲۰)، (Yildirim و Demir، ۲۰۲۱)، (Raška و همکاران، ۲۰۲۲)، (Huang و Zheng، ۲۰۲۳)	



شکل ۶- کدگذاری محوری چارچوب‌ها در پژوهش‌های حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب

تحقیقات بیشتر در این زمینه نیز الزامی است. بخشی از تحقیقات خارج از حوزه مدیریت ریسک سیلاب به چارچوب‌های حکمرانی محیط زیستی و سیاست عمومی می‌پردازد تا بهبود توانایی سازگاری با تغییرات محیط‌زیستی و اجتماعی را تحقق بخشد. در شکل (۷) تعداد مقالات منتشر شده در حوزه‌های مدیریت ریسک سیلاب و حکمرانی ریسک سیلاب به تفکیک بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳ نشان داده شده است که تعداد کم مقاله‌ها در حوزه حکمرانی ریسک سیلاب نسبت به مدیریت ریسک سیلاب واضح است.



شکل ۷- تعداد مقالات منتشر شده در حوزه‌های مدیریت ریسک سیلاب و حکمرانی ریسک سیلاب به تفکیک بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳

و مدیریت آن، برنامه‌ریزی و حکمرانی سیلاب، مدیریت پاسخ به بحران‌های سیلاب، کاهش خطرات و زیان‌های وابسته به سیلاب و نیز عوامل اجتماعی، اقتصادی و سیاسی که بر مدیریت ریسک سیلاب تأثیر می‌گذارند، برخی از حوزه‌های تحقیقاتی هستند که باید شکاف‌های موجود در آن بررسی شود. برای غلبه بر این چالش‌ها، می‌توان به روش‌هایی مثل هماهنگی و همکاری بین متخصصان مختلف، توسعه مدل‌های پویا و یکپارچه برای شبیه‌سازی، پیش‌بینی و مدیریت ریسک سیلاب، همچنین ترویج فرهنگ آموزش و آگاهی در جامعه برای پیشگیری و مدیریت بهینه سیلاب اشاره نمود. یک شکاف واضح در ادبیات مدیریت ریسک سیلاب بین علوم اجتماعی و فیزیکی وجود دارد. این شکاف در دو موضوع کلیدی تحقیقاتی مشهود است. یکی از آن‌ها مشارکت ذی‌نفعان، تعاملات اجتماعی و ساختارهای حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب است. دیگری نیز ابزارهای مدیریت ریسک سیلاب است که بیشتر بر روی روش‌های پیش‌بینی سیلاب و ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی تمرکز دارند. تحقیقات موضوعی در مدیریت ریسک سیلاب، بهبود درک بسیاری از ابعاد این حوزه، از جمله تصورات اجتماعی در مورد ریسک سیلاب و چگونگی بهبود شبیه‌سازی سیلاب تحت افزایش تنوع اقلیمی را تحلیل می‌کند. بالین حال به‌منظور افزایش تاب‌آوری در برابر سیلاب، لازم است رویکردی جامع‌تر برای تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب

چارچوب‌های حکمرانی مربوط به مدیریت ریسک سیلاب، نیازمند تحقیقات بیشتر هستند. برای سازماندهی و ساختاردهی افراد، داده‌ها و مسئولیت‌ها، بهترین روش استفاده از چارچوب‌های حکمرانی است که به شیوه پویا و سازگار با محیط، ارائه می‌شوند. این چارچوب‌ها با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و محیط‌زیستی، برای ایجاد مدیریت ریسک سیلاب و ارتقا توانمندی‌های ذی‌نفعان و کاهش آسیب‌های ناشی از سیلاب و بهبود توانایی سازمان‌ها در پاسخگویی به مخاطرات سیلاب لازم است.

-ساختار سیلویی در تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب

ساختار سیلویی به معنای ایجاد شبکه‌ها و ساختارهایی در داخل سازمان است. افراد و گروه‌ها اطلاعات، دانش و منابع خود را به‌طور منفرد و درون ساختارهای جداگانه نگهداری و مدیریت می‌کنند، این رفتار باعث محدود شدن ارتباطات و همکاری بین بخش‌ها یا کارکنان سازمان می‌شود که می‌تواند ایجاد مشکلاتی در ارتباط با مدیریت ریسک، به‌ویژه در شرایط بحرانی، داشته باشد.

-مسائل پایدار، شکاف‌ها و فرصت‌ها در تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب

اگرچه حوزه‌های تحقیقاتی می‌توانند فرصتی معنادار برای کشف دانش‌های خاص رشته‌ای فراهم کنند، در عین حال ممکن است موجب نادیده گرفتن پیشرفت‌ها در جهت درک بهتر از چگونگی مدیریت مؤثر سیستم‌های پیچیده با تعاملات انسانی-محیط‌زیستی مرتبط شوند (Sheate, ۲۰۰۹). حوزه‌های مختلف مدیریتی، به‌ویژه در زمینه‌هایی که مؤلفه‌های علمی، عملی و سیاسی قوی هستند، مهم می‌باشند (Morrison-Saunders و همکاران، ۲۰۱۴). اگر چه پیشرفت‌های زیادی در تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب صورت گرفته است، اما غلبه بر حوزه‌های تحقیقات، چالش بزرگی برای تقویت تاب‌آوری در برابر سیلاب است. اختلافات در تعریف ریسک

به کار گرفته شود. این رویکرد می‌تواند شامل درک عوامل اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی، سیاسی و محیط زیستی مرتبط با سیلاب باشد، همچنین تمرکز بر تحلیل رفتار سیستم‌های طبیعی و انسانی مرتبط با سیلاب، بررسی نقش فناوری و نوآوری در مدیریت ریسک سیلاب و ارائه راهکارهای کاربردی برای افزایش توانایی پاسخگویی در برابر سیلاب شامل پیشگیری، آمادگی و بازسازی و اصلاح زیرساخت‌های سیلاب شامل جاده‌ها، پل‌ها و سازه‌های آبی می‌باشد. درک جامع این عوامل، باعث بهبود قابل توجهی در مدیریت ریسک سیلاب و افزایش تاب‌آوری در برابر سیلاب می‌شود (Chin و همکاران، ۲۰۱۴؛ Harden و همکاران، ۲۰۱۴؛ Olsson و همکاران، ۲۰۱۴)؛ اما ساختار بسیاری از بنگاه‌هایی که برای تأمین بودجه تحقیقاتی در این حوزه فعالیت می‌کنند، همچنان چالش بزرگی را برای مدیریت ریسک سیلاب ایجاد می‌کنند. به‌طور کلی ارتباط و همکاری بین توسعه‌دهندگان مدل، کارشناسان سیلاب، زمین‌شناسان و افراد دیگر در حوزه مدیریت ریسک سیلاب می‌تواند در راستای یکپارچگی تحقیقات این زمینه کمک کند و نتایج مفیدتری را برای جامعه فراهم آورد. در بسیاری از کشورها، بنگاه‌های تأمین مالی معمولاً به این صورت فعالیت می‌کنند که به‌عنوان مثال، در کانادا، بنگاه تأمین مالی برای تحقیقات علمی، یعنی شورای سه‌گانه، به سه نهاد تقسیم می‌شود که شامل دو شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی (NSERC) و شورای تحقیقات علوم اجتماعی و انسانی (SSHRC) می‌باشد. NSERC از تحقیقاتی که یک مؤلفه قوی علوم اجتماعی را یکپارچه می‌کند پشتیبانی نمی‌کند و SSHRC از تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی پشتیبانی نمی‌کند (Noble، ۲۰۱۵). در صورتی که هدف این باشد که تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب بر روی مسائل پیچیده حکمرانی در حوزه تاب‌آوری در برابر سیلاب، از جمله خطر سیلاب، کنترل سیلاب و سازگاری مدیریت ریسک سیلاب تحت شرایط آب‌وهوایی، همچنین پشتیبانی از توسعه راهبردهای تاب‌آوری مدیریت ریسک سیلاب، مورد توجه قرار گیرد، بنگاه‌های تأمین مالی باید برنامه‌های اختصاصی را برای تشویق تحقیقات یکپارچه و کمک به ترمیم شکاف‌ها در این حوزه، به‌ویژه با پوشش محلی و بین‌المللی ارائه دهند. سیاست‌گذاران و مدیران اظهار می‌نمایند که اطلاعات لازم برای شناخت مسائل را دریافت نمی‌کنند و در عین حال، پژوهشگران معتقدند که وقتی دانش آن‌ها استفاده نمی‌شود، ناامید می‌شوند. در نتیجه، جوامع در مواجهه با رویدادهای شدید و تغییرات محیطی، آسیب‌پذیر باقی می‌مانند (Vogel و همکاران، ۲۰۰۷). برای به‌دست آوردن اطمینان از مرتبط بودن تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب با رویه سیاست‌گذاری مدیریت ریسک سیلاب، ایجاد یک انجمن برای محققان متخصصان و سیاست‌گذاران مدیریت ریسک سیلاب در سطوح منطقه‌ای و ملی الزامی است. این انجمن می‌تواند در جهت تسهیل یادگیری متقابل و شناسایی شکاف‌های دانش و در نتیجه مشارکت مشترک سیاست‌ها و فرصت‌های تحقیقاتی جدید و معنادار فعالیت نماید. پیشنهاد

می‌شود از برنامه‌های تحقیقاتی فعلی، مستقل و اغلب فردی باید عقب‌نشینی نمود و به جای آن، یک تحقیق استراتژیک و یکپارچه برای مدیریت ریسک سیلاب را برای دستور کار سیاست توسعه داد. اخیراً، پیشرفت‌هایی در این زمینه اتفاق افتاده است، از جمله می‌توان به ظهور FloodNet در کانادا اشاره نمود. بیشتر تحقیقاتی که به ابزارهای موجود در ادبیات مدیریت ریسک سیلاب پرداخته‌اند، بیشتر در زمینه ابزارهای علوم فیزیکی متمرکز شده‌اند که برای استفاده در مدل‌سازی آب‌وهوا و پیش‌بینی سیلاب قابل استفاده هستند، درحالی که توجه کمی به ابزارهایی شده است که به ابعاد اجتماعی مدیریت ریسک سیلاب پرداخته‌اند. بالین حال، پیشرفت‌هایی در درک و انتقال آسیب‌پذیری در برابر سیلاب و سیاست‌های مدیریت ریسک سیلاب در حال حاضر در دسترس است (Burch و همکاران، ۲۰۱۰؛ Lee و Chen، ۲۰۱۱). در حال حاضر، توانایی مدل‌سازی و یکپارچه نمودن ابعاد اجتماعی مدیریت ریسک سیلاب در سیاست و عمل محدود است. برای مقابله بهتر با عدم قطعیت و ایجاد تاب‌آوری اجتماعی-اکولوژیکی در برابر سیلاب‌ها، نه تنها به ابزارهایی برای رسیدگی به ویژگی‌های فیزیکی و اثرات اجتماعی-اقتصادی سیلاب‌ها نیاز است بلکه ابزارهایی که بتوانند اولویت‌ها، نیازها و انتظارات اجتماعی را در سیاست مدیریت ریسک سیلاب یکپارچه کنند ضروری می‌باشد. فرآیندهای توسعه و تصمیم‌گیری با تأثیرگذاری از جامعه و ذی‌نفعان می‌تواند باعث بهبود قابل توجهی در مدیریت ریسک سیلاب شود. برای این منظور، می‌توان از مدل‌هایی همچون تغییر الگو، شبیه‌سازی، تحلیل سناریو، آموزش و آگاهی مشارکتی استفاده نمود (Burch و همکاران، ۲۰۱۰؛ Godden و Kung، ۲۰۱۱؛ Clarvis و همکاران، ۲۰۱۴). ابزارها و روش‌های متعدد مبتنی بر علوم اجتماعی وجود دارد که پتانسیل قابل توجهی برای مقابله با مشکلات پیچیده مدیریت ریسک سیلاب دارند. برخی از نمونه‌های این ابزارها و روش‌ها شامل نقشه‌های فازی برای بهبود مشارکت ذی‌نفعان و یکپارچه نمودن مؤثرتر دیدگاه‌ها و اولویت‌های آن‌ها در تصمیم‌گیری می‌باشند (Strickert و همکاران، ۲۰۰۹؛ Kontogianni و همکاران، ۲۰۱۲). ابزارهایی طراحی شده برای ارزیابی و بهبود ساختارهای حکمرانی برای حمایت از سازگاری با سیاست‌های جدید (Pahl-Wostl و همکاران، ۲۰۱۳)؛ ابزارهایی برای تجزیه و تحلیل مبادله بین نیازهای اجتماعی و اکولوژیکی (Daw و همکاران، ۲۰۱۵) و روش‌هایی برای شناسایی ذی‌نفعان در تصمیم‌گیری‌ها و تسهیل انتقال دانش (Crona و Parker، ۲۰۱۲) وجود دارد. مدیریت ریسک سیلاب به ابزارهایی نیاز دارد که به متخصصین کمک کند تا به دانش مرتبط به‌طور مؤثر دسترسی پیدا کنند، دانش رقابتی را در فرآیندهای توسعه سیاست مدیریت ریسک سیلاب مشارکتی یکپارچه کنند و تنوع دریافت و رفتارهای ذی‌نفعان را در نظر بگیرند و بر آن تأثیر بگذارند. به‌عنوان مثال، پیش‌بینی میزان وقوع سیلاب، شناسایی مناطق پرخطر، توسعه پلان‌های بحرانی، رفع عوامل مؤثر در کاهش

خطرات سیلاب و تحلیل تأثیرات اقتصادی و اجتماعی سیلاب، ازجمله کاربردهای مدیریت ریسک سیلاب هستند که به ابزارهایی مانند مدل سازی، پایگاه های داده، سیستم های اطلاعات جغرافیایی و تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره، نیازمند است. در نتیجه، توسعه ابزارهای پویا و یکپارچه، ترویج فرهنگ آموزش و آگاهی در جامعه و همکاری بین پژوهشگران و ذی نفعان، می تواند بهبود قابل توجهی در مدیریت ریسک سیلاب و تقویت تاب آوری در برابر سیلاب ایجاد نماید. توسعه و یا انطباق ابزارهای اجتماعی برای حمایت از تاب آوری مدیریت ریسک سیلاب، یک فرصت تحقیقاتی مهم است. باین حال، متأسفانه تحقیقات انجام شده در این حوزه، بیشتر در زمینه ابزارهای مدیریت ریسک سیلاب و کاهش خطرات فیزیکی آن متمرکز بوده است و به چارچوب ها و رویه های یکپارچه نمودن ابزارها توجه کافی نکرده است. به همین دلیل، تحقیقات بیشتر در این زمینه باید صورت گیرد تا بتواند ابزارهایی که به منظور افزایش تاب آوری مدیریت ریسک سیلاب مورد استفاده قرار می گیرند را توسعه دهند. در برخی موارد، ابزارهایی که برای پیش بینی، برنامه ریزی، ارزیابی راهبرد و تصمیم گیری در مدیریت ریسک سیلاب استفاده می شوند، بدون ارجاع به یکدیگر توسعه می یابند که می تواند چالشی را برای پذیرش آن ها در مدیریت ریسک سیلاب ایجاد کند. در واقع، پیش بینی، ارزیابی و تصمیم گیری، به عنوان اجزای کلیدی فرآیندهای حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب، نیاز به پیوند قوی دارند. بهترین راه حل برای این چالش ها، توسعه چارچوب های جامع و یکپارچه برای ارتباط، هماهنگی و همکاری بین ابزارهای مختلف مدیریت ریسک سیلاب است. به خصوص، چارچوب هایی که قابلیت یکپارچه سازی اطلاعات مختلفی را که برای مدیریت سیلاب لازم است، فراهم می کنند. عدم یکپارچه نمودن جنبه های اجتماعی و فیزیکی ریسک سیلاب، می تواند باعث شود پژوهشگران مدیریت ریسک سیلاب مجبور به اعتماد به رویکردی شوند که فقط به جنبه های فیزیکی ریسک سیلاب توجه نمایند، این می تواند به صرفه جویی در هزینه در کوتاه مدت منجر شود، اما در بلندمدت هزینه های رفع خسارت و عدم اثربخشی در مدیریت ریسک سیلاب را افزایش داده و باعث ایجاد بحران های پیش آمده از سیلاب شود. کاربرد بهترین ابزارهای موجود، ترکیب و به کارگیری آن ها با هدف ها و زمینه هایی که ممکن است برای آن ها طراحی نشده باشند، یک موضوع رایج در علوم محیط زیستی است؛ بنابراین، راهکارهای بسیاری برای حل این مسئله وجود دارد. به عنوان مثال، می توان از ابزارها و رویکردهای شناخته شده در حوزه مدیریت پروژه، مدل سازی، ارزیابی ریسک و برنامه ریزی محیطی استفاده نمود و آن ها را با اهداف و نیازهای مدیریت ریسک سیلاب تلفیق نمود. این روش امکان بهره برداری از بهترین روش های ممکن در مدیریت ریسک سیلاب را فراهم می کند و به اهداف پیچیده و چالش برانگیز پروژه های مدیریت ریسک سیلاب، اطمینان می بخشد. Sheate (۲۰۰۹) بیان می کند عدم

یکپارچگی در تحقیقات، میان پژوهشگرانی که به توسعه این ابزارها مشغول اند، این فرصت را از بین می برد که دیدگاه های مختلف را به هم مرتبط و ارتباطات مفید یا ضروری برای انتقال ابزار فراهم کند. نکته ای که برای محققان حوزه مدیریت ریسک سیلاب وجود دارد، آن است که ظهور ابزارهای یکپارچه مدیریت ریسک سیلاب، باعث پیشرفت های سریع تر در درک ما از تأثیرات فیزیکی و اجتماعی مرتبط با خطر سیلاب و مدیریت بهبود یافته مدیریت ریسک سیلاب خواهد شد. این ابزارها به محققان، اپراتورها و تصمیم گیران کمک می کند تا به صورت دقیق و شفاف، ارزیابی کاملی از خطرات سیلاب ارائه دهند و برنامه های مؤثری برای مقابله با آن ها برنامه ریزی کنند. بهبود ابزارهای مدیریت ریسک سیلاب و توسعه یک چارچوب یکپارچه و جامع که ابزارهای مختلف را هماهنگ نماید، بهترین راه حل برای افزایش شفافیت و کارایی در فرآیند تصمیم گیری در مدیریت ریسک سیلاب است. در سال های اخیر پیشرفت های قابل توجهی در این زمینه اتفاق افتاده است. به عنوان مثال Di Baldassarre و همکاران (۲۰۱۵) از مدل سازی مبتنی بر عامل برای یکپارچه نمودن جنبه های اجتماعی و فیزیکی خطر سیلاب استفاده کردند. در این رویکرد، جنبه های اجتماعی و فیزیکی به صورت هم زمان بررسی شده و ارتباطات بین آن ها مدل شده است. همچنین، با در دسترس بودن داده ها توسط خدماتی مانند Munich-Re NatCatSERVICE (منبع داده های سیلاب برای تجزیه و تحلیل روند) پیشرفت های قابل توجهی در توسعه ابزار مدیریت ریسک سیلاب و ایجاد ابزارهایی که برای سیلاب محلی یا منطقه ای و زمینه های حکمرانی یکپارچه و انعطاف پذیر هستند، ایجاد شده است. باین حال، برای پیشبرد اهداف این زمینه، همکاری بیشتر در جامعه تحقیقاتی مدیریت ریسک سیلاب و همچنین افزایش همکاری با عاملان و ذی نفعان در یک سیستم هماهنگ و تعاملی لازم است. بهبود هماهنگی در بین گروه های مختلف و توسعه تعاملات مشترک، می تواند به ارتقای استفاده از ابزارهای مدیریت ریسک سیلاب و در نهایت به کاهش خطرات ناشی از سیلاب کمک کند. در نتیجه، با افزایش حجم تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب، به نظر می رسد تحقیقات بسیار اندکی بر توسعه چارچوب های حمایتی برای سازماندهی دانش و تخصص مدیریت ریسک سیلاب در عمل، حکمرانی یا در دانشگاه متمرکز باشد. هر چند، تعریف واحد و توافق شده ای از چارچوب مدیریت ریسک سیلاب وجود ندارد، اما بیشتر متون چارچوب را به عنوان وسیله ای برای تقویت همکاری، اشتراک دانش، تعیین نقش ها، مسئولیت ها و فراهم نمودن عرصه ای برای یادگیری مستمر و توسعه راهبرد توصیف می کنند. به عنوان مثال، یک چارچوب مؤثر می تواند شامل تعیین اهداف، شناسایی خطرات، ارزیابی ریسک، چگونگی حفاظت و مدیریت ریسک، تدوین راهبرد، بررسی، نظارت و ارزیابی پیشرفت باشد (Pahl-Wostl و همکاران، ۲۰۱۳؛ Cosens و همکاران، ۲۰۱۴؛ Clarvis و همکاران، ۲۰۱۴). تجزیه و تحلیل نشان می دهد کمبود فعلی نفوذ سازمانی و جو

افزایش حوادث سیلاب، نشان می‌دهد بدون اقدامات مناسب و کارآمد، جوامع در برابر خطر سیلاب آسیب‌پذیرتر خواهند بود. چنین حوادثی اغلب غیرقابل پیش‌بینی هستند و همیشه نمی‌توان به زیرساخت‌های کنترل سیلاب اعتماد کرد. لذا باید به افزایش مقاومت جوامع در برابر سیلاب توجه بیشتری شود. اقدامات سازه‌ای در کنترل سیلاب، شامل ساخت سدها، کانال‌ها و ... می‌شود، اقدامات غیرسازه‌ای شامل اقدامات مدیریتی و حکمرانی ریسک سیلاب مانند آموزش، اطلاع‌رسانی، و ایجاد ظرفیت‌های محلی برای مقابله با سیلاب است. افزایش مقاومت جوامع و نهادهای مرتبط مانند دولت، شرکت‌ها و جامعه مدنی می‌تواند با اجرای برنامه‌هایی مانند آموزش و افزایش آگاهی، طراحی سیستم‌های هشدار سیلاب، پیشگیری و اقدامات آمادگی در مقابل سیلاب، ایجاد تسهیلات و تجهیزات لازم، شناسایی و مدیریت منابع طبیعی، محیط‌زیست و همچنین برنامه‌ریزی برای مدیریت در برابر بحران‌های سیلابی بهبود یابد. نگرش همه‌سویه و از طرفی عدم اعتماد به سازه‌های کنترل سیلاب منجر به ارتقای مدیریت ریسک سیلاب مبتنی بر تاب‌آوری شده است؛ به عبارت دیگر، به جای اینکه سازه‌های کنترل سیلاب به عنوان راه‌حل حیاتی مطرح شوند، باید با استفاده از رویکردهای سازگاری برای افزایش تاب‌آوری در برابر سیلاب، مدیریت ریسک سیلاب را مبتنی بر تاب‌آوری تبدیل نمود. به این صورت که سازه‌های کنترل سیلاب به عنوان یکی از ابزارهای موجود در این رویکرد، با سایر اقداماتی که برای افزایش تاب‌آوری در برابر سیلاب به کار گرفته می‌شوند، ترکیب شوند. این رویکرد یک شیوه جامع برای مدیریت ریسک سیلاب ارائه می‌دهد که بیشتر بر تاب‌آوری تمرکز داشته و باعث کاهش احتمالی خسارت‌ها و آسیب‌ها در برابر حوادث سیلابی می‌شود. تجزیه و تحلیل در مورد پژوهش‌های مدیریت ریسک سیلاب نشان داد که توجه محققان به خصوص در دهه گذشته به جنبه‌های مختلف حکمرانی مدیریت ریسک سیلاب افزایش چشمگیری داشته است. به طور خاص، توجه و همکاری ذی‌نفعان و افراد مورد تأثیر، اثربخشی سیاست‌های مدیریت ریسک سیلاب، عملکرد ساختارهای نهادی مدیریت ریسک سیلاب، ابزارهایی برای تهیه برنامه‌های پیش‌بینی سیلاب و تا حد کمتری، چارچوب‌هایی برای سازماندهی مؤسسات و حمایت از اجرای مدیریت ریسک سیلاب بوده‌اند. این پیشرفت‌ها نشان می‌دهند که مدیران، سیاست‌گذاران و سایر ذی‌نفعان به طور کلی مفهومی روشن از وجود خطرات سیلاب دارند و توجه دارند که این خطرات باعث آسیب و خسارت‌هایی برای انسان و محیط‌زیست می‌شوند. با این حال، هنوز راه‌های زیادی برای بهبود مدیریت ریسک سیلاب و تقویت تاب‌آوری در برابر سیلاب وجود دارد و بیشتر به دنبال افزایش همکاری میان ذی‌نفعان، استفاده از روش‌های جدید، پیشرفته و ایجاد شفافیت و

مشارکتی که توسط چارچوب‌ها ارائه می‌شود، دلیلی برای موفق نشدن در زمینه مدیریت ریسک سیلاب می‌باشد. بر اساس تحلیل انجام شده، تعداد اندکی از پژوهش‌ها بر توسعه یا استفاده از چارچوب‌ها به عنوان تأثیر سازمانی تمرکز داشته‌اند و تعداد اندکی از مقاله‌ها یک ارتباط ثانویه با موضوع چارچوب دارند؛ به عبارت دیگر، این تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که نیاز به توسعه چارچوب‌های مؤثر برای مدیریت ریسک سیلاب در سازمان‌ها و بهبود سطح فعالیت‌های سازمانی در این زمینه وجود دارد.

پژوهش‌های انجام شده برای چارچوب‌های حکمرانی زیرساخت‌های مربوط به مدیریت ریسک سیلاب، محدود بوده است و این نشان دهنده الزام انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه است. برای ایجاد جوامع مقاوم در برابر سیلاب، بهترین روش برای سازماندهی و ساختاردهی افراد، داده‌ها و مسئولیت‌ها، استفاده از چارچوب‌های حکمرانی است که به شیوه پویا و سازگار با محیطی که سازمان در آن فعالیت می‌کند، ارائه می‌شوند. این چارچوب‌ها باید برای تأمین بازده مطلوب، عوامل اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و محیط‌زیستی را در نظر بگیرند؛ به عبارت دیگر، برای ایجاد مدیریت ریسک سیلاب، سازماندهی و ساختاردهی مناسب، برای ارتقا توانمندی‌های ذی‌نفعان، کاهش آسیب‌های ناشی از سیلاب و بهبود توانایی سازمان‌ها در پاسخگویی به مخاطرات سیلاب نیاز است. بخش عظیمی از تحقیقات و مطالعات خارج از حوزه مدیریت ریسک سیلاب وجود دارد که به چارچوب‌های حکمرانی محیط‌زیستی و سیاست عمومی می‌پردازد. این تحقیقات بررسی می‌کنند چگونه نقش‌ها و مسئولیت‌ها، ساختار تصمیم‌گیری، ترتیبات مشارکتی و نهادی مناسب می‌تواند برای ارتقای پایداری، یادگیری و ظرفیت سازگاری بر محیط‌زیست و جامعه تمرکز کند؛ به عبارت دیگر، این تحقیقات به پژوهش در مورد چارچوب‌های حکمرانی، سازماندهی و ساختاردهی جوامع و نهادهای مرتبط با محیط‌زیست و سیاست عمومی توجه دارد تا بتواند راهبردهای نوین، کارآمد و مؤثر را برای ارتقای سازگاری با تغییرات محیط‌زیستی و اجتماعی توسعه دهد. در مواجهه با تغییرات محیطی، مطالعاتی مانند Armitage و همکاران (۲۰۱۲)، Westley و همکاران (۲۰۱۳)، Bakker و Morinville (۲۰۱۳) نشان می‌دهند که ارتباط و سازگاری چارچوب‌های حکمرانی محیط‌زیستی و سیاست‌های عمومی با مدیریت ریسک سیلاب بسیار مهم است. برای همین، نحوه اعمال این چارچوب‌ها و مفاهیم در استراتژی‌ها و روش‌های مدیریت ریسک سیلاب، نقش مهمی در دستور کار تحقیقاتی مدیریت ریسک سیلاب باید داشته باشد. این تحقیقات باید به بررسی راهکارهای نوین و اثربخش برای ارتباط و یکپارچه نمودن مفاهیم مدیریت ریسک سیلاب با چارچوب‌های حکمرانی محیط‌زیستی و سیاست عمومی تمرکز کنند و به ارائه راهکارهای مناسب جهت اجرای این برنامه‌های مدیریتی در عمل بپردازند.

پاسخگویی در فرآیندهای این حوزه است. همان‌طور که گفته شد، مشاهده شده است که تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب فاقد یکپارچگی است و راه‌های تقویت یکپارچگی به‌خوبی مطالعه و بررسی نشده است. عدم یکپارچگی در تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب، به دلیل فرهنگ تخصصی در جامعه دانشگاهی و نیز نبود یک چارچوب یکپارچه برای تحقیقات در این حوزه است (Sheate, 2009; McGraw و Biesecker, 2014). مدیریت ریسک سیلاب یک فرآیند چندبعدی و طولانی‌مدت است که اغلب کشورهای پیشرو در زمینه مدیریت سیلاب نیز با پذیرش این مساله، برنامه‌ریزی کرده و چارچوب‌های لازم را توسعه داده‌اند (فرشته پور و شیرازی علیان، 1398). مدیریت ریسک سیلاب یک چالش پیچیده است و شامل بسیاری از ابعاد علمی، عملی و سیاسی متقابل است. پیشبرد دستور کار تحقیقاتی تاب‌آوری مدیریت ریسک سیلاب حداقل نیازمند تحقیقات بین‌رشته‌ای و فرا رشته‌ای است که در علوم فیزیکی و اجتماعی یکپارچه شده است. برای تأثیرگذاری بیشتر پژوهش‌های مدیریت ریسک سیلاب، به یک دستور کار تحقیقاتی محکم‌تر از آنچه در حال حاضر وجود دارد نیاز است. این دستور کار باید شامل نیازهای تحقیقاتی و پیشرفت‌هایی در حوزه سیاست‌گذاری باشد و بهترین روش‌های ممکن برای انجام پژوهش‌ها در حوزه مدیریت ریسک سیلاب را ارائه دهد. با ایجاد چنین دستور کاری، تحقیقات مدیریت ریسک سیلاب می‌تواند به شکل مؤثرتری انجام شوند و به بهبود تاب‌آوری در برابر سیلاب کمک کنند. باتوجه به ضرورت بهبود تاب‌آوری در برابر سیلاب، محققان نه تنها باید به بهبود ابزارهای علوم فیزیکی برای پیش‌بینی و مدل‌سازی سیلاب بپردازند، بلکه باید به توسعه ابزارهای علوم اجتماعی توجه نمایند. ابزارهای علوم اجتماعی می‌تواند به فرآیندهای توسعه سیاست مدیریت ریسک سیلاب مشارکتی و بهبود تاب‌آوری در برابر سیلاب کمک کند. تلاش برای بهبود توانایی مدیریت ریسک سیلاب نه تنها بهبود فناوری‌های علمی، بلکه بهبود درک اجتماعی و مشارکتی را شامل می‌شود. طبق مطالعات و همچنین نتایج به‌دست آمده، چالش‌های پیشرو در حوزه پژوهش‌های مرتبط با حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب شامل موارد زیر می‌باشد: در اکثر موارد سیلاب‌های ناگهانی و پیش‌بینی نشده رخ می‌دهند و این موجب می‌شود داده‌های موجود ناکافی باشند. استفاده از فناوری‌های نوین مانند شبکه‌های حسگر، مدل‌های ابری و هوش مصنوعی می‌تواند کمک کند اما هنوز چالش‌هایی در جمع‌آوری داده‌ها در این زمینه وجود دارد. مورد دیگر پیش‌بینی دقیق سیلاب است که بسیار چالش برانگیز می‌باشد، عوامل متعددی شامل تغییرات آب‌وهوا، زمین‌شناسی، اقلیم، توپوگرافی، جمعیت و فعالیت‌های انسانی در حکمرانی و مدیریت سیلاب نقش دارند. همچنین، عواملی مانند دقت داده‌ها و مدل‌های استفاده شده برای پیش‌بینی نیز تأثیرگذار هستند. همه این عوامل موجب می‌شود پیش‌بینی دقیق سیلاب چالش بزرگی باشد. مورد دیگر مدیریت

کارآمد واکنش به سیلاب است که نیاز به هماهنگی بیشتر بین دولت، نهادهای محلی و مردم دارد و نبود این همکاری متقابل ممکن است مشکلاتی ایجاد نماید. از دیگر چالش‌های این حوزه می‌توان به کمبود آموزش و آگاهی عمومی در مورد ریسک سیلاب اشاره نمود. ذکر این نکته ضروری است که توسعه زیرساخت مقاوم موضوع مهمی است، ارتقا و توسعه زیرساخت‌های مقاوم به سیلاب می‌تواند از تخریب و خسارت جلوگیری کند. طبق بررسی‌های انجام شده اگر این موارد رعایت شود می‌توان امیدوار بود که حکمرانی و مدیریت ریسک سیلاب به‌عنوان یکی از مهمترین اقدامات غیرسازه‌ای در کاهش خطرات سیلاب موثر عمل نماید.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Stakeholder Engagement
- 2-Policies and Actions
- 3-Research on Practice
- 4-Supporting Tools
- 5-Frameworks

منابع

- حاجی بیگلو، محبوبه، و شیخ، واحدبردی. (1397). تحلیل مدیریت ریسک سیلاب بر اساس مفاهیم خطر، مواجهه و آسیب‌پذیری با ارائه چارچوب‌ها و مدل‌ها. آب و توسعه پایدار، ۱(۵)، ۷۳-۸۲. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v5i1.62313>
- خانیک، هادی، و میرمجلسی، سیده انوشه. (1398). گروه‌های آسیب‌پذیر در سیل لرستان و سهم رسانه‌های مشارکتی در تاب‌آوری. جامعه، فرهنگ و رسانه، ۳۳(۸)، ۱۱-۳۲. <https://dori.net/dor/20.1001.1.38552322.1398.8.33.1.6>
- شاکری رستمی، حسین، باقری، علی، و سعدالدین، امیر. (1400). ارزیابی وضعیت حکمرانی ریسک سیل در ایران بر اساس رویکرد تدابیر سیاستی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷(۳)، ۶۵-۱۰۳. <https://dori.net/dor/20.1001.1.17352347.1400.17.3.4.9>
- فرشته پور، محمد، و شیرازی علیان، پویا. (1398). گزارشی از تجربیات بین‌المللی در مدیریت سیل. یادداشت تحلیلی. آب و توسعه پایدار، ۱(۶)، ۱۳۷-۱۴۰.
- میرزایی، شهناز، و سعدالدین، امیر. (1398). چارچوب ارزیابی جامع خسارت‌های اقتصادی سیل (مستقیم، غیرمستقیم، ملموس و ناملموس): رخدادهای سیل ۲۹ فروردین ۱۳۹۵ نوده‌خاندوز، حوضه رودخانه گرگان‌رود. فصلنامه علمی دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۴(۹)، ۳۸۳-۳۹۲. <http://dori.net/dor/20.1001.1.2322595.5.1398.9.4.5.0>
- Akamani, K., & Wilson, P.I., (2011). Toward the adap-

- Batica, J., & Gourbesville, P. (2016). Resilience in flood risk management—A new communication tool. *Procedia Engineering*, 154, 811-817. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.411>
- Begg, C. (2018). Power, responsibility and justice: A review of local stakeholder participation in European flood risk management. *Local Environment*, 23(4), 383-397. <https://doi.org/10.1080/13549839.2017.1422119>
- Begg, C., Callsen, I., Kuhlicke, C., & Kelman, I. (2018). The role of local stakeholder participation in flood defence decisions in the United Kingdom and Germany. *Journal of Flood Risk Management*, 11(2), 180-190. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12305>
- Benson, D., Lorenzoni, I., & Cook, H. (2016). Evaluating social learning in England flood risk management: an 'individual-community interaction' perspective. *Environmental Science & Policy*, 55, 326-334. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.05.013>
- Blázquez, L., García, J. A., & Bodoque, J. M. (2021). Stakeholder analysis: Mapping the river networks for integrated flood risk management. *Environmental Science & Policy*, 124, 506-516. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.07.024>
- Borba, M. L., Warner, J. F., & Porto, M. F. A. (2016). Urban stormwater flood management in the Cordeiro watershed, São Paulo, Brazil: does the interaction between socio-political and technical aspects create an opportunity to attain community resilience?. *Journal of Flood Risk Management*, 9(3), 234-242. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12172>
- Buchecker, M., Salvini, G., Di Baldassarre, G., Semenzin, E., Maidl, E., & Marcomini, A. (2013). The role of risk perception in making flood risk management more effective. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(11), 3013-3030. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-3013-2013>
- Buckland, J., & Rahman, M. (1999). Community-based disaster management during the 1997 Red River Flood in Canada. *Disasters*, 23(2), 174-191. <https://doi.org/10.1111/1467-7717.00112>
- Burch, S., Sheppard, S. R., Shaw, A., & Flanders, D. (2010). Planning for climate change in a flood-prone community: municipal barriers to policy action and the use of visualizations as decision-support tools. *Journal of flood risk management*, 3(2), 126-139. <https://doi.org/10.1111/tive-governance-of-transboundary-water-resources>
- Conserv Lett, 4(6), 409-416. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2011.00188.x>
- Alexander, M., Priest, S., & Mees, H. (2016). A framework for evaluating flood risk governance. *Environmental Science & Policy*, 64, 38-47. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.004>
- Alfieri, L., Feyen, L., & Di Baldassarre, G. (2016). Increasing flood risk under climate change: a pan-European assessment of the benefits of four adaptation strategies. *Climatic Change*, 136, 507-521. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1641-1>
- Allan, C., & Stankey, G. H. (2009). Adaptive environmental management. Springer. New York, United State. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9632-7>
- Almoradie, A., Cortes, V. J., & Jonoski, A. (2015). Web-based stakeholder collaboration in flood risk management. *Journal of Flood Risk Management*, 8(1), 19-38. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12076>
- Anderies, J. M., Janssen, M. A., & Ostrom, E. (2004). A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. *Ecology and society*, 9(1), 18. <https://doi.org/10.5751/es-00610-090118>
- Armitage, D., De Loë, R., & Plummer, R. (2012). Environmental governance and its implications for conservation practice. *Conservation letters*, 5(4), 245-255. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263x.2012.00238.x>
- Arnell, N. W., & Lloyd-Hughes, B. (2014). The global-scale impacts of climate change on water resources and flooding under new climate and socio-economic scenarios. *Climatic Change*, 122, 127-140. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0948-4>
- Bakker, K., & Morinville, C. (2013). The governance dimensions of water security: a review. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(2002), 20130116. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0116>
- Barnett, J., Evans, L. S., Gross, C., Kiem, A. S., Kingsford, R. T., Palutikof, J. P., Pickering, C.M., & Smithers, S. G. (2015). From barriers to limits to climate change adaptation: path dependency and the speed of change. *Ecology and society*, 20(3), 5. <https://doi.org/10.5751/es-07698-200305>

- Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, 90(4), 713–737. <https://doi.org/10.1111/0004-5608.00219>
- Daw, T. M., Coulthard, S., Cheung, W. W., Brown, K., Abunge, C., Galafassi, D., Petersen, G.D., McClanahan, T.R., Omukoto, J.O., & Munyi, L. (2015). Evaluating taboo trade-offs in ecosystems services and human well-being. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(22), 6949–6954. <https://doi.org/10.1073/pnas.1414900112>
- Dawson, T. P., Jackson, S. T., House, J. I., Prentice, I. C., & Mace, G. M. (2011). Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science*, 332(6025), 53–58. <https://doi.org/10.1126/science.1200303>
- Dell'Ovo, M., Torrieri, F., & Oppio, A. (2018). How to model stakeholder participation for flood management. In *Decision Support Systems VIII: Sustainable Data-Driven and Evidence-Based Decision Support: 4th International Conference, ICDSSST 2018*, Springer International Publishing. Heraklion, Greece. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90315-6_6
- Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Yan, K., Brandimarte, L., & Blöschl, G. (2015). Debates—Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes. *Water Resources Research*, 51(6), 4770–4781. <https://doi.org/10.1002/2014wr016416>
- Dos Santos, P. P., & Tavares, A. O. (2015). Basin flood risk management: a territorial data-driven approach to support decision-making *Water*, 7(2), 480–502. <https://doi.org/10.3390/w7020480>
- Dottori, F., Mentaschi, L., Bianchi, A., Alfieri, L., & Feyen, L. (2023). Cost-effective adaptation strategies to rising river flood risk in Europe. *Nature Climate Change*, 13(2), 196–202. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01540-0>
- Dwyer, J. P., Wallace, D., & Larsen, D. R. (1997). Value of woody river corridors in levee protection along the Missouri River in 1993. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 33(2), 481–489. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1997.tb03526.x>
- Ebekozien, A., Aigbavboa, C., Samsurijan, M. S., Radin Firdaus, R. B., & Salman, A. (2023). Appraising flood resilience technologies role in developing cities: how prepared is the professional stakeholder?. *International j.1753-318x.2010.01062.x*
- Butler, C., & Pidgeon, N. (2011). From 'flood defence' to 'flood risk management': exploring governance, responsibility, and blame. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 29(3), 533–547. <https://doi.org/10.1068/c09181j>
- Carter, J. G., White, I., & Richards, J. (2009). Sustainability appraisal and flood risk management. *Environmental Impact Assessment Review*, 29(1), 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2008.06.003>
- Cashman, A. C. (2011). Case study of institutional and social responses to flooding: reforming for resilience?. *Journal of Flood Risk Management*, 4(1), 33–41. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318x.2010.01087.x>
- Chin, A., Florsheim, J. L., Wohl, E., & Collins, B. D. (2014). Feedbacks in human–landscape systems. *Environmental Management*, 53, 28–41. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0031-y>
- Clarvis, M. H., Allan, A., & Hannah, D. M. (2014). Water, resilience and the law: from general concepts and governance design principles to actionable mechanisms. *Environmental Science & Policy*, 43, 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.10.005>
- Corradini, C., Melone, F., & Singh, V. P. (1987). On the structure of a semi-distributed adaptive model for flood forecasting. *Hydrological sciences journal*, 32(2), 227–242. <https://doi.org/10.1080/02626668709491180>
- Cosens, B., Gunderson, L., Allen, C., & Harm Benson, M. (2014). Identifying legal, ecological and governance obstacles, and opportunities for adapting to climate change. *Sustainability*, 6(4), 2338–2356. <https://doi.org/10.3390/su6042338>
- Coulthard, T. J., & Frostick, L. E. (2010). The Hull floods of 2007: implications for the governance and management of urban drainage systems. *Journal of Flood Risk Management*, 3(3), 223–231. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318x.2010.01072.x>
- Crona, B. I., & Parker, J. N. (2012). Learning in support of governance: theories, methods, and a framework to assess how bridging organizations contribute to adaptive resource governance. *Ecology and Society*, 17(1), 32. <https://doi.org/10.5751/es-04534-170132>
- Cutter, S.L., Mitchell, J.T., & Scott, M.S. (2000). Revealing the vulnerability of people and places: a case study of

- Science & Policy, 55, 281-291. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.06.004>
- Gemitzi, A., Kopsidas, O., Stefani, F., Polymeros, A., & Bellos, V. (2023). A near real time flood hazard assessment tool using Satellite Data and Artificial Intelligence. Research Square Platform LLC. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3167250/v1>
- Gersonius, B., Ashley, R., Pathirana, A., & Zevenbergen, C. (2012). Adaptation of flood risk infrastructure to climate resilience. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering, 165(6), 40-45. <https://doi.org/10.1680/cien.11.00053>
- Gersonius, B., Ashley, R., Pathirana, A., & Zevenbergen, C. (2013). Climate change uncertainty: building flexibility into water and flood risk infrastructure. Climatic change, 116(2), 411-423. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0494-5>
- Gersonius, B., Ashley, R., Jeuken, A., Pathinara, A., & Zevenbergen, C. (2015). Accounting for uncertainty and flexibility in flood risk management: comparing real in options optimisation and adaptation tipping points. Journal of Flood Risk Management, 8(2), 135-144. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12083>
- Godden, L., & Kung, A. (2011). Water law and planning frameworks under climate change variability: systemic and adaptive management of flood risk. Water Resources Management, 25(15), 4051-4068. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9887-x>
- Golz, S., Schinke, R., & Naumann, T. (2015). Assessing the effects of flood resilience technologies on building scale. Urban Water Journal, 12(1), 30-43. <https://doi.org/10.1080/1573062x.2014.939090>
- Goyal, H. R., Ghanshala, K. K., & Sharma, S. (2022). Intelligent Internet of Things based Flood Management System. In 2022 6th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems.IEEE. Vaisg College of Engineering, Madurai. India. <https://doi.org/10.1109/iccscs53718.2022.9788401>
- Grayson, R. B., Doolan, J. M., & Blake, T. (1994). Application of AEAM (adaptive environmental assessment and management) to water quality in the Latrobe River catchment. Journal of environmental management, 41(3), 245-258. <https://doi.org/10.1006/jema.1994.1045>
- Green, C., & Penning-Rowsell, E. C. (2010). Stakeholder Journal of Construction Management, 23, 1-10. <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2203501>
- Edelenbos, J., Van Buuren, A., Roth, D., & Winnubst, M. (2017). Stakeholder initiatives in flood risk management: exploring the role and impact of bottom-up initiatives in three 'Room for the River' projects in the Netherlands. Journal of environmental planning and management, 60(1), 47-66. <https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1140025>
- Escaramia, M., Karanxha, A., & Tagg, A. (2007). Quantifying the flood resilience properties of walls in typical UK dwellings. Building Services Engineering Research and Technology, 28(3), 249-263. <https://doi.org/10.1177/0143624407079093>
- European Council. (2007). EU Directive of the European Parliament and of the European Council on the estimation and management of flood risks (2007/60/EU). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32007L0060>
- Evers, M., Jonoski, A., Maksimovič, Č., Lange, L., Ochoa Rodriguez, S., Teklesadik, A., Cortes Arevalo, j., Almoradie, A., Eduardo, Simões, N., Wang, L., & Makropoulos, C. (2012). Collaborative modelling for active involvement of stakeholders in urban flood risk management." Natural Hazards and Earth System Sciences, 12(9), 2821-2842. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-2821-2012>
- Figueiredo, R., Romao, X., & Paupério, E. (2020). Flood risk assessment of cultural heritage at large spatial scales: Framework and application to mainland Portugal. Journal of Cultural Heritage, 43, 163-174. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.11.007>
- Folke C., Carpenter S., Elmqvist T., Gunderson L., Holling C. S. & Walker B. (2002). Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. Ambio, 31(5), 437-440. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.5.437>
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. Ecology and Society, 15(4), 20. <https://doi.org/10.5751/es-03610-150420>
- Geaves, L. H., & Penning-Rowsell, E. C. (2016). Flood risk management as a public or a private good, and the implications for stakeholder engagement." Environmental

- uation of barriers and challenges based on evidence from Ireland. *Applied Geography*, 37, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.10.011>
- Jeffers, J. M. (2014). Environmental knowledge and human experience: using a historical analysis of flooding in Ireland to challenge contemporary risk narratives and develop creative policy alternatives. *Environmental Hazards*, 13(3), 229-247. <https://doi.org/10.1080/17477891.2014.902800>
- Johannessen, Å., & Hahn, T. (2013). Social learning towards a more adaptive paradigm? Reducing flood risk in Kristianstad municipality, Sweden. *Global environmental change*, 23(1), 372-381. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.07.009>
- Klijn, F., Samuels, P., & Van Os, A. (2008). Towards flood risk management in the EU: State of affairs with examples from various European countries. *International Journal of River Basin Management*, 6(4), 307-321. <https://doi.org/10.1080/15715124.2008.9635358>
- Kontogianni, A. D., Papageorgiou, E. I., & Tourkolias, C. (2012). How do you perceive environmental change? Fuzzy Cognitive Mapping informing stakeholder analysis for environmental policy making and non-market valuation. *Applied Soft Computing*, 12(12), 3725-3735. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.05.003>
- Kuhlicke, C., Callsen, I., & Begg, C. (2016). Reputational risks and participation in flood risk management and the public debate about the 2013 flood in Germany. *Environmental Science & Policy*, 55, 318-325. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.06.011>
- Kundzewicz, Z. W. (2002). Flood protection in the context of sustainable development. IAHS-AISH Publication, 27(1), 361-366. <https://doi.org/10.1080/02508060208686972>
- Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., & Sherstyukov, B. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 1-28. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.857411>
- Lee, C. C., & Chen, L. C. (2011). Who are the resident stakeholders in a flood project? A spatial analysis of resident stakeholders. *Natural hazards*, 59, 107-128. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9742-7>
- Levy, J. K., Hartmann, J., Li, K. W., An, Y., & Asgary, A. (2007). Multi-criteria decision support systems for er engagement in flood risk management. *Flood risk science and management*, 372-385. Chapter 18. Blackwell Publishing. Oxford, United Kingdom. <https://doi.org/10.1002/9781444324846.ch18>
- Guerrin, J., Bouleau, G., & Grelot, F. (2014). Functional fit versus politics of scale in the governance of floodplain retention capacity. *Journal of Hydrology*, 519, 2405-2414. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.08.024>
- Gunderson, L. (1999). Resilience, flexibility and adaptive management--Antidotes for spurious certitude?. *Conservation Ecology*, 3(1), 7. <https://doi.org/10.5751/es-00089-030107>
- Haase, D. (2013). Participatory modelling of vulnerability and adaptive capacity in flood risk management. *Natural Hazards*, 67, 77-97. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9704-5>
- Harden, C.P., Chin, A., English, M.R., Fu, R., Galvin, K.A., Gerlak, A.K., McDowell, P.F., McNamara, D.E., Peterson, J.M., Poff, N., Rosa, E.A., Solecki, W.D., & Wohl, E.E. (2014). Understanding human-landscape interactions in the "Anthropocene". *Environ Manag*, 53(1), 4-13. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0082-0>
- Head, B. W. (2014). Managing urban water crises: adaptive policy responses to drought and flood in Southeast Queensland, Australia. *Ecology and Society*, 19(2), 33. <https://doi.org/10.5751/es-06414-190233>
- Heintz, M. D., Hagemeyer-Klose, M., & Wagner, K. (2012). Towards a risk governance culture in flood policy—Findings from the implementation of the floods directive in Germany. *Water*, 4(1), 135-156. <https://doi.org/10.3390/w4010135>
- Holling, C. S., & Walters, C. (1978). Adaptive environmental assessment and management. John Wiley & Sons.
- Holling, C. S., & Meffe, G. K. (1996). Command and control and the pathology of natural resource management. *Conservation Biology*, 10(2), 328-337. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10020328.x>
- Ingirige, B., & Wedawatta, G. (2014). Putting policy initiatives into practice: Adopting an "honest broker" approach to adapting small businesses against flooding. *Structural Survey*, 32(2), 123-139. <https://doi.org/10.1108/ss-01-2013-0011>
- Jeffers, J. M. (2013). Integrating vulnerability analysis and risk assessment in flood loss mitigation: An eval-

- Millerd, F., Dufournaud, CH., & Schaefer, A. (1994). Canada Ontario Flood Damage Reduction Program-Case Studies, Canadian Water Resources Journal, Revue Canadienne Des Ressources Hydriques, 19(1), 17-26. <https://doi.org/10.4296/cwrj1901017>
- Morrison-Saunders, A., Pope, J., Gunn, J. A., Bond, A., & Retief, F. (2014). Strengthening impact assessment: a call for integration and focus. Impact Assessment and Project Appraisal, 32(1), 2-8. <https://doi.org/10.1080/14615517.2013.872841>
- Neuvel, J. M. M., & Van Der Knaap, W. (2010). A spatial planning perspective for measures concerning flood risk management. International Journal of Water Resources Development, 26(2), 283-296. <https://doi.org/10.1080/07900621003655668>
- Noble, B. (2015). Cumulative effects research: achievements, status, directions and challenges in the Canadian context. Journal of Environmental Assessment Policy and Management, 17(01), 1550001. <https://doi.org/10.1142/s1464333215500015>
- Nouzari, E., Hartmann, T., & Spit, T. (2020). Interactive governance for satisfaction measurements: Stakeholder involvement in design processes for flood risk management. Journal of Flood Risk Management, 13(4), e12650. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12650>
- Nye, M., Tapsell, S., & Twigger-Ross, C. (2011). New social directions in UK flood risk management: moving towards flood risk citizenship?. Journal of flood risk management, 4(4), 288-297. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318x.2011.01114.x>
- O'Donnell, E. C., Lamond, J. E., & Thorne, C. R. (2018). Learning and Action Alliance framework to facilitate stakeholder collaboration and social learning in urban flood risk management. Environmental Science & Policy, 80, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.013>
- Olsson, P., Galaz, V., & Boonstra, W. J. (2014). Sustainability transformations: a resilience perspective. Ecology and Society, 19(4), 1. <https://doi.org/10.5751/es-06799-190401>
- Osberghaus, D. (2015). The determinants of private flood mitigation measures in Germany—Evidence from a nationwide survey. Ecological Economics, 110, 36-50. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.12.010>
- Pahl-Wostl, C., Becker, G., Knieper, C., & Sendzimir, J. (2013). How multilevel societal learning processes flood hazard mitigation and emergency response in urban watersheds 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 43(2), 346-358. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00027.x>
- Luu, C., Tran, H.X., Pham, B.T., Al-Ansari, N., Tran, T.Q., Duong, N.Q., Dao, N.H., Nguyen, L.P., Nguyen, H.D., Thu Ta, H., Le, H.V., Meding, J.V. (2020). Framework of Spatial Flood Risk Assessment for a Case Study in Quang Binh Province, Vietnam. Sustainability, 12(7), 3058. <https://doi.org/10.3390/su12073058>
- Maskrey, S. A., Mount, N. J., Thorne, C. R., & Dryden, I. (2016). Participatory modelling for stakeholder involvement in the development of flood risk management intervention options. Environmental Modelling & Software, 82, 275-294. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.04.027>
- Maskrey, S. A., Mount, N. J., & Thorne, C. R. (2022). Doing flood risk modelling differently: Evaluating the potential for participatory techniques to broaden flood risk management decision-making. Journal of Flood Risk Management, 15(1), e12757. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12757>
- McGraw, D.K., & Biesecker, A.G. (2014). Tribes, boundaries and intellectual silos: science, technology and engineering ethics education in the departmentalized world of academia. International Symposium on Ethics in Science, Technology and Engineering, IEEE. New Jersey, United States. <https://doi.org/10.1109/ethics.2014.6893441>
- Mechler, R., Czajkowski, J., Kunreuther, H., Michel-Kerjan, E., Botzen, W., Keating, A., McQuistan, C., Cooper, N., & O'Donnell, I. (2014). Making communities more flood resilient: The role of cost benefit analysis and other decision-support tools in disaster risk reduction. White Paper, Zurich Flood Resilience Alliance, 1-10.
- Meyer, V., Scheuer, S., & Haase, D. (2009). A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. Natural hazards, 48, 17-39. <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9244-4>
- Meyer, V., Priest, S., & Kuhlicke, C. (2012). Economic evaluation of structural and non-structural flood risk management measures: examples from the Mulde River. Natural Hazards, 62, 301-324. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9997-z>

- place: A case study of flood history and sustainable community engagement in flood risk management in the County of Berkshire, England. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 52, 101980. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101980>
- Puzyreva, K., Henning, Z., Schelwald, R., Rassman, H., Borgnino, E., de Beus, P., Casartelli, S., & Leon, D. (2022). Professionalization of community engagement in flood risk management: Insights from four European countries. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 71, 102811. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102811>
- Raadgever, G. T., Booister, N., & Steenstra, M. K. (2018). *Flood risk management strategies. Flood Risk Management Strategies and Governance*, Springer International Publishing. New York City, United state. 93-100. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67699-9_8
- Raška P, Bezak N, Ferreira CSS, Kalantari Z, Banasik K, Bertola M, Bourke M, Cerdà A, Davids P, Madruga de Brito M, Evans R, Finger DC, Halbac-Cotoara-Zamfir R, Housh M, Hysa A, Jakubínský J, Solomun MK, Kaufmann M, Keesstra S, Keles E, Kohnová S, Pezzagno M, Potočki K, Rufat S, Seifollahi-Aghmiuni S, Schindelegger A, Šraj M, Stankunavicius G, Stolte J, Stričević R, Szolgay J, Zupanc V, Slavíková L, Hartmann T. (2022). Identifying barriers for nature-based solutions in flood risk management: An interdisciplinary overview using expert community approach. *Journal of Environmental Management*, 310, 114725. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114725>
- Rosner, A., Vogel, R. M., & Kirshen, P. H. (2014). A risk-based approach to flood management decisions in a nonstationary world. *Water Resources Research*, 50(3), 1928-1942. <https://doi.org/10.1002/2013wr014561>
- Sayers, P., Yuanyuan, L., Galloway, G., Penning-Rowsell, E., Fuxin, S., Kang, W., Yiwei, C., & Le Quesne, T. (2013). *Flood risk management: A strategic approach*. UNESCO. Paris, France.
- Schanze, J. (2006). Flood risk management—a basic framework. In *Flood risk management: Hazards, vulnerability and mitigation measures*, Springer Netherlands, 67, 1-20. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1_1
- Schelfaut, K., Pannemans, B., Van der Craats, I., Krywkow, J., Mysiak, J., & Cools, J. (2011). Bringing flood facilitate transformative change: a comparative case study analysis on flood management. *Ecology and Society*, 18(4), 54. <https://doi.org/10.5751/es-05779-180458>
- Pahl-Wostl, C., & Knieper, C. (2014). The capacity of water governance to deal with the climate change adaptation challenge: Using fuzzy set Qualitative Comparative Analysis to distinguish between polycentric, fragmented and centralized regimes. *Global Environmental Change*, 29, 139-154. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.09.003>
- Park, J., Seager, T. P., Rao, P. S. C., Convertino, M., & Linkov, I. (2013). Integrating risk and resilience approaches to catastrophe management in engineering systems. *Risk Analysis*, 33(3), 356-367. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01885.x>
- Penning-Rowsell, E. C., & Johnson, C. (2015). The ebb and flow of power: British flood risk management and the politics of scale. *Geoforum*, 62, 131-142. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2015.03.019>
- Perera, D., Agnihotri, J., Seidou, O., & Djalante, R. (2020). Identifying societal challenges in flood early warning systems. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101794. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101794>
- Porthin, M., Rosqvist, T., Perrels, A., & Molarius, R. (2013). Multi-criteria decision analysis in adaptation decision-making: a flood case study in Finland. *Regional Environmental Change*, 13, 1171-1180. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0423-9>
- Posthumus, H., Hewett, C. J. M., Morris, J., & Quinn, P. F. (2008). Agricultural land use and flood risk management: Engaging with stakeholders in North Yorkshire. *Agricultural Water Management*, 95(7), 787-798. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.02.001>
- Prakash, C., Barthwal, A., & Acharya, D. (2023). FLOODALERT: An internet of things based real-time flash flood tracking and prediction system. *Multimedia Tools and Applications*, 82, 43701-43727. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-15298-w>
- Prudhomme, C., Kay, A. L., Crooks, S., & Reynard, N. (2013). Climate change and river flooding: Part 2 sensitivity characterisation for British catchments and example vulnerability assessments. *Climatic Change*, 119, 949-964. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0726-3>
- Puzyreva, K., & de Vries, D. H. (2021). A low and watery

- Swiss Re Group. (2018). How to rethink flood risk and help society become more resilient. <https://www.swissre.com/reinsurance/property-and-casualty/solutions/flood.html>
- Tempels, B., & Hartmann, T. (2014). A co-evolving frontier between land and water: dilemmas of flexibility versus robustness in flood risk management. *Water International*, 39(6), 872-883. <https://doi.org/10.1080/02508060.2014.958797>
- Thaler, T. (2014). Developing partnership approaches for flood risk management: implementation of inter-local co-operations in Austria. *Water International*, 39(7), 1018-1029. <https://doi.org/10.1080/02508060.2014.992720>
- Thaler, T., & Levin-Keitel, M. (2016). Multi-level stakeholder engagement in flood risk management—A question of roles and power: Lessons from England. *Environmental Science & Policy*, 55, 292-301. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.04.007>
- Thorne, C. (2014). Geographies of UK flooding in 2013/4. *The Geographical Journal*, 180(4), 297-309. <https://doi.org/10.1111/geoj.12122>
- Tseng, C. P., & Penning-Rowsell, E. C. (2012). Micro-political and related barriers to stakeholder engagement in flood risk management. *The Geographical Journal*, 178(3), 253-269. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2012.00464.x>
- United Nations. (2015). The human cost of weather-related disasters. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Retrieved using real options and optimization. *Risk Analysis*, 34(1), 75-92.
- Van Herk, S., Zevenbergen, C., Gersonius, B., Waals, H., & Kelder, E. (2014). Process design and management for integrated flood risk management: exploring the multi-layer safety approach for Dordrecht, The Netherlands. *Journal of Water and Climate Change*, 5(1), 100-115. <https://doi.org/10.2166/wcc.2013.171>
- Van Ree, C. C. D. F., Van, M. A., Heilemann, K., Morris, M. W., Royet, P., & Zevenbergen, C. (2011). Flood-ProBE: technologies for improved safety of the built environment in relation to flood events. *Environmental Science & Policy*, 14(7), 874-883. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.03.010>
- Van Wesenbeeck, B. K., Mulder, J. P., Marchand, M., Reed, D. J., de Vries, M. B., de Vriend, H. J., & Herman, P. M. (2014). Damming deltas: A practice of the past? To-resilience into practice: the FREEMAN project. *Environmental Science & Policy*, 14(7), 825-833. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.02.009>
- Sendzimir, J., Light, S., & Szymanowska, K. (1999). Adaptive understanding and management for floods. *Environments*, 27(1), 115-136.
- Seo, Y., Kim, S., & Singh, V. P. (2015). Multistep-ahead flood forecasting using wavelet and data-driven methods. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19, 401-417. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-1483-9>
- Sheate, W. R. (2009). The evolving nature of environmental assessment and management: Linking tools to help deliver sustainability. In *Tools, techniques and approaches for sustainability: collected writings in environmental assessment policy and management*, 1-29. https://doi.org/10.1142/9789814289696_0001
- Shrubsole, D. (2013). A history of flood management strategies in Canada revisited. *Climate change and flood risk management: Adaptation and extreme events at the local level*, Monograph Chapter, 95-120. <https://doi.org/10.4337/9781781006672.00009>
- Simonović, S. P. (2012). *Floods in a changing climate: risk management*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139088404>
- Smith, K., & Lawrence, G. (2014). Flooding and food security: A case study of community resilience in Rockhampton. *Rural Society*, 23(3), 216-228. <https://doi.org/10.1080/10371656.2014.11082066>
- Smits, A.J.M., Nienhuis, P.H., & Saeijs, H.L.F. (2006). Changing estuaries, changing views. *Hydrobiologia*, 565(1), 339-355. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1924-4>
- Stevens, M. R., & Hanschka, S. (2013). Multilevel governance of flood hazards: municipal flood bylaws in British Columbia, Canada. *Natural Hazards Review*, 15(1), 74-87. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)nh.1527-6996.0000116](https://doi.org/10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000116)
- Strickert, G., Samarasinghe, S., & Davies, T. (2009). Resilience models for New Zealand's Alpine Skiers based on people's knowledge and experience: A mixed method and multi-step fuzzy cognitive mapping approach. MODSIM Congress, Cairns, Australia.
- Surminski, S. (2014). The role of insurance in reducing direct risk: the case of flood insurance. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 7(3-4), 241-278. <https://doi.org/10.1561/101.000000062>

- Risk Management, 3(4), 337-346. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318x.2010.01083.x>
- Woodward, M., Kapelan, Z., & Gouldby, B. (2014). Adaptive flood risk management under climate change uncertainty using real options and optimization. *Risk Analysis*, 34(1), 75-92. <https://doi.org/10.1111/risa.12088>
- Yazdi, J., & Neyshabouri, S. S. (2014). Adaptive surrogate modeling for optimization of flood control detention dams. *Environmental modelling & software*, 61, 106-120. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.07.007>
- Yildirim, E., & Demir, I. (2021). An integrated flood risk assessment and mitigation framework: A case study for middle Cedar River Basin, Iowa, US. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56, 102113. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102113>
- Zang, Y., Meng, Y., Guan, X., Lv, H., & Yan, D. (2022). Study on urban flood early warning system considering flood loss. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, 103042. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103042>
- Zevenbergen, C., & Gersonius, B. (2007). Chapter 1: Challenges in urban flood management. In: R. Ashley, S. Garvin, E. Pasche, A. Vassilopoulos, & Zevenbergen, eds. *Advances in urban flood management*. New York: Taylor and Francis, London, CRC Press, 1-11. <https://doi.org/10.1201/9780203945988>
- Zheng, H., Barta, D., & Zhang, X. (2014). Lesson learned from adaptation response to Devils Lake flooding in North Dakota, USA. *Regional Environmental Change*, 14, 185-194. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0474-y>
- Zheng, J., & Huang, G. (2023). Towards flood risk reduction: Commonalities and differences between urban flood resilience and risk based on a case study in the Pearl River Delta. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 86, 103568. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103568>
- Zhou, Q., Lambert, J. H., Karvetski, C. W., Keisler, J. M., & Linkov, I. (2012). Flood protection diversification to reduce probabilities of extreme losses. *Risk Analysis: An International Journal*, 32(11), 1873-1887. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01870.x>
- wards nature-based flood defenses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.12.031>
- Veerbeek, W., & Zevenbergen, C. (2009). Deconstructing urban flood damages: increasing the expressiveness of flood damage models combining a high level of detail with a broad attribute set. *Journal of Flood Risk Management*, 2(1), 45-57. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318x.2009.01021.x>
- Vitousek, S., Barnard, P.L., Fletcher, C.H., Frazer, N., Erikson, L., & Storlazzi, C.D. (2017). Doubling of coastal flooding frequency within decades due to sea-level rise. *Scientific Reports*, 7(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01362-7>
- Vogel, C., Moser, S. C., Kaspersen, R. E., & Dabelko, G. D. (2007). Linking vulnerability, adaptation, and resilience science to practice: pathways, players, and partnerships. *Global Environmental Change* 17(3-4), 349-364. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.05.002>
- Walters, C. J., & Hilborn, R. (1978). Ecological optimization and adaptive management. *Annual review of Ecology and Systematics*, 9(1), 157-188. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.09.110178.001105>
- Wang, J. P., & Liang, Q. (2011). Testing a new adaptive grid-based shallow flow model for different types of flood simulations. *Journal of Flood Risk Management*, 4(2), 96-103. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318x.2011.01094.x>
- Wedawatta, G., Ingirige, B., & Proverbs, D. (2014). Small businesses and flood impacts: the case of the 2009 flood event in Cockermouth. *Journal of Flood Risk Management*, 7(1), 42-53. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12031>
- Wehn, U., Rusca, M., Evers, J., & Lanfranchi, V. (2015). Participation in flood risk management and the potential of citizen observatories: A governance analysis. *Environmental Science & Policy*, 48, 225-236. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.12.017>
- Westley, F.R., Tjornbo, O., Schultz, L., Olsson, P., Folke, C., Crona, B., & Bodin, Ö. (2013). A theory of transformative agency in linked social-ecological systems. *Ecology and Society*, 18(3), 27. <https://doi.org/10.5751/es-05072-180327>
- White, I., Kingston, R., & Barker, A. (2010). Participatory geographic information systems and public engagement within flood risk management. *Journal of Flood*

Review of Flood Risk Management Strategies and Legal and Practical Challenges

S. M. Taheri¹, A. Mosaedi²

1- Ph.D. Student in Water Science and Engineering, Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 2- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: taheri.sm@mail.um.ac.ir)

Received: 12-09-2023

Revised: 25-11-2023

Accepted: 05-12-2023

Available Online: 21-12-2023

مروری بر راهبردهای مدیریت ریسک سیل و چالش‌های قانونی و عملی

سیده محدثه طاهری^{۱*}، ابوالفضل مسادعی^۲

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، پژوهشکده آب و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: taheri.sm@mail.um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۴

Abstract

Flood management is a technique and strategy to reduce the risk and damage caused by floods, and it specifies the necessity of using efficient solutions through short-term and long-term plans to minimize losses and damages during an accident. Effective flood management requires a coordinated and integrated system for dealing with this natural phenomenon. In this article, the causes of floods and corrective strategies for structural and non-structural (defensive structures, forecasting, rescue operations, and determining residential areas) flood control and integrated flood management are explained. Also, by examining flood risk management strategies in France, England, Netherlands, and Malaysia, flood governance measures in Iran are explained through five approaches of prevention, defense measures, reduction of event effects, disaster preparedness, and recovery, and organizational and non-organizational bodies and institutions effective in risk management are determined. Finally, the factors that aggravate the flood damage in Iran, the legal and practical challenges related to the river bed, and the legal vacuum of universal flood insurance are discussed.

Keywords: Flood Risk Management, Integrated Flood Management, Management Approach, Legal Challenge.

چکیده

مدیریت سیل یک تکنیک و استراتژی برای کاهش خطر و خسارت ناشی از سیل می‌باشد و ضرورت به‌کارگیری راهکارهای کارآمد با استفاده از برنامه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت برای به حداقل رساندن تلفات و آسیب‌ها در هنگام وقوع حادثه را مشخص می‌سازد. مدیریت کارآمد سیل مستلزم ایجاد سیستمی هماهنگ و یکپارچه در مقابله با این رخداد طبیعی است. در این مقاله علل وقوع سیل و راهبردهای اصلاحی کنترل سازه‌ای و غیرسازه‌ای (مانند ساختار دفاعی، پیش‌بینی، عملیات نجات و تعیین مناطق سکونت) سیلاب و مدیریت یکپارچه سیل بیان می‌شود. همچنین با بررسی استراتژی‌های مدیریت ریسک سیل در فرانسه، انگلیس، هلند و مالزی تدابیر حکمرانی سیل در ایران از طریق پنج رویکرد پیشگیری، تدابیر دفاعی، کاهش اثرات رویداد، آمادگی در برابر حادثه و بازیابی شرح داده می‌شود و ارگان‌ها و نهادهای سازمانی و غیرسازمانی مؤثر در مدیریت ریسک مشخص می‌شود. در نهایت به عوامل تشدید خسارت سیل در ایران، چالش‌های قانونی و عملی مرتبط با حریم و بستر رودخانه و خلاء قانونی اعمال بیمه همگانی سیل پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت ریسک سیل، مدیریت یکپارچه سیل، رویکرد مدیریتی، چالش قانونی.

دخالت‌های انسان در فرآیندهای طبیعت، مانند تغییر در الگوهای ناشی از شهرنشینی، شیوه‌های کشاورزی و جنگل‌زدایی، وضعیت را در کل حوضه‌های رودخانه به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر داده است و آسیب‌پذیری در مناطق مستعد سیل به طور مداوم در حال افزایش است. ریسک‌های مرتبط با آب از نظر، آسیب‌پذیری و قرار گرفتن در معرض خطر و تأثیر تغییرات اقلیمی و اقتصادی-اجتماعی بر ریسک در شکل (۱) نمایش داده شده است. به گزارش هیئت بین‌دولتی تغییرات آب‌وهوایی، قرن بیست و یکم با افزایش دمايي بين ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گرادی مواجه خواهد بود و انتظار می‌رود سطح آب دریا تا سال ۲۱۰۰ به میزان ۹ تا ۸۸ سانتی‌متر افزایش یابد. از طرفی الگوی بارش نیز تغییر خواهد کرد. مناطق مرطوب معمولاً مرطوب‌تر می‌شوند و مناطق خشک بیشتر خشک می‌شوند. میزان بارندگی نیز نوسان شدیدتری خواهد داشت. به‌طورکلی این به معنای احتمال افزایش سیل و کاهش تعداد رودخانه‌ها در دوره‌های خشک است. بالا آمدن سطح دریا، زهکشی دلتای رودخانه به دریا را دشوارتر می‌کند و تأثیر سیل افزایش می‌یابد (Oyebode, ۲۰۱۸). تعداد تلفات و خسارت‌های اقتصادی ناشی از بلایای مرتبط با آب مانند سیل، خشکسالی، رانش زمین و فرونشست زمین به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. تغییرات و تنوع آب‌وهوا، تغییرات کاربری زمین، شهرنشینی، الگوهای مهاجرت، مشکلات انرژی و تولید مواد غذایی ناشی از تغییرات جمعیتی و توسعه اقتصادی می‌تواند منجر به افزایش خطرات غیر مترقبه شود. فعالیت‌های انسانی با تغییر محیط به شیوه‌های مختلف منجر به به هم خوردن چرخه طبیعی آب و افزایش خطر سیل شده است، بنابراین ریسک سیل و مدیریت ریسک سیل ارتباط تنگاتنگی با فعالیت‌های انسانی دارد. تأثیر تغییر کاربری زمین نه تنها شامل شهرنشینی، بلکه توسعه و تحکیم کشاورزی نیز می‌شود. سیاست کاربری اراضی یک عامل کلیدی در توسعه شهری است، سیاست کاربری ارضی به‌عنوان عامل توسعه‌دهنده شهری منجر به افزایش مناطق پرخطر در مواجهه با سیل خواهد بود (Mishra و همکاران، ۲۰۲۱).

عملیاتی کردن مفهوم امنیت آبی به معنای شناسایی جنبه‌های مختلف آن، تعیین اهداف و بررسی اقدامات برای دستیابی به این اهداف است. افزایش امنیت آبی شامل موارد زیر است (Mishra و همکاران، ۲۰۲۱):

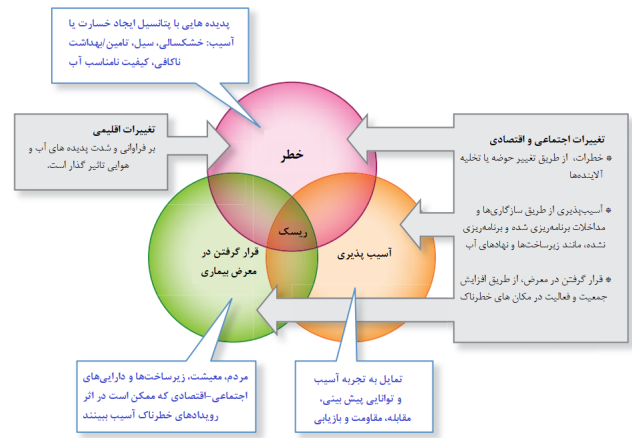
- ۱- اطمینان از در دسترس بودن منابع آب کافی و قابل اعتماد با کیفیت قابل قبول برای ارائه خدمات آب برای کلیه فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی به شیوه‌ای که از نظر محیط‌زیستی پایدار باشد.
 - ۲- کاهش خطرات مرتبط با آب مانند سیل، خشکسالی و آلودگی؛
 - ۳- پرداختن به درگیری‌هایی که ممکن است از اختلافات بر سر آب‌های مشترک و تبدیل آنها به راه‌حل‌های برد-برد.
- ملاحظات مکانی و زمانی عوامل مهمی برای امنیت آب هستند. مشکل عرضه زمانی مطرح است که آب واقعاً به معنای فیزیکی

بهره‌برداری از منابع آبی در نتیجه نرخ روبه‌رشد جمعیت جهانی و نیاز فزاینده تأمین غذا (نیاز به افزایش ۷۰ درصدی مواد غذایی تا سال ۲۰۵۰ به‌منظور پاسخ به تقاضای پیش‌بینی شده) و انرژی رو به افزایش است و تخمین زده می‌شود که تقریباً ۵۰ درصد از جمعیت جهان طی سال‌های ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ با تنش شدید آب مواجه خواهند بود (Wheater و Gober, ۲۰۱۵) و به طور مشابه Gosling و Arnell (۲۰۱۳) پیش‌بینی کرده‌اند تا سال ۲۰۵۰، حدود ۰.۵ تا ۳.۱ میلیارد نفر در سطح جهانی در معرض افزایش کمبود آب به دلیل تغییرات آب‌وهوایی قرار خواهند گرفت و تخمین می‌زنند که سیل ۱۰۰ ساله کنونی حداقل دو برابر بیشتر در ۴۰ درصد از کره زمین در سال ۲۰۵۰ رخ می‌دهد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تا سال ۲۰۵۰ افراد بیشتری (از ۱/۲ میلیارد نفر امروز به ۱/۶ میلیارد نفر)، به‌ویژه در شهرهای ساحلی در معرض خطر سیل قرار خواهند داشت (OECD, ۲۰۱۲). بااین‌وجود شهرها یا با خشکسالی مواجه هستند یا در معرض خطر بالای سیل قرار خواهند داشت. به‌عنوان مثال در سال ۲۰۱۵، در برزیل، کشوری که ۱۲ درصد از منابع آب شیرین جهان در آن متمرکز است، شهرهای ریودوژانیرو و سائوپائولو با بدترین خشکسالی در ۸۴ سال گذشته مواجه شدند، درحالی‌که سایر مناطق کشور در معرض سیل قرار گرفتند (OECD, ۲۰۱۵). از طرفی این رویدادها بسیار پرهزینه هستند: سیل شدیدی که در سال ۲۰۱۱ در کپنهاگ رخ داد، حدود ۷۰۰ میلیون یورو خسارت وارد کرد. طوفان سندی در شهر نیویورک ۱۹ میلیارد دلار خسارت اقتصادی در سال ۲۰۱۲ به بار آورد. در اکتبر ۲۰۱۸، طوفان مایکل در فلوریدا خسارت اقتصادی معادل ۲۵ میلیارد دلار را در پی داشت. به‌طورکلی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۵۰ ارزش اقتصادی دارایی‌های در معرض خطر سیل ۳۴۰ درصد رشد خواهد کرد و به ۴۵ تریلیون دلار خواهد رسید (Romanو و Akhmouch, ۲۰۱۹).

در ایران وقوع سیل ویرانگر مرداد ماه ۱۳۸۰ با دبی عبوری بالغ بر ۱۶۵۰ مترمکعب بر ثانیه در گرگانرود، علاوه بر ایجاد تلفات جانی و مالی بسیار در طول مسیر خود باعث ایجاد تغییرات شگرف بر موفولوژی آن شد (محمدی استادکلایه و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین می‌توان به رخداد سیل ۱۳۹۸ شیراز اشاره نمود که میزان خسارات وارده در نتیجه تغییر کاربری اراضی افزایش یافت. این سیل بنا به خسارت‌ها و تلفات ایجاد شده، سیل "انسان‌ساخت" نامیده شد؛ چراکه این سیل در اثر پرکردن آبراهه طبیعی "تنگ الله‌اکبر" که در نهایت به رودخانه خشک "شیراز" و به دریاچه "مه‌ارلو" ختم می‌شد، به شکلی تاسف‌بار به وقوع پیوست (خاکی و طولابی، ۱۴۰۱).

اگرچه سیل پدیده‌ای طبیعی است، اما فعالیت‌های انسانی و

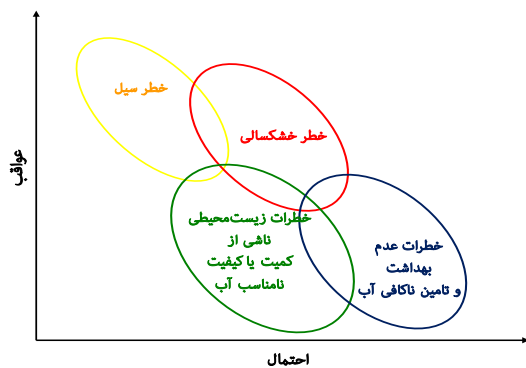
کمیاب است و مشکل تقاضا زمانی که آب کافی در دسترس است اما به روشی بهتر یا پایدار استفاده نمی شود. شرایط شدید هیدرولوژیکی مانند سیل و خشکسالی می تواند در مکان واحد در طول یک سال رخ دهد. بنابراین، معیار متوسط آب در دسترس نمی تواند شاخصی برای کمبود یا مازاد آب باشد.



شکل ۱- ریسک های مرتبط با آب متأثر از تغییرات اقلیمی و شرایط اقتصادی-اجتماعی (Hall و Garrick، ۲۰۱۴)

در فصل باران های موسمی، بسیاری از مناطق آسیا از کمبود آب رنج می برند، در حالی که به نظر می رسد مقدار متوسط منابع آبی سالانه تأمین می شود ولی در نتیجه سیل آسا بودن بارش های موسمی، بحران دسترسی به آب با شرایط کمی و کیفی پهنه وجود خواهد داشت در کشورهای بزرگی مانند هند ممکن است هم زمان با کمبود آب در بخشی از کشور، سایر نقاط کشور با سیل مواجه شوند و وضعیت توزیع نابرابر منابع آب به دلیل تغییرات اقلیمی بدتر شود. گزارش های هیئت بین دولتی تغییرات اقلیمی نشان می دهد بیش از ۸۷ درصد از تأثیر تغییرات آب و هوایی بر زیرسازهای آبی خواهد بود و افزایش تأثیرات منفی گرمایش جهانی و فراوانی و شدت تغییرات آب و هوا، افزایش رخدادهای خشکسالی و سیل را در بر خواهد داشت (Mishra و همکاران، ۲۰۲۱). مشکلات شناخته شده آب، مانند سیل، خشکسالی و کمبود آب آشامیدنی، نیاز به راه حل های پایدار در زمینه های مختلف، توجه محلی به ارزش های اجتماعی و هم افزایی با مدیریت منابع دیگر دارد. از آنجایی که این مشکلات در مناطق مختلف و مقیاس های مختلف در حال افزایش است، اتخاذ تدابیری برای حفاظت از آب و ارتقای قوانین و زیرساخت های مربوط به آن ضروری می باشد (Mishra و همکاران، ۲۰۲۱). در مناطقی که منابع مالی برای این منظور در دسترس است، معمولاً می توان مناطق آسیب پذیر را شناسایی و راه کارهای مدیریت سیل را ارائه نمود. اقدامات شامل ساخت دفاع فیزیکی، احیای حوضه، و فعالیت های مدیریتی، مانند کنترل سکونتگاه ها و سایر کاربری های اراضی در دشت های سیل زده است.

هزینه بحران های ناشی از مدیریت ناکافی سیل و خشکسالی می تواند قابل توجه باشد. در کشورهایی با سرمایه گذاری های زیرساختی ناکافی و مدیریت ضعیف آب، امنیت آب محدود است و زیان های اقتصادی ناشی از سیل و خشکسالی به طور معمول به سطح ۱۰ درصد تولید ناخالص داخلی سالانه می رسد (Muller و همکاران، ۲۰۰۹). در شکل (۲) خطرات اصلی مرتبط با آب (به عنوان مثال، سیل، خشکسالی، بهداشت، کمیت یا کیفیت نامناسب آب) ترسیم شده است. هر پدیده دامنه ای از احتمالات را در بر می گیرد: سیل ها می توانند از رویدادهای تقریباً روزمره به دلیل تخلیه ناکافی بارش های شدید در مناطق شهری تا برخی از فاجعه بارترین وقایع شناخته شده برای نوع بشر متغیر باشند. آسیب های محیط زیستی می تواند ناشی از اثرات آلودگی منتشر شده از زمین های کشاورزی یا تخلیه مستقیم آلاینده ها به رودخانه ها باشند. به تصویر کشیدن پیامدهایی که اثرات اقتصادی، انسانی و محیط زیستی نامتناسبی را در برمی گیرد نیز در بهترین حالت بر مبنای مفروضات بوده و تقریبی محسوب می شود.



شکل ۲- توصیف خطرات امنیت آب از نظر احتمال و پیامدهای رویدادهای تلفات رایج (Hall و Garrick، ۲۰۱۴).

سیل های بزرگ به ناچار از ظرفیت کانال رودخانه فراتر می روند و دشت سیلابی عملکرد مهمی برای ذخیره سازی موقت و تضعیف سیل فراهم می کند. الگوی توسعه انسانی در قرن بیستم، جدا کردن دشت های سیلابی از کانال های رودخانه ها، برای حفاظت از توسعه شهری یا کشاورزی و در نتیجه افزایش خطر سیل در پایین دست بوده است (Gober و Wheeler، ۲۰۱۳). در مدیریت سیل به منظور کاهش خطرات احتمالی و بهبود امنیت آبی، باید تمهیدات و اقدامات سازهای (مانند احداث سد) و غیرسازهای (مانند پیش بینی، عملیات نجات و تعیین مناطق سکونت) در نظر گرفته شود. زیرساخت های سبز مانند باغ ها و تالاب ها در مناطق شهری می توانند خطرات سیل را کاهش داده و کیفیت آب را بهبود بخشند، در حالی که در مناطق روستایی، زیرساخت های خاکستری مانند سدهای شنی می توانند تامین آب را افزایش دهند. ترکیب

زیرساخت‌های سبز و خاکستری می‌تواند ذخیره‌سازی و عرضه را بهبود بخشد، هزینه‌ها را کاهش دهد، خدمات انعطاف‌پذیرتری تولید کند، عملکرد سیستم را بهبود بخشد و از جوامع محافظت کند. به عنوان مثال، طول عمر مخازن با استفاده از زیرساخت سبز برای کنترل فرسایش افزایش می‌یابد. زیرساخت سبز به طور عمدی و استراتژیک عناصر یک سیستم طبیعی مانند جنگل‌ها، زمین‌های کشاورزی، دشت‌های سیلابی و مناطق ساحلی را حفظ، تقویت یا احیا می‌کند. یکی کردن زیرساخت‌های سبز و خاکستری (مانند سدها، کانال‌ها و تصفیه‌خانه‌ها) نشان می‌دهد، زیرساخت‌های خاکستری در حوزه‌های آبخیز در نظر گرفته شده است و ویژگی‌های هیدرولوژیکی و محیط‌زیستی این حوزه‌ها بر عملکرد زیرساخت تأثیر می‌گذارد و می‌تواند به انعطاف‌پذیری آب‌وهوا کمک کند (Cooper, 2020). در مدیریت سیل، به منظور کاهش خطرات احتمالی باید تهیدات آماده‌سازی و برنامه‌ریزی قبل از وقوع سیل لحاظ شود. حکمرانی را می‌توان فرآیندی نهادینه شده بین مجامع عمومی و خصوصی که هدف تحقق اهداف جمعی را دنبال می‌کنند، تعریف نمود. حکمرانی در مدیریت سیل یک زنجیره حیاتی است که حکومت و جامعه را به هم متصل می‌کند. تمرکززدایی مؤثر منجر به استفاده شفاف‌تر از بودجه عمومی خواهد شد. این بودجه می‌تواند به طور مؤثرتری در ارتقای توسعه محلی و بهبود کیفیت خدمات عمومی استفاده شود. دولت‌های محلی، جوامع و شوراهای قانون‌گذاری قدرت خواهند گرفت و دولت را به شهروندان نزدیک‌تر می‌کند. مدیریت سیل اغلب به یک رویکرد پیچیده و چند وظیفه‌ای نیاز دارد که باید بین مصلحت و مقرون به صرفه بودن تعادل ایجاد کند (Hashim و همکاران، 2023).

مطالعات ارزیابی عملکرد حاکمیت عمدتاً بر ادارات دولتی متمرکز

است و نه تنها عملکرد حاکمیت، بلکه محدودیت‌ها و استراتژی‌های بهبود هر بخش را با در نظر گرفتن جنبه‌های خاص آنها مانند آلودگی هوا، محیط‌زیست بوم منطقه‌ای، فقر و معیشت روستایی بررسی می‌کند (Guo و همکاران، 2023). نوع مدیریت، تضمین کننده پذیرش ریسک سیل خواهد بود، به گونه‌ای که تغییر کاربری زمین، شهرنشینی، افزایش تولیدات کشاورزی، عدم رعایت حریم رودخانه، پتانسیل خطر سیل را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر با زیرساخت‌های شهری مناسب، شیوه‌های مدیریت کشاورزی، بهره‌برداری از مخازن ذخیره‌سازی در بالادست برای رفع نیازهای آبی آینده و استفاده از دبی زیاد برای تأمین نیروی برق آبی و ضرورت ساخت مخازن ذخیره‌ساز موقت برای به حداقل رساندن خطر سیل در پایین دست، پتانسیل کاهش چنین خطراتی میسر خواهد بود (Gober و Wheatler, 2015). ایده سازگاری و حیات همه‌جانبه با آب، دیدگاه تبدیل تهدید به فرصت را با مدیریت سنجیده در برابر پدیده سیلاب مطرح می‌سازد و از نظر ارزش‌گذاری می‌توان آنرا "طلای آبی" دانست (Rooy و همکاران، 2000). تغییرات در محدودیت‌های برنامه‌ریزی سیل در دستورالعمل‌های کاربری اراضی برای کمیته راهبری مدیریت دشت سیلابی هاکسبری نپه ارائه شده است. این دستورالعمل‌ها تأکید می‌کنند که به جای یک محدودیت برنامه‌ریزی سیل صد ساله که در حال حاضر اعمال می‌شود، اقدامات جامع‌تری برای مدیریت خطر دشت سیلابی مورد نیاز است. این به این معنی نیست که دشت‌های سیلابی هاکسبری نپه نباید توسعه یابند بلکه نیاز به توسعه برنامه‌ریزی تدریجی کنترل شده را توصیف می‌کنند که امکان استفاده حداکثری از دشت سیلابی را فراهم می‌کند، درحالی‌که اطمینان می‌دهد که خطرات مالی و جانی به حداقل برسد (HNFMSC, 2006)، منطق زیربنای این رویکرد به صورت نموداری در شکل (3) نشان داده شده است.



شکل ۳- نمونه‌ای از توزیع کاربری‌های زمین در دشت سیلابی برای کاهش خطر (HNFMSC, 2006)

استراتژی‌های اصلاحی و مدیریتی کنترل سیل شامل ساخت سازه‌های استفاده از رواناب اضافی برای انتقال بین حوضه‌ای به‌عنوان جایگزینی برای جذب آب اضافی از خاک است. استراتژی سیل باید کل منطقه حوضه رودخانه را پوشش دهد و توسعه و مدیریت هماهنگ اقدامات مربوط به آب، زمین و منابع مرتبط را ارتقاء دهد. باتوجه به تحولات و روندها، رویکرد مخاطرات طبیعی مستلزم تغییر پارادایم است. لذا باید اقدام دفاعی در برابر خطرات سیل به مدیریت خطر و زندگی با سیل تغییر کند، با در نظر گرفتن اینکه پیشگیری از سیل نباید به حوادث سیل که اغلب رخ می‌دهند محدود شود بلکه باید رویدادهای نادر را نیز در برگیرد. تلاش‌های فراملی باید برای احیای مناطق طبیعی رودخانه‌ها تشدید شود تا توانایی تالاب‌های طبیعی و دشت‌های سیلابی برای حفظ آب و کاهش اثرات سیل فعال شود. استفاده‌های انسانی از دشت‌های سیلابی باید با خطرات موجود سازگار شود و ابزارها و اقدامات مناسب برای همه مشکلات مرتبط با سیل ایجاد شود. باید راه‌حل‌های پایدار برای مشکلات مرتبط با آب مانند، سیل، اختلال در شبکه فاضلاب، فرسایش، رسوب انبوه، آلودگی و سایر اقدامات کاهنده و غیرساختاری جهت کاهش آسیب اجتماعی اقتصادی در نظر گرفته شود. اقدامات ساختاری (ساختارهای دفاعی) در درجه اول بر حفاظت از سلامت و ایمنی انسان و اموال با ارزش متمرکز شود. باید در نظر داشت که حفاظت در برابر سیل هرگز مطلق نیست و ممکن است احساس امنیت کاذب باشد، بنابراین مفهوم ریسک جانبی، ازجمله شکست یا نقض احتمالی، باید در نظر گرفته شود. پیش‌بینی و هشدار پیش از وقوع سیل، متضمن کاهش خسارات رخداد سیل خواهد بود و اثربخشی آن به میزان آمادگی و پاسخ صحیح بستگی دارد. استراتژی مناسب شامل سه مرحله نگهداری، ذخیره‌سازی و تخلیه است. پیشگیری از سیل نیز باید بر اساس اصل احتیاط باشد. سیستم‌های گرامتی و بیمه باید از قربانیان بلایای سیل حمایت کند تا پایه‌های اقتصادی و شرایط زندگی آنها را در زمان مناسب بازگردانند. لازم است بین انواع مختلف سیل و شرایط محیطی که به حل مشکل کمک می‌کند، تمایز قائل شد. به‌عنوان مثال، از یک طرف سیل ناگهانی در مناطق بالادست یا سرآب که در آن امکان کاهش خطر از طریق اعمال طیف وسیعی از ایده‌های نوآورانه در مقیاس کوچک میسر است و از سوی دیگر سیلاب در مناطق پست که در آن بازه زمانی اعلام هشدار و مدت زمان وقوع سیل طولانی‌تر است، تفاوت‌های قابل توجهی وجود دارد و اقدامات گسترده‌ای باید انجام شود (Oyebode, 2018). در ادامه به تدابیر و راهکارهای پیش‌گیرانه در بروز رخداد سیل پرداخته می‌شود.

گزینه‌های پیشگیرانه شامل اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای باید برای مهار خطر سیل اتخاذ و اجرا شود. اقدامات سازه‌ای مانند دیواره‌های سیل‌بند و سیستم‌های زهکشی کارآمد با تعداد کافی، به شیوه‌های زیر بر کنترل سیلاب دوره‌ای در مناطقی که در معرض سیل هستند، تاثیرگذار هستند:

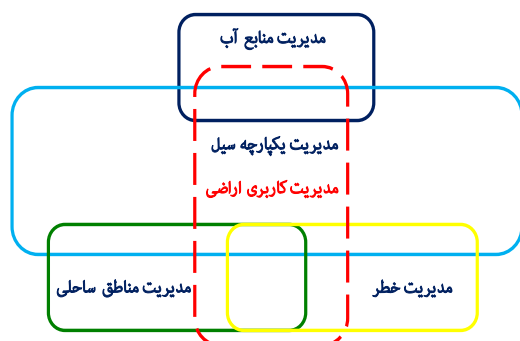
- ساخت سازه‌ها برای آبیاری و استفاده از رواناب اضافی برای انتقال بین حوضه‌ای به‌عنوان جایگزینی برای جذب آب اضافی.
- گورها و سیل‌بندها، سیلاب را در کانال‌های از پیش تعیین شده محدود می‌کنند.
- سیستم‌های زهکشی کارآمد با تعداد کافی، دبی اوج جریان سیل را کاهش می‌دهد و جریان بیش از حد را منحرف می‌کند.
- در مناطقی که سرعت حرکت رواناب زیاد است، باید خاکریزهایی برای کاهش سرعت جریان ایجاد کرد تا منجر به وقوع سیل نشود. این خاکریزها می‌توانند دائمی یا موقت باشند، مانند کیسه‌های شن و ماسه در زمان وقوع سیل.

باین‌حال اتخاذ تدابیر سازه‌ای به تنهایی می‌تواند منجر به توسعه کمتر از حد مطلوب دشت سیل‌خیز شود و حتی ممکن است خسارات بیشتری را در هنگام وقوع بارش‌های سیل‌آسای که از محدوده‌های طراحی سازه‌ها فراتر می‌رود، به همراه داشته باشد، همانطور که فروریختن سد باگودا در کانو چنین نتیجه‌ای را در برداشت. علاوه بر این، اقدامات سازه‌ای گران هستند، از این‌رو نیاز به تنظیم توسعه دشت سیلابی با ایجاد اقدامات غیرسازه‌ای برای مهار خطر سیل باید در نظر گرفته شود (جدول ۱) (Oyebode, 2018).

جدول ۱- راهبردهای پیشگیری از سیل (Oyebode, 2018).

گزینه‌ها	استراتژی
سدها، خاکریزها و خاکریزهای سیلابی	کاهش سیل
انحرافات جریان بالا	
مدیریت حوضه آبریز	
مقررات دشت سیلابی	کاهش حساسیت
سیاست‌های توسعه و توسعه مجدد	به آسیب
طراحی و مکان‌یابی تاسیسات مقاوم در برابر سیل	
پیش‌بینی و هشدار سیل	
اطلاعات و آموزش	کاهش اثرات سیل
آمادگی در برابر بلایا	
بازیابی پس از سیل	
پهن‌بندی دشت سیلابی	حفظ منابع طبیعی
	دشت‌های سیلابی

کلی استفاده بهینه از دشت‌های سیلابی باشد.



شکل ۴- مدل یکپارچه برای مدیریت سیل (Oyebede, ۲۰۱۸).

در ادامه چارچوب حاکمیت و مدیریت ریسک سیل در کشورهای فرانسه، انگلستان، هلند و مالزی به‌عنوان نمونه‌هایی بر انتصاب گماشتن واسطه‌های مسئولین کلیدی اجراکننده مدیریت یکپارچه بررسی خواهد شد.

مروری بر حاکمیت خطر سیل و رابط‌های سیاست‌های دانش‌بنیان در انگلیس، فرانسه، هلند و مالزی

در این بخش ابتدا نمای کلی از تغییرات اعمال شده در تدابیر حاکمیت ملی خطر سیل کشورهای فرانسه، انگلستان و هلند ارائه می‌شود و در ادامه رابط‌های دانش‌بنیان سیاسی و واسطه‌های کلیدی آنها بررسی خواهد شد و پس از آن، استراتژی مدیریت ریسک سیل و آژانس‌های مشارکت‌کننده در مالزی تبیین خواهد شد. رابط‌های دانش‌بنیان سیاسی کشورهای فرانسه، انگلستان و هلند در جدول (۲) خلاصه شده است. در هر سه کشور، تنوع مستندی از استراتژی‌های مدیریت خطر سیل وجود داشته است و شکل (۵) نمای کلی از استراتژی‌ها را ارائه می‌دهد. استراتژی متمرکز بر کاهش وقوع سیل و تهدیدات دفاعی در کشورها با هم متفاوت می‌باشند. فرانسه تغییر تدریجی در استراتژی‌های مدیریت ریسک سیل را از آغاز دهه ۱۹۸۰ به بعد دنبال نمود که بخشی از آن استراتژی بر پایه‌ی گرایش به سمت متمرکززدایی و کاهش حجم مسئولیت‌های همه‌جانبه دولت تنظیم شده بود. با وجودی که در ابتدای مسیر عملیاتی نمودن استراتژی، تأکید بر ارائه تدابیر دفاعی در برابر وقوع رخداد بود، از دهه ۱۹۸۰ اهمیت پیشگیری از سیل (از طریق تعیین مناطق در معرض سیل)، بازسازی پس از سیل، آماده‌سازی در برابر سیل، و تا حدی کاهش خطر سیل، افزایش یافت. اگرچه نقش دولت هنوز در اجرای سیستم بازسازی و تعیین منطقه‌بندی قوی است، با این‌وجود دولت مرکزی به تدریج مدیریت سیل را به مقامات محلی و منطقه‌ای واگذار نموده است.

علاوه بر پیشنهاد و اجرای تدابیر سازه‌ای و غیرسازه‌ای در پیشگیری و مدیریت بحران، ایجاد هماهنگی بین سازمان‌های تصمیم‌گیرنده و اجرایی ضروری می‌باشد، برای این منظور در نظر داشتن مدیریت یکپارچه اهمیت می‌یابد.

• مدیریت یکپارچه سیل (IFM)^۱

مدیریت یکپارچه سیل فرآیندی برای ترویج یک رویکرد یکپارچه مدیریت سیل است، توسعه زمین و منابع آب را در حوضه رودخانه، در چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب در نظر گرفته و هدف آن به حداکثر رساندن سود خالص استفاده از دشت‌های سیلابی و به حداقل رساندن تلفات جانی ناشی از سیل است. در سطح جهانی، هم زمین - به ویژه زمین‌های قابل کشت - و هم منابع آب کمیاب هستند. بیشترین زمین‌های قابل کشت در دشت‌های سیلابی قرار دارند. هنگام اجرای سیاست‌هایی برای به حداکثر رساندن استفاده کارآمد از منابع حوضه رودخانه به‌عنوان یک کل، باید تلاش‌هایی برای حفظ یا افزایش بهره‌وری دشت‌های سیلابی انجام شود. از سوی دیگر نمی‌توان از خسارات اقتصادی و تلفات انسانی ناشی از سیل چشم‌پوشی کرد. تلفی سیل به‌عنوان مشکل حاشیه‌ای منجر به یک رویکرد مقطعی و موضعی می‌شود که در راستای مدیریت یکپارچه با کاهش خسارات احتمالی قرار دارد. مدیریت یکپارچه سیل خواستار تغییر دیدگاه رویکرد سنتی مدیریت سیل است. مدیریت یکپارچه سیلاب، حوضه رودخانه را به‌عنوان یک سیستم پویا می‌شناسد که در آن فعل و انفعالات بسیاری بین آب و زمین وجود دارد. در مدیریت یکپارچه سیل، نقطه شروع، چشم‌اندازی از آنچه که حوضه رودخانه باید باشد، می‌باشد چشم‌اندازی از شرایط ایده‌آل حوضه رودخانه را تبیین می‌دارد و گنجاندن دیدگاه معیشت پایدار به معنای جستجوی راه‌هایی برای کار در جهت شناسایی فرصت‌هایی برای ارتقای عملکرد سیستم به‌عنوان یک کل است. جریان آب، رسوب و آلاینده‌ها از حوضه‌های فوقانی رودخانه به منطقه ساحلی می‌تواند عواقب قابل توجهی داشته باشد. از آنجایی که حوضه دلتای رودخانه و منطقه ساحلی را در برمی‌گیرند، منظور نمودن مدیریت منطقه ساحلی در مدیریت یکپارچه سیل مهم است. شکل (۴) یک مدل مدیریت یکپارچه سیل را نشان می‌دهد، مدیریت یکپارچه سیل، در برگرفته ارکان مختلف مدیریتی از قبیل، مدیریت منابع آب، مدیریت کاربری اراضی، مدیریت خطر و همچنین در مدیریت مناطق ساحلی خواهد بود که متناسب با شرایط حوضه‌ای می‌تواند ترکیب همه‌ی موارد یا بخشی از آنها باشد هدف در مدیریت یکپارچه سیل نه تنها کاهش تلفات ناشی از سیل بلکه به حداکثر رساندن استفاده کارآمد از دشت‌های سیلابی با آگاهی از خطر سیل (به‌ویژه در شرایط محدودیت زمین) می‌باشد. به این معنا که در حالی که کاهش تلفات جانی باید در اولویت اول باقی بماند، هدف ثانویه کاهش تلفات سیل باید نسبت به هدف

جدول ۲- مجریان کلیدی سیاست دانش‌بنیان مرتبط با حاکمیت ریسک سیل در هلند، فرانسه و انگلیس (Hegger و همکاران، ۲۰۲۰).

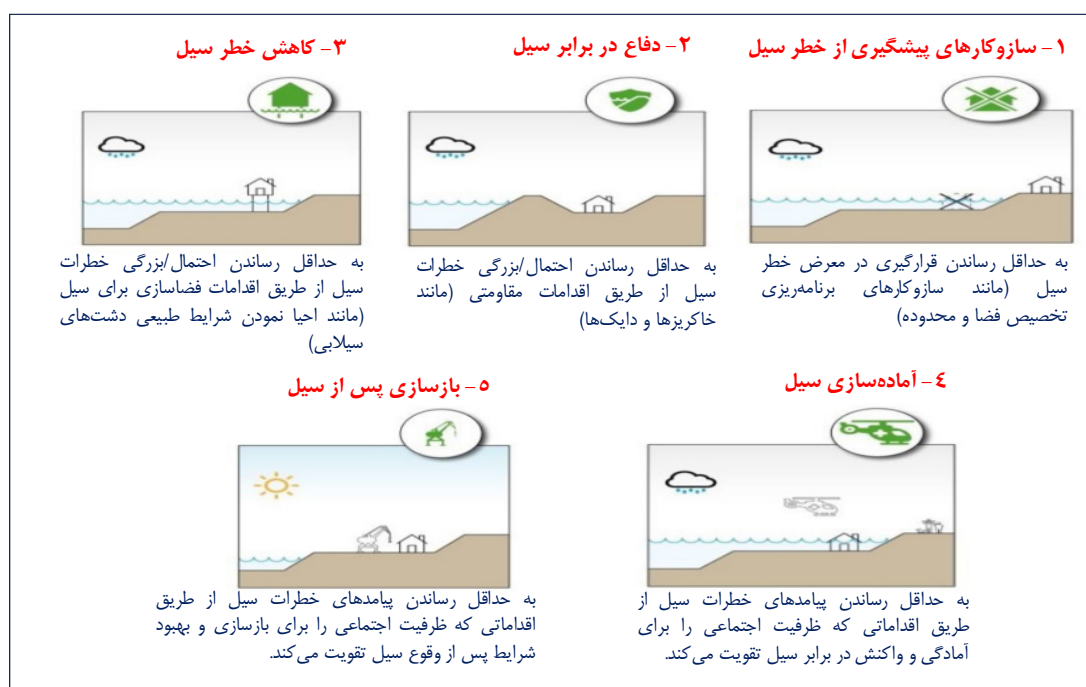
هلند	فرانسه	انگلستان
نهادهایی که به‌عنوان رابط عمل می‌کنند آژانس ارزیابی محیط‌زیستی؛ شرکت‌های مشاوره؛ موسسات تحقیقاتی اختصاصی	- هیئت مشورتی در مورد پیشگیری از خطرات طبیعی (COPRNM)؛ کمیته سیل (CMI)؛ هیئت عمومی محیط‌زیست و توسعه پایدار (CGEDD) - موسسات تحقیقاتی: CEREMA⁺، IRSTEA⁺ - اتاق فکر شرکت‌های بیمه خصوصی Mission of Natural Risk (MRN) - انجمن‌ها: IRMA[^]، CEPRI^x	- سازمان محیط‌زیست - کمیته تغییرات آب‌وهوا؛ - بنیاد جوزف راونتری
فرآیندها و سازوکارهای رابط - میانجیگری فردی (کارشناسان سطح بالا). - نهادهای دانش‌بنیان مشارکتی (اتحادیه‌های علمی و کاربردی در سطح محلی؛ برنامه‌های تحقیقاتی بزرگ)	- میانجیگری فردی (از طریق کارشناسان و آژانس‌های مشاوره) - نهادهای دانش‌بنیان مشارکتی از طریق برنامه‌ها و اقدامات محلی برای حفاظت در برابر سیل، برنامه‌های خاص مدیریت حوضه رودخانه	- زندگی با تغییرات محیطی (LWEC) با مشارکت ۲۰ سازمان دولتی که به انجمن RIDE در سال ۲۰۱۶ تبدیل شد و شامل ۱۹ سازمان عضو بخش عمومی بود تا "تأثیر تحقیقات تغییرات محیطی با بودجه عمومی بریتانیا را افزایش دهد". - برنامه تحقیق و توسعه آژانس محیط‌زیست.
ابزارها و منابعی که از فرآیند واسطه پشتیبانی می‌کنند - ابزارهای پشتیبانی تصمیم - خدمات آب‌وهوا؛ آزمایشگاه‌ها - مدل‌سازی سیل، نقشه‌برداری، رادار	- مدل‌سازی پیش‌بینی نقشه‌برداری، رادار	- سناریوهای سرمایه‌گذاری بلندمدت - مدل‌سازی سیل، نقشه‌برداری، رادار

* مؤسسه ملی تحقیقات فناوری و علوم محیطی و کشاورزی (IRSTEA).

+ مرکز پژوهشی و تخصصی در برنامه‌ریزی و عملیات پیشگیری از مخاطرات محیط‌زیستی (CEREMA).

x مرکز اروپایی پیشگیری از خطر سیل (CEPRI).

^ موسسه خطرات عمده (IRMA).



شکل ۵- پنج استراتژی مدیریت ریسک سیل در فرانسه، انگلیس و هلند (Hegger و همکاران، ۲۰۲۰)

طبق قانون وضع شده در سال ۲۰۱۶ مقامات محلی فرانسه، اکنون مسئولیت مدیریت خطر سیل برای دفاع، پیشگیری، کاهش و بازسازی را بر عهده دارند. فرانسه در تلاش است تا ارتباط بین استراتژی‌های مختلف را تقویت کند. یک ساز و کار مهم برای انجام این کار، توسعه برنامه‌های مدیریت خطر سیل به عنوان بخشی از اجرای دستورالعمل اتحادیه اروپا برای سیل است. هر طرح اهداف اصلی را از نظر کاهش آسیب پذیری، مدیریت بلایا و آگاهی از خطر ارائه می‌کند و ابزارهای اصلی را برای دستیابی به آن اهداف که در برگیرنده منطقه بندی سیستم، برنامه‌ها و اقدامات محلی برای پیشگیری از سیل و خدمات پیش‌بینی سیل می‌باشد را ارائه می‌کند (Alexander و همکاران، ۲۰۱۶).

در هلند تمرکز عمده‌ای بر روی دفاع در برابر سیل از طریق اقدامات کاهش احتمال، مانند ساخت و نگهداری دایک‌ها و تپه‌ها (حلقه‌های دایک)، موانع و مکان‌های ذخیره آب در نظر گرفته شده است. اگرچه در اواسط دهه ۱۹۸۰ اقدامات کمتری در مدیریت سازگارتر با طبیعت و یکپارچه منابع آب انجام شده بود، اما تغییرات بنیادی‌تری در مدیریت رودخانه از اواسط دهه ۱۹۹۰ به بعد با اجرای برنامه ملی "حریم رودخانه"، همراه با تغییر گفتمانی از "نبرد علیه آب" به "زندگی با آب" آغاز شد (Kaufmann و همکاران، ۲۰۱۶). گفتمان‌های سیاستی در اجرای استراتژی‌های مدیریت خطر سیل، با ظهور رویکرد «ایمنی چندجانبه»^۲ در طرح ملی آب^۳ در سال ۲۰۰۹ تقویت شدند. هلند قانون جبران بلایا دارد و پیش‌آمد سیلاب‌ها در مقیاس بزرگ نادر هستند. در هلند، مقامات آب منطقه‌ای نقش کلیدی در تولید و عملیات کاربردی و دفاعی دانش‌بنیان در برابر سیل دارند. تا حدودی، درجه بالای نهادینه شدن دفاع سیل در هلند منجر به تسلط استراتژی دفاعی در برابر سیل بر سایر استراتژی‌ها شده است (Hegger و همکاران، ۲۰۲۰).

استراتژی مدیریت سیل در انگلستان از سال ۱۹۴۷ آغاز شد و در دو دهه اخیر، همسویی و هماهنگی این استراتژی‌ها با تغییرات تدریجی، روند بهینه‌ای را در پی داشته است. اگر چه حاکمیت ریسک سیل^۴ در انگلستان به دلیل پیچیده و پراکنده بودن بیش از حد و هزینه‌های مبادله‌ای^۵ بالا، مورد انتقاد قرار گرفته است. برای رفع این مشکل، توجه به ادغام بهتر فعالیت‌های مدیریت ریسک سیل و استفاده از «سازوکارهای پل‌سازی» برای تسهیل هماهنگی و همکاری در استراتژی‌های مدیریت ریسک سیل و انواع مختلف کنشگران معطوف شده است. علاوه بر این، یک تغییر گفتمانی به سمت مدیریت سیل در مقیاس‌های محلی‌تر، با واگذاری وظایف مدیریت منابع محلی سیل (از جمله آب‌های سطحی) به مقامات مسئول محلی، تغییرات قانونی در پاسخ به شکاف‌های شناخته شده (مانند قانون مدیریت سیل و آب، ۲۰۱۰)^۶، نفوذ ائتلاف‌های مدافع، پیشرفت در علم و فناوری و سایر محرک‌های سیاسی و اقتصادی، منجر به پویایی در مدیریت

خطر سیل شد (Alexander و همکاران، ۲۰۱۶). اشتراکات و تفاوت‌هایی در مورد چگونگی شکل‌دهی رابط‌های سیاست‌های دانش‌بنیان جهت حاکمیت ریسک سیل بین کشورهای انگلستان، فرانسه و هلند وجود دارد. نقش رابط‌های سیاست‌های دانش‌بنیان اهمیت ویژه‌ای دارد و تغییر در پارادایم‌های مدیریت (از رویکردهای دفاعی به رویکردهای مبتنی بر ریسک) و واگذاری جزئی مدیریت ریسک سیل به مقیاس‌های محلی تا حدودی از طریق این رابط‌ها تعیین شده است.

در انگلستان نقش کمیته‌های بررسی و بازبینی مستقل بسیار تأثیرگذار بوده است. در فرانسه، پویایی در مجریان سیاست علمی ارتباط نزدیکی با روندهای فراگیرتر در حکمرانی به سمت تمرکززدایی دارد. در مقابل، در هلند تمرکز غالب بر دفاع در برابر سیل باقی مانده است و توسط رابط‌های سیاست علمی قدیمی‌تر و همچنین جدیدتر تقویت شده است. چهار روند در تأثیر رابط‌های سیاست‌های دانش‌بنیان برای حاکمیت خطر سیل در هر سه کشور عبارتند از (Hegger و همکاران، ۲۰۲۰):

۱) تسهیل تنوع‌سازی استراتژی‌های مدیریت ریسک سیل در سطح استراتژیک، عمدتاً از طریق سازمان‌ها و فرآیندهای واسطه. ۲) تسهیل هماهنگی و همسویی استراتژی‌ها، شامل فرآیندها و ابزارها/منابع. ۳) تمرکززدایی مدیریت ریسک سیل، با توانمندسازی انواع مختلف کنشگران محلی. ۴) آموزش ملی، که به طور معمول از طریق سازمان‌ها و فرآیندهای واسطه هدایت می‌شود.

در مالزی، سیل تحت تأثیر بادهای موسمی شمال شرقی است. در سال ۲۰۲۲، مالزی به شدت تحت تأثیر سیل فصلی قرار گرفته بود که منجر به تخلیه ۶۶۷۱۸ نفر و پناهگیری در ۱۱۶ مرکز امدادی شد. مدیریت سیل در مالزی بر اساس دستورالعمل شورای امنیت ملی و مقررات عملیاتی ثابت انجام می‌شود که اهداف سیاست و سازوکار مدیریت بلایا و امداد را مشخص می‌کند. در جدول (۳) آژانس‌های مشارکت‌کننده در مدیریت سیل مالزی بر مبنای نوع نهاد و ایفای نقش سازمانی مشخص شده است.

پنج استراتژی زیر، مؤثرترین رویکردهای توسعه برنامه‌های مدیریت سیل بر مبنای رویکرد جامع می‌باشد (Hashim و همکاران، ۲۰۲۳): ۱) پیشگیری: پرهیز از ساخت و ساز منازل، املاک و صنایع در مناطق سیل خیز فعلی و آینده برای جلوگیری از خسارات ناشی از سیل.

۲) حفاظت: برای کاهش احتمال و تأثیر سیل در یک مکان خاص، با اقدامات ساختاری و غیر سازه‌ای دولت.

۳) آمادگی: ارائه اطلاعات به مردم در مورد اقداماتی که باید در صورت وقوع سیل انجام دهند و در مورد خطرات سیل.

۴) اقدامات اضطراری: در صورت وقوع سیل، تدوین و توسعه واکنش اضطراری، برنامه‌ها و اقدامات.

۵) بهبودی و بازسازی: پس از وقوع سیل، بازگشت به شرایط عادی در اسرع وقت و کاهش اثرات اجتماعی و اقتصادی.

جدول ۳- آژانس‌های مشارکت‌کننده در مدیریت سیل در مالزی (Hashim و همکاران، ۲۰۲۳)

نقش‌ها	آژانس‌ها
جستجو و نجات قربانیان	• پلیس سلطنتی • نیروهای مسلح
	• تیم ویژه امداد و نجات در بلایا
	• خدمات فوریت‌های پزشکی
	• هیئت صدور مجوز انرژی اتمی
	• وزارت دفاع
بهداشت و پزشکی	• خدمات و فوریت‌های پزشکی
مدیریت درمان اضطراری	• نیروهای مسلح
مدیریت پزشکی قانونی	• جمعیت هلال‌احمر
مدیریت بهداشت عمومی	• آمبولانس
رفاه	• اداره بهزیستی
تخلیه قربانیان	• خدمات فوریت‌های پزشکی
تهیه غذا برای قربانیان	• هلال احمر
تخلیه مکان‌های مدیریت شده	• آمبولانس
ارائه خدمات کمک‌های اولیه و مشاوره	دفاع غیرنظامی

ارزیابی مدیریت سیل در ایران

در سال ۲۰۱۶، بیش از ۷۴ میلیون نفر در جهان تحت تاثیر سیل قرار گرفتند که منجر به مرگ ۴۷۲۰ نفر با هزینه اقتصادی بالا شد و ۴۳ درصد آن در آسیا اتفاق افتاد. وقوع سیل در دهه‌های اخیر رو به افزایش است و این روند احتمالاً در اثر پدیده تغییر اقلیم افزایش می‌یابد. طبق گزارش اداره محیط‌زیست ایران، از ۴۲۱ حادثه سیل از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۱، نزدیک به ۷۴ درصد مربوط به سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۱ بوده است که در این مدت میزان سیل ۲۰ برابر بیشتر از قبل بوده است. سیل‌ها بر سیستم‌های تامین و منابع آب تأثیر منفی می‌گذارند و علاوه بر سیستم‌های دفع زباله و فاضلاب، انتقال عوامل بیماری‌زا را افزایش می‌دهد (Yavarian و همکاران، ۲۰۱۹). به دلیل تغییرات اقلیمی، ایران از حدود ۳۰ سال پیش تاکنون وقوع خشکسالی افزایش یافته است. این خشکسالی‌ها بسیاری از اکوسیستم‌های ایران را تغییر داده است. بسیاری از دریاچه‌ها و رودخانه‌ها خشک شده‌اند. مهاجرت جمعیت و توسعه شهرنشینی به کرانه و بستر رودخانه‌ها، تخریب جنگل‌ها و فرسایش زمین زمینه‌ساز وقوع سیل‌های فاجعه بار شده‌اند (شکل ۶). بر اساس گزارش صلیب سرخ، باران‌های شدید و سیل‌های ناگهانی در سال ۲۰۱۹، بیش از ۲۰۰۰ آبادی و شهر را در تقریباً تمام ۳۱ استان ایران تحت تأثیر قرار داد. حدود ۱۰ میلیون نفر به‌نحو تحت تأثیر

قرار گرفتند و شمار کشته‌شدگان ۷۸ نفر و زخمی‌شدگان بیش از ۱۱۳۶۰ نفر تخمین زده شد و هزاران کیلومتر جاده و تأسیسات زیربنایی ویران شد (Yadollahie، ۲۰۱۹).



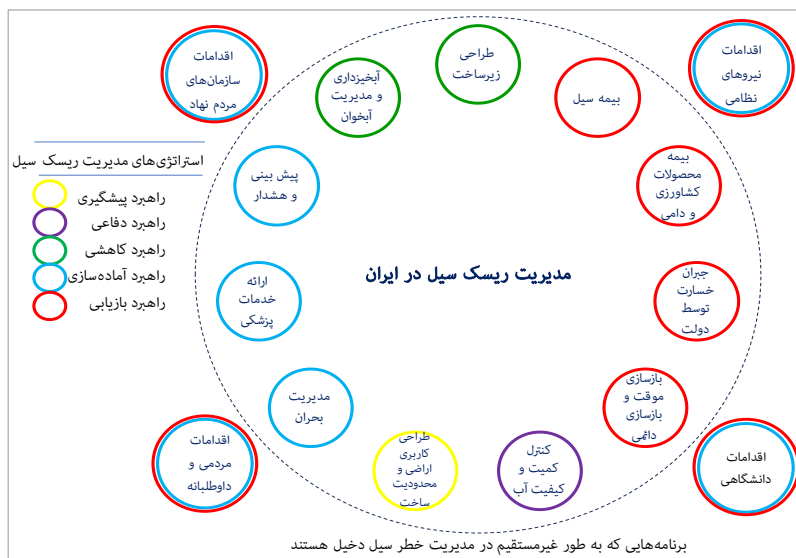
شکل ۶- سیل ویرانگر در شیراز، ایران (Yadollahie، ۲۰۱۹)

راهبردهای مدیریت ریسک سیل

مؤلفه‌هایی که در حکمرانی سیل در ایران مؤثر هستند، عبارتند از یازده مؤلفه که به‌صورت مستقیم تأثیرگذار هستند و شامل: بیمه سیل، بیمه محصولات کشاورزی و دامی، جبران خسارت توسط دولت، بازسازی موقت و دائمی، کنترل وضعیت کمی و کیفی آب، کاربری اراضی و محدودیت ساخت و ساز، مدیریت بحران، ارائه خدمات پزشکی، پیش‌بینی و هشدار، آبخیزداری و مدیریت آبخوان و همچنین طراحی زیرساخت‌ها و چهارمؤلفه غیر مستقیم شامل اقدامات سازمان‌های مردم‌نهاد، نیروهای داوطلب و مردمی، نیروی مسلح و نیروهای دانشگاهی (شکل ۷).

راهبردهای مدیریت ریسک سیل، روش‌های مواجهه با خطرات ناشی از سیل است که در پنج رویکرد پیشگیری، دفاعی، کاهش، آمادگی برای مواجهه و بازیابی تقسیم می‌شود (شاگری رستمی و همکاران، ۱۴۰۰).

۱. راهبرد پیشگیری سیل: تدابیر پیشگیرانه قبل از وقوع سیل جهت کاهش خطر وقوع سیلاب از طریق برنامه‌ریزی و تنظیم سیاست‌های کاربری اراضی و پهنه‌بندی
۲. راهبرد دفاعی سیل: تمرکز بر کاهش احتمال وقوع سیل از طریق اقدامات سازه‌ای مانند: دایک‌ها، سدها، کانال‌ها و ...
۳. راهبرد کاهش سیل: کاهش حجم سیلاب و پیامدهای جریان سیل از طریق نگهداشت جریان (طراحی زیرساخت‌های شهری و فعالیت‌های مبتنی بر طبیعت)
۴. راهبرد آمادگی در مواجهه با سیل: مواجهه با سیلاب در شرایط حین بحران از قبیل سامانه‌های پیش‌بینی و هشداردهنده، اقدامات تخلیه جریان، ساختار مدیریت بحران و ...
۵. راهبرد بازیابی: تمهیدات اجرایی پس از وقوع حادثه از قبیل یاری مصدومین، بازسازی، بیمه و جبران خسارات، تداوم کسب و کار و ...



شکل ۷- تدابیر حکمرانی ریسک سیل در ایران (شاکری رستمی و همکاران، ۱۴۰۰)

راهبرد پیشگیری:

این راهبرد به اقدامات و تدابیر پیشگیرانه در بازه زمانی طولانی قبل از وقوع سیل اشاره دارد که در ایران منحصر به برنامه‌ریزی و اقدامات مربوط به حریم و بسترها (حریم بستر رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها، شبکه‌های آبیاری و زهکشی و ...) می‌شود و از جمله اقدامات مربوط به تعیین حریم آبراهه‌ها، ممنوعیت ساخت و ساز، سلب مالکیت و استحفاظ اراضی می‌باشد. کنشگران این حوزه در ادارات، سازمان و شرکت‌هایی مانند: آب منطقه‌ای، برنامه و بودجه، شهرداری، فرمانداری، استانداری، سازمان ثبت اسناد و املاک، دادگستری، نیروی انتظامی، سازمان حفاظت محیط‌زیست و کشاورزان و مالکان اراضی در محدوده حریم و بستر رودخانه را شامل می‌شوند.

راهبرد دفاعی:

راهبرد دفاعی، بر کاهش احتمال وقوع سیل بر مبنای اقدامات سازه‌ای تأکید دارد و در ایران این رویکرد در بخش کنترل و مهار آب از طریق لایروبی آبراهه‌ها و مخازن سدها خلاصه می‌شود. کنشگران این رویکرد در حوزه‌های عملیاتی وزارت نیرو و شرکت‌های آب منطقه‌ای، سازمان برنامه و بودجه، نمایندگان مجلس شورای اسلامی، وزارت کشور و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایفای نقش می‌کنند (شکل ۸).

راهبرد کاهش:

راهبرد کاهش به فعالیت‌ها و اقدامات پس از بارش و قبل از جریان سیلاب می‌پردازد و در ایران در دو بخش آب‌خیزداری و آب‌خوان‌داری باتوجه به راهکارهای مبتنی بر طبیعت و طراحی زیرساخت‌ها تقسیم می‌شود. فعالیت‌های آب‌خیزداری مبتنی

بر طبیعت به گسترش پوشش گیاهی، ایجاد تالاب و احیای اکوسیستم‌های خشکی‌زی، استفاده بهینه از گودال‌های طبیعی و انسان‌ساخت جهت قرارگیری در مسیل‌های فصلی و همچنین استفاده از سطوح جمع‌آوری باران در حوضه شهری و اقدامات کاهش ضریب رواناب می‌پردازد، فعالیت‌های آب‌خیزداری مبتنی بر زیرساخت‌ها به اقدامات سازه‌ای از قبیل طراحی و اجرای پل‌ها، آبروها، اجرا و نگهداری زیرساخت‌های غیرمسکونی در محدوده حریم رودخانه و احداث سازه‌های محافظتی و فعالیت‌هایی از این دست تخصیص می‌یابد. کنشگران راهبردهای کاهش در بخش آب‌خیزداری شامل سازمان جنگل‌ها، مراتع و آب‌خیزداری، وزارت نیرو، سازمان حفاظت محیط‌زیست و ادارات مربوطه، وزارت راه و شهرسازی و در بخش طراحی زیرساخت‌ها شامل سازمان برنامه و بودجه، وزارت راه و شهرسازی، سازمان نظام مهندسی و شهرداری می‌باشد.

راهبرد آمادگی:

این راهبرد به فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی‌های پیشگیرانه قبل و حین جاری شدن سیلاب اشاره دارد. قواعد راهبرد آمادگی در ایران در دو بخش قواعد مدیریت بحران و امداد و نجات و قواعد مربوط به پیش‌بینی هواشناسی و اطلاع‌رسانی می‌باشد. باتوجه به ضرورت اطلاع‌رسانی پیش از وقوع و سازمان‌دهی بحران و عملیات نجات سانحه‌دیدگان، بازه گسترده‌ای از کنشگران در سطوح مختلف قدرتی و حمایتی در طیف فعالان راهبرد آمادگی قرار می‌گیرند که شامل موارد زیر می‌شوند: سازمان‌های زیر نظر دفتر رهبری، نهاد ریاست جمهوری، رسانه‌ها، وزارت کشور/استانداری و سازمان مدیریت بحران، وزارت امور خارجه، اعضای نمایندگان مجلس شورای اسلامی،

نیروهای مسلح، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی/ سازمان انتقال خون و سازمان غذا و دارو، جمعیت هلال احمر، وزارت نیرو/ آب منطقه‌ای، وزارت راه و شهرسازی، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، شهرداری، وزارت آموزش و پرورش، سازمان‌های غیر دولتی، نیروهای داوطلب مردمی.

راهبرد بازیابی:

راهبرد بازیابی به فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی‌های مربوط به عواقب سیل و پس از حادثه اشاره دارد. قواعد بازیابی در ایران در دو بخش مربوط به بیمه و بازسازی قرار می‌گیرد. اگرچه اختصاص بیمه در بخش‌های صنعت و کشاورزی و شهری و انواع سوانح جاده‌ای، زلزله و آتش‌سوزی امری رایج است ولی توجه نکردن به بیمه سیل در قواعد رسمی بیمه کشور یکی از نواقص بخش بیمه بوده و خلا بیمه مستقل و اجباری سیل که بر اساس پهنه‌بندی ریسک باشد در نظام حکمرانی سیل کشور مشهود

است. برای بازسازی مناطق آسیب‌دیده از حوادث طبیعی، اقدامات صندوق‌های همبستگی و کمک‌های حاکمیتی برای برگشت‌پذیری سیستم به شرایط مطلوب اسکان و کسب‌وکار باید در نظر گرفته شود.

کنشگران بخش بیمه در کارگروه‌های شورای عالی بیمه، بیمه مرکزی، وزارت اقتصاد و دارایی، وزارت جهاد کشاورزی و بانک کشاورزی ایفای نقش می‌کنند و کنشگران بخش بازسازی و بازتوانی در بخش‌های نهاد رهبری، ریاست دولت، مجلس شورای اسلامی و نمایندگان و وزارتخانه‌های مختلف مانند وزارت کشور، راه و شهرسازی، نیرو، نفت، آموزش و پرورش، جهاد کشاورزی، ارتباطات و فناوری اطلاعات، علوم تحقیقات و فناوری، کار، تعاون و رفاه اجتماعی، بهداشت درمان و آموزش پزشکی و سایر سازمان و ارگان‌هایی نظیر سازمان‌های زیرنظر نهاد رهبری، مدیریت بحران، برنامه و بودجه، نظام مهندسی، بنیاد مسکن، نیروهای مسلح، شهرداری، بهزیستی، سازمان‌های مردم نهاد، بانک مرکزی و نیروهای داوطلب مردمی حضور دارند.



شکل ۸- کنشگران راهبردهای مدیریت ریسک سیل در ایران

برخورد با پل این مواد نتوانند به راحتی از زیر پل عبور نموده و سبب مسدود شدن پل و در نتیجه آبگرفتگی، تغییر مسیر جریان و ایجاد خسارت فراوان شوند (شکل ۱۱).



شکل ۱۰- تخریب مناطق مسکونی حوضه گرگانرود در اثر جریان‌های واریزه‌ای (مساعدی، ۱۳۸۰)



شکل ۱۱- مسدود شدن دهانه‌های پل به وسیله تنه درختان در جنگل گلستان و در نتیجه تشدید خسارات سیل (مساعدی، ۱۳۸۰)

نادیده گرفتن حریم بستر رودخانه، تصرفات و احداث تأسیسات و عرصه‌های غیرمجاز، حفر چاه و برداشت شن و ماسه بدون مجوز قانونی، اعمال مدیریت چندگانه و متعارض بر رودخانه و نقض حریم کیفی، از معضلات پیشرو منابع آبی و رودخانه‌ها محسوب می‌شود که ناشی از فقدان حکمرانی صحیح منابع آبی و نقض مدیریت مشارکتی، ضعف قاعده‌گذاری مدبرانه و اجرای این قواعد حداقلی است و جهت حکمرانی اثر بخش آب، نیاز به مدیریت پیوسته منابع آب ضرورت می‌یابد.

چالش‌های مرتبط با بستر و حریم رودخانه‌ها

• چالش‌های قانونی:

ازجمله مستندات قانونی مرتبط با رودخانه‌ها و حفظ و صیانت از آنها می‌توان به قانون توزیع عادلانه آب مصوب سال ۱۳۶۱، قانون حفظ و تثبیت بستر و کناره رودخانه‌های مرزی مصوب

در سیل‌های حادثه‌ساز، دخل و تصرف حریم بستر رودخانه، یکی از مهمترین عوامل اصلی ایجاد خسارت و تلفات مشخص شده است. طبق قانون توزیع عادلانه آب، حریم رودخانه در اختیار وزارت نیرو بوده و معمولاً با توجه به سیلاب با دوره بازگشت بیست و پنج ساله تعیین می‌شود. تخریب منابع طبیعی و پوشش‌های گیاهی که در اثر عوامل طبیعی از قبیل تغییرات اقلیمی و خشکسالی و همچنین عوامل انسانی شامل دخل و تصرف‌های غیرمجاز صورت گرفته است، از عوامل تشدید سیل محسوب می‌شود. در برخی از حوضه‌های آبریز با شیب تند و خاک فرسایش‌پذیر، کاهش پوشش گیاهی منجر به کاهش ضریب نفوذپذیری و افزایش ۳۰ برابری رواناب ناشی از باران نسبت به شرایط وجود پوشش گیاهی شده است و به تبع آن جابه‌جایی گلو لای، جریان‌های واریزه‌ای و افزایش قدرت سیلاب و خسارات احتمالی را در پی داشته است. در مطالعات و بررسی‌های رخداد سیل گلستان در سال ۱۳۸۰ وجود سیلاب‌های واریزه‌ای از عوامل تشدید خسارت محسوب شد (شکل ۹). این جریان‌ها که مخلوط جریان سیلاب غلیظ همراه با سنگ و گل و لای و همچنین شاخ و برگ و تنه درخت می‌توانند باشند، قابلیت حمل تا حدود ۶۰ درصد حجمی ناخالص را دارند.



شکل ۹- تخریب پل در اثر وقوع جریان‌های غلیظ و کوچک بودن دهانه آن (مساعدی، ۱۳۸۰)

در اثر بروز این‌گونه جریان‌ها، با افزایش زبری جدار و مسدود شدن مجاری و رودخانه‌ها، ارتفاع جریان افزایش یافته و با تجمع و پس‌زدگی سیل در مجاری، قدرت تخریبی و حجم آنها ده‌ها برابر افزایش می‌یابد و ضمن تغییر مسیر جریان، خسارت جبران‌ناپذیری تحمیل می‌شود (شکل ۱۰).

احداث سازه‌های تقاطعی مانند پل‌ها و جاده‌ها بدون در نظر گرفتن شرایط طبیعی حوضه می‌تواند منجر به تغییر مسیر و حتی انسداد مسیر جریان عبوری شود و خسارات بسیار زیادی را به وجود آورد. به عنوان مثال احداث پل در جاده‌های جنگلی با دهانه‌های کم عرض سبب می‌شود که در سیلاب‌هایی که دبی سیل نسبتاً زیاد است، امکان جدا شدن و حمل شاخه و تنه‌های درختان توسط سیل به راحتی امکان‌پذیر شود و در طول مسیر رودخانه و هنگام

سال ۱۳۶۲ و ماده ۶۹۰ قانون مجازات اسلامی (تعزیرات) مصوب ۱۳۷۵ اشاره کرد. قانون توزیع عادلانه آب، با وضع دو ماده و چهار تبصره به قاعده‌گذاری نظام حقوقی منابع آبی می‌پردازد و بستر و حریم رودخانه‌ها و انهار طبیعی را در حیطه اختیارات و تصمیم‌گیری‌های دولت قرار داده تا بر اساس مصالح عامه بهره‌برداری شود و در حال حاضر این وظیفه بر عهده شرکت‌های آب منطقه‌ای می‌باشد. تبصره‌های سه و چهار این قانون به نقش وزارت نیرو (شرکت‌های آب منطقه‌ای) در صدور مجوز اعیانی در بستر رودخانه می‌پردازد. تبصره سه بیان می‌دارد که وزارتخانه نباید با هر درخواستی مبنی بر احداث اعیانی در بستر و حریم رودخانه موافقت نماید، بلکه پس از بررسی‌های حقوقی و باتوجه به شرایط فنی حاکم بر رودخانه، اجازه را صادر نماید. تفسیر تبصره سه ماده دو این قانون و عدم نظارت مطلوب صادرکنندگان مجوز پیامدهای فعالیت خارج از موضوع فعالیت توسط مستأجر و بروز چالش مدیریت رودخانه را در پی دارد. بنابراین قید اجازه احداث اعیانی‌های موقت و سازگار با رودخانه باید تأکید شود. باید توجه داشت که موافقت با ایجاد اعیانی‌های دائم در بستر رودخانه با وضعیت در حال تغییر رودخانه‌ها، لزوم مالکیت حکومت و ممنوعیت تغییر کاربری بستر مغایر بوده که نتیجه عدم توجه به آن ضمن تجاوز به منافع عمومی به صورت بالقوه وقوع سیلاب‌های مخرب و تبعات ناشی از آن را فراهم می‌نماید. در تبصره چهار ماده دو، قانون‌گذار از واژه مزاحمت برای امور آب استفاده نموده و از تعریف و ذکر انواع مصادیق آن امتناع نموده و این ابهام را به وجود آورده که چه مصادیقی می‌توانند برای امور آب مزاحم محسوب شوند. به نظر می‌رسد احداث و ایجاد هر نوع اعیانی مانند احداث تأسیسات، درختان، خاکریزی، برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه و به عبارت کلی هر فعلی که محل امن عبور آب را ناایمن سازد، می‌تواند مزاحم امور آب محسوب شود. لذا قانون‌گذار این صلاحیت را برای وزارت نیرو (شرکت‌های آب منطقه‌ای) در نظر گرفته تا امور مزاحم آب را تشخیص دهند. نکته دیگر در خصوص تبصره مذکور این است که منظور از اعیانی‌های موجود که به نظر وزارت نیرو مزاحم برای امور آب تشخیص داده شده چیست؟ آیا اعیانی‌های موجود در زمان تصویب قانون است یا خیر؟ شرکت آب منطقه‌ای باتوجه به تبصره چهار ماده دو قانون توزیع عادلانه آب، در صورت مشاهده تخلفات احداث و ایجاد تأسیسات و عرصه‌های بدون مجوز، باید پیگیری‌های لازم را اعمال نماید.

مطابق تبصره مزبور، وزارت نیرو در صورتی می‌تواند از ساز و کارهای این تبصره استفاده نماید که اعیانی‌های موجود را برای امور مربوط به آب مزاحم تشخیص دهد. از تفسیر این قانون چنین برداشت می‌شود که اگر شخصی در بستر و حریم رودخانه قبل از تصویب قانون اعیانی داشته و از سوی وزارت نیرو مزاحم

امور آب تشخیص داده نشود، ظاهراً باید به همان حالت باقی بماند که به نظر می‌رسد استنتاج صحیحی نمی‌باشد، زیرا طبیعت رودخانه هر لحظه در حال تغییر است و نمی‌توان از قبل قاعده ثابتی را از جهت مزاحمت یا عدم مزاحمت اعیانی واقع در بستر تعیین نمود (میری، ۱۳۹۹). از دیگر مباحث قانونی مرتبط با سیل می‌توان به راهبرد آمادگی مدیریت سیل اشاره نمود که در ایران شامل دو بخش بیمه و بازسازی می‌باشد. بر اساس قواعد رسمی موجود بخش بیمه سیل، کارشناسان وزارت جهاد کشاورزی مسئولیت ترغیب کشاورزان و دامپروران را به بیمه نمودن محصولات و همچنین مسئولیت برآورد خسارات ناشی از سیل به زمین‌های کشاورزی و دامپروران را بر عهده دارند. درحالی‌که بیمه‌گذاری زیرساخت‌های مسکونی، تجاری و کشاورزی چندان با استقبال روبه‌رو نمی‌باشد که دلایل آن می‌تواند ناشی از نبود برنامه همگانی‌شدن بیمه سیل، تأخیر در بازپرداخت خسارت توسط شرکت‌های بیمه و اختیاری بودن بیمه سیل باشد ضمن آنکه دو نهاد بیمه مرکزی ایران و وزارت امور اقتصادی و دارایی نتوانسته‌اند در طول این چند دهه موفق عمل نمایند.

• چالش‌های عملی:

حریم و بستر رودخانه باید از هرگونه دخل و تصرف ایمن باشد و هرگونه بهره‌برداری و استفاده غیر مجاز از حریم رودخانه از طریق احداث اعیانی همراه با تغییر کاربری اراضی و مرزبندی حریم رودخانه و احداث سازه‌های مسکونی، صنعتی و رستوران و ویلا و تفرجگاه‌ها، برداشت مصالح و حفر چاه و ... پیامدهای غیر مترقبه آینده را در پی خواهد داشت. یکی دیگر از آثار سوء کاشت درختان در بستر و حریم رودخانه‌ها، ایجاد خسارات در اثر سیلاب است که منجر به تغییر مسیر بستر رودخانه خواهد شد، زیرا در نتیجه رشد درختان و رسوب‌گذاری در آن محدوده سطح زمین بالا آمده و تغییر بستر ایجاد خواهد شد و شکستگی درختان در هنگام سیل خطرات گرفتگی دریاچه سد و کانال‌ها را در پی خواهد داشت. استفاده از مصالح رودخانه‌ای مانند برداشت شن و ماسه، پایداری ساختار رودخانه را به خطر خواهد انداخت. فرسایش بستر رودخانه، ریزش دیواره‌های جانبی، تخریب اراضی کشاورزی حاشیه رودخانه و افزایش شیب مسیر جریان از علل ناپایداری ساختار مسیر سیلاب و رودخانه خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در شرایط کنونی سطح برنامه‌ها و ضوابط مربوط به مدیریت سیل در کشور به هیچ وجه در سطح مطلوبی قرار ندارد. حتی در تفکیک مراحل مدیریت (پیشگیری، آمادگی، مقابله، بازسازی و بازتوانی)، برای سیل (که تا حد قابل قبولی از طرق مختلف قابل

پیش‌بینی است) تفکیک متناسب با پدیده زلزله (که غیر قابل پیش‌بینی است) لحاظ نشده است. در حالی‌که سیل (به‌ویژه از نوع رودخانه‌ای) رخدادی است که به شرط داشتن اطلاعات کافی در دو سطح قابل پیش‌بینی است (به استثنای سیل‌های ناگهانی که روش‌های متداول ممکن است پاسخگوی نیاز به زمان کافی پیش هشدار نباشد). قانون مرتبط با کنترل و مدیریت سیل و تعیین و حفاظت بستر و حریم رودخانه‌ها، قانون توزیع عادلانه آب است. مکمل این قانون، آیین‌نامه مربوط به «بستر و حریم رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها، مرداب‌ها، برکه‌های طبیعی و شبکه‌های آبرسانی، آبیاری و زهکشی» است. ضوابط مربوط به سازمان مدیریت بحران از دیگر قوانین وضع شده می‌باشد که مدیریت سیل نیازمند جزئیاتی بیش از مدیریت بحران (به صورت عام) خواهد بود.

در قوانین مختلف برای دستگاه‌های اجرایی کشور، وظایفی در رابطه با مدیریت سیل در نظر گرفته شده است؛ اما این شرح وظایف فاقد انسجام و همگرایی لازم است. تنها ضابطه یکپارچه برای مدیریت سیل «نظام‌نامه سیل در وزارت نیرو» است که در سال ۱۳۹۵ تهیه و به زیر مجموعه‌های این وزارتخانه ابلاغ شده است. این نظام‌نامه تبیین نسبتاً جامعی از اقدامات لازم برای کلیه مراحل مدیریت سیل را در بردارد. در عین حال این نظام‌نامه صرفاً در وزارت نیرو بوده و در آن وظایف و ارتباطات این وزارت با سایر دستگاه‌های مرتبط با سیل (به‌ویژه سازمان مدیریت بحران) مشخص نشده است. همچنین این سند، یک سند بالادستی است و برای عملیاتی شدن نیازمند دستورالعمل‌های جزئی‌تر (مانند برنامه‌های پاسخ به بحران) است. در سطح ضوابط، «نظام‌نامه مدیریت سیل در وزارت نیرو» به اقدامات و فعالیت‌های پیش از وقوع سیل، هنگام رخداد و پس از وقوع سیل می‌پردازد. از ۱۰۰ اقدام ارائه شده در این نظام‌نامه، ۴۸ اقدام مربوط به مرحله «پیش از وقوع سیل» است. با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد در رابطه با برخی اقدامات مهم که در نظام‌نامه به آنها اشاره شده است، مانند: «استقرار و بهره‌برداری از سامانه منطقه‌ای پایش و مدل‌سازی زمان واقعی داده‌های آب‌وهواشناسی»، «تجزیه و تحلیل داده‌های دریافتی از سازمان هواشناسی و سایر سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار در سطح منطقه»، «مطالعه و اجرای سیستم هشدار سیل در حوضه‌های اولویت‌دار»، «به‌روزرسانی دستورالعمل بهره‌برداری تجهیزات در زمان سیلاب»، «رعایت حداقل و حداکثر ترازهای بهره‌برداری سدها در فصول سیلابی، براساس پیش‌بینی‌های بلند مدت و با تأکید بر تامین مصارف»، «تهیه و تدوین پیش‌نویس دستور العمل‌ها، قوانین و آیین‌نامه‌های بیمه سیلاب»، و مانند آنها هنوز اقدام اثربخشی صورت نگرفته و خروجی مناسبی حاصل نشده است. در نتیجه چارچوب حاکمیتی برای مدیریت سیل و اجرای قوانین وضع شده در پیشگیری از بروز خسارات سیل از طریق تدابیر خط‌مشی‌ها، تعریف نقش‌ها و مسئولیت‌ها، نظارت

پیوسته بر اجرای درست قوانین ساخت و ساز شهری و حفظ حریم رودخانه، نظارت متعهدانه بر نحوه اجرای مصوبات تنظیم شده بدون اعمال گمان‌های جاه‌طلبانه، ایجاد کمیته‌های بازرسی غیر درون سازمانی ناظر بر عملکرد نحوه اجرای وظایف شهرداری و مجموعه‌های ذی‌ربط، انتصاب سازمان‌های متولی مدیریت بحران ضروری می‌باشد. علاوه بر اعمال تدابیر پیشگیرانه و عدم سازوکارهای تشدیدکننده، می‌توان با مدیریت سنجیده و تدابیر و زیرساخت‌های عمرانی، بحران را به فرصت تبدیل نمود و حتی خطر سیل را به نیروی برای سازندگی و تولید برق و ذخایر زیرزمینی تبدیل نمود و ضمن تغییر نگرش از «مهار سیلاب» به «مدیریت سیلاب»، راهکارها و زیرساخت‌های اجرایی تنظیم شود و می‌توان برای هر حوضه رودخانه، یک برنامه مدیریت سیل تدوین شود. در تنظیم چنین طرحی باید به جنبه همبستگی در حوضه رودخانه توجه شود که تا حد امکان از انتقال مشکلات در یک منطقه جغرافیایی به منطقه دیگر جلوگیری شود. این طرح باید مبتنی بر یک رویکرد یکپارچه باشد که تمام جنبه‌های مرتبط مدیریت آب، برنامه‌ریزی فیزیکی، کاربری اراضی، کشاورزی، حمل و نقل و توسعه شهری، حفاظت از طبیعت، در تمام سطوح (ملی، منطقه‌ای و محلی) را پوشش دهد. در تدوین برنامه مدیریت سیل، تصمیم‌گیران در همه سطوح (محلی، منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی) و نیز ذی‌نفعان و افراد جامعه باید مشارکت داشته باشند.

پیشنهادهات

- تمام اقدامات مناسب باید برای ایجاد چارچوب‌های قانونی، اداری و اقتصادی که پایدار و توانمند بوده و در آن بخش‌های دولتی، خصوصی و داوطلبانه هر یک بتوانند سهم خود را در پیشگیری از سیل، ایمنی سدها و کاهش اثرات نامطلوب سیل حادثه‌ساز داشته باشند، انجام شود.
- در تنظیم این چارچوب‌ها، مشکلات، نیازها و دانش محلی و سازوکارهای تصمیم‌گیری باید به درستی در نظر گرفته شوند.
- اولویت باید به اقدامات مدیریت یکپارچه منابع آبی برای کل حوضه آبریز به جای دیدگاه تک بعدی مدیریت سیلاب اختصاص یابد.
- تأثیر تمام فعالیت‌ها در دیدگاه کلان انسانی در خصوص پیشگیری و حفاظت از سیل در حوضه آبریز بر تمامی بخش‌های جامعه باید به درستی در نظر گرفته شود. کلیه اقدامات با پتانسیل تأثیر نامطلوب بر سلامت انسان یا تأثیر بارز بر کیفیت یا کمیت آب، جوامع بیولوژیکی، اقلیم یا رابطه بین آنها باید شامل بررسی اثرات محیط‌زیستی آنها انجام شود.
- در برنامه‌ریزی و توسعه و ساخت‌وساز شهری و روستایی باید الزامات پیشگیری و کاهش خطرات سیل، از جمله تامین مناطق نگهداشت و ذخیره‌سازی را در نظر گرفت.

- Garrick, D., & Hall, J. W. (2014). Water security and society: risks, metrics, and pathways. *Annual Review of Environment and Resources*, 39, 611-639. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-013012-093817>
- Gosling, S. N., & Arnell, N. W. (2013). A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 134, 371-385. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0853-x>
- Guo, B., Hu, X., Li, J., & Zhang, W. (2023). Evaluation of Urban Flood Governance Efficiency Based on the Data Envelopment Analysis Model and Malmquist Index: Evidence from 30 Provincial Capitals in China. *Water*, 15(14), 2513. <https://doi.org/10.3390/w15142513>
- Hashim, N. M., Bakar, N. A. A., Kamaruzzaman, Z. A., Shariff, S. R., & Burhanuddin, S. N. Z. A. (2023). Flood Governance: A Review on Allocation of Flood Victims Using Location-Allocation Model and Disaster Management in Malaysia. *Journal of Governance and Integrity*, 6(1), 493-503. <https://doi.org/10.15282/jgi.6.1.2023.9160>
- Hegger, D., Alexander, M., Raadgever, T., Priest, S., & Bruzzone, S. (2020). Shaping flood risk governance through science-policy interfaces: Insights from England, France and the Netherlands. *Environmental Science & Policy*, 106, 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.002>
- Hawkesbury-Nepean Floodplain Management Steering Committee (HNFMSC). (2006). Managing flood risk through planning opportunities: guidance on land use planning in flood prone areas.
- Kaufmann, M., Doorn-Hoekveld, W. V., Gilissen, H. K., & Van Rijswijk, H. F. M. W. (2016). Analysing and evaluating flood risk governance in the Netherlands: drowning in safety. Utrecht: STARFLOOD Consortium. utrecht university. Utrecht, Netherlands. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2197.4167>
- Mishra, B. K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., & Gautam, A. (2021). Water security in a changing environment: Concept, challenges and solutions. *Water*, 13(4), 490. <https://doi.org/10.3390/w13040490>
- Muller, M., Schreiner, B., Smith, L., van Koppen, B.,

- 1-Integrated Flood Management
- 2-Multilayered safety
- 3-National Water Plan in 2009
- 4-Flood Risk Governance
- 5-Transaction costs
- 6-Flood and Water and Management Act 2010

منابع

- خاکی، ویدا، و طولابی، رضا. (۱۴۰۱). تاریخچه سیل در ایران و بررسی روش‌های پیشگیری از آن (نمونه موردی: سیل شیراز). دومین کنفرانس بین‌المللی معماری، عمران، شهرسازی، محیط زیست و افق‌های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب. تبریز. <https://civilica.com/doc/1613297>
- شاکری رستمی، حسین، باقری، علی، و سعدالدین، امیر. (۱۴۰۰). ارزیابی وضعیت حکمرانی ریسک سیل در ایران بر اساس رویکرد تدابیر سیاستی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷(۳)، ۶۵-۱۰۳. Dor: [20.1001.1.17352347.1400.17.3.4.9](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1400.17.3.4.9)
- مساعدی، ابوالفضل. (۱۳۸۰). علل وقوع و تشدید خسارات سیل در شرق استان گلستان، گزارش طرح تحقیقاتی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- محمدی استادکلایه، امین، مساعدی، ابوالفضل، و علاقمند، سینا. (۱۳۸۶). بررسی اثرات سیل مرداد ۱۳۸۰ شرق گلستان بر مورفولوژی رودخانه مادرسو. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴ (ویژه‌نامه منابع طبیعی (ضمیمه))، ۹-۱۷. <https://sid.ir/paper/8980/fa>
- میری، مسلم. (۱۳۹۹). چالش‌های حقوقی حفاظت از بستر و حریم رودخانه‌ها در ایران، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶(۱)، ۴۲۸-۴۴۶. Dor: [20.1001.1.17352347.1400.17.3.4.9](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1400.17.3.4.9)
- Alexander, M., Priest, S. J., Micou, P., Tapsell, S. M., Green, C. H., Parker, D. J., & Homewood, S. (2016). Analysing and evaluating flood risk governance in England-enhancing societal resilience through comprehensive and aligned flood risk governance arrangements. Flood Hazard Research Centre. Middlesex University. London, England
- Cooper, R. (2020). Water security beyond Covid-19. University of Birmingham. Birmingham, United Kingdom. <https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/handle/20.500.12413/15240>

- Sally, H., Aliber, M., & Pietersen, K. (2009). Water security in South Africa. Development Planning Division. Working Paper Series, 12.
- OECD. OECD Environmental Outlook to 2050, OECD Publishing: Paris, France, 2012.
- OECD. Water Resources Governance in Brazil, OECD Publishing: Paris, France, 2015.
- Oyebode, O. J. (2018). Strategy for tackling flood and water scarcity for adequate water supply and public health in Nigeria. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, 5(8), 656-664.
- Romano, O., & Akhmouch, A. (2019). Water governance in cities: current trends and future challenges. *Water*, 11(3), 500. <https://doi.org/10.3390/w11030500>
- Rooy, P. T. J. C., Sterrenberg, L., & Biesboer, F. (2000). Het blauwe goud verzilveren: integraal waterbeheer en het belang van omdenken. Rathenau Instituut. South Holland.
- Wheater, H., & Gober, P. (2013). Water security in the Canadian Prairies: science and management challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(2002), 20120409. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2012.0409>
- Wheater, H. S., & Gober, P. (2015). Water security and the science agenda. *Water Resources Research*, 51(7), 5406-5424. doi: [10.1002/2015WR016892](https://doi.org/10.1002/2015WR016892)
- Yadollahie, M. (2019). The flood in Iran: a consequence of the global warming? *The international journal of occupational and environmental medicine*, 10(2), 54. doi: [10.15171/ijoem.2019.1681](https://doi.org/10.15171/ijoem.2019.1681)
- Yavarian, J., Shafiei-Jandaghi, N. Z., & Mokhtari-Azad, T. (2019). Possible viral infections in flood disasters: a review considering 2019 spring floods in Iran. *Iranian journal of microbiology*, 11(2), 85-89. PMID: 31341561; PMCID: PMC6635310.

Identification and Analysis of the Barriers to Farmers' Participation in the Revitalization of Lake Urmia Mahabad Sub-Basin

D. Amin Fanak^{1*}, R. Rezaei², Z. Kahrizi³

1, 2- Ph.D. Graduate and Professor, Department of Agricultural Extension, Communication and Rural Development, University of Zanjan, Zanjan, Iran. 3- M.Sc. Student, Department of Agricultural Extension and Education, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

* (Corresponding Author Email: fanak2054@yahoo.com)

Received: 12-03-2023
Accepted: 08-06-2023

Revised: 08-06-2023
Available Online: 21-12-2023

شناسایی و تحلیل موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه در حوضه آبریز مهاباد

داود امین فنک^{۱*}، روح‌اله رضائی^۲، زینب کهریزی^۳

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته دکتری و استاد، گروه ترویج، ارتباطات و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

* (نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: fanak2054@yahoo.com)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۱۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۸

Abstract

Protecting and revitalizing wetlands and other water areas requires the participation of all stakeholders, especially water exploiters and local communities. Based on this fact, the present descriptive-analytical research was conducted with the aim of identifying and analyzing the barriers to farmers' participation in the revitalization of Lake Urmia. The statistical population of the research consisted of 7100 farmers in the Mahabad sub-basin (one of the sub-basins of Lake Urmia); out of them, 364 cases were selected as the sample using random sampling. The data collection tool was a researcher-made questionnaire. The results of the exploratory factor analysis showed that the barriers to the participation of farmers in the revival of Lake Urmia can be categorized in the form of seven factors, including the lack of awareness of organizations regarding the concept of participation, economic barriers and infrastructural weakness, centralized and inappropriate management, political issues and legal weakness, cognitive and educational barriers, weak communication, low social capital, and weak motivation of users. These seven factors could account for 65.9% of the variance in barriers to participation. Furthermore, the results of the prioritization of these factors revealed that economic barriers and infrastructure weakness, political issues and legal weakness, and lack of awareness of organizations regarding the concept of participation were more important in comparison to the other barriers. Thus, it is recommended that any program planning decision-making on the revival of Lake Urmia be aligned with an emphasis on removing these barriers.

Keywords: Protection of Wetlands, Stakeholders, Inhibitory Factors, Local Communities.

چکیده

حفاظت و احیا تالاب‌ها و سایر عرصه‌های آبی، نیازمند مشارکت تمامی گروه‌داران به‌ویژه بهره‌برداران و جوامع محلی است؛ براین‌اساس، این پژوهش توصیفی-تحلیلی، با هدف اصلی شناسایی و واکاوی موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه انجام گرفت. جامعه آماری این تحقیق را ۷۱۰۰ نفر از کشاورزان در زیرحوضه مهاباد (یکی از زیرحوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه) تشکیل دادند که تعداد ۳۶۴ نفر از آنها با استفاده از نمونه‌گیری تصادفی انتخاب شدند. ابزار گردآوری داده‌ها، پرسشنامه محقق ساخته بود. نتایج به‌دست آمده از تحلیل عاملی اکتشافی نشان داد موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه در قالب هفت دسته شامل عدم آگاهی سازمان‌ها نسبت به مفهوم مشارکت، موانع اقتصادی و ضعف زیرساختی، مدیریت متمرکز و نامناسب، مسائل سیاسی و ضعف قانونی، موانع شناختی و آموزشی، ضعف ارتباطی و پایین بودن سرمایه اجتماعی و ضعف انگیزشی بهره‌برداران قرار گرفتند که این هفت عامل در مجموع ۶۵/۹ درصد از واریانس موانع مشارکت را تبیین کردند. همچنین، نتایج اولویت‌بندی این عوامل نشان داد موانع اقتصادی و ضعف زیرساختی، مسائل سیاسی و ضعف قانونی و عدم آگاهی سازمان‌ها نسبت به مفهوم مشارکت در مقایسه با سایر موانع اهمیت بیشتری داشتند؛ براین‌اساس ضروری است هر گونه برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در راستای احیا دریاچه ارومیه با تأکید بر رفع این موانع صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی: حفاظت از تالاب‌ها، گروه‌داران، عوامل بازدارنده، جوامع محلی.

دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه شور خاورمیانه به شمار می آید (Karbassi و همکاران، ۲۰۱۰) که با مساحت حدود ۵۲ هزار کیلومترمربع به عنوان یکی از شش حوضه آبخیز اصلی کشور شناخته می شود (مجتهدی و همکاران، ۱۴۰۱). این دریاچه با داشتن زیست کره مهم جهانی و در عین حال یک اکوسیستم منحصر به فرد، نقش بسیار مهمی از نظر اجتماعی-اقتصادی و اکولوژیکی در منطقه ایفا می کند (Ebrahimi Sarindzaji و Zarghami، ۲۰۱۹؛ Esmailnezhad و همکاران، ۲۰۲۱). باتوجه به اهمیت دریاچه ارومیه، وضعیت افت تراز آب دریاچه و فرایند تدریجی خشک شدن آن در سالهای اخیر سبب ایجاد برخی مشکلات مهم محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی به ویژه برای جوامع محلی پیرامون دریاچه شده است (حلاجی و همکاران، ۱۳۹۵). براین اساس، مسئله خشک شدن دریاچه ارومیه به یکی از معضلات مهم آبی و محیط زیستی کشور تبدیل شده و حفاظت از آن، توجه نهادها و سازمان های ملی و بین المللی را به خود جلب کرده است (اسمعیل زاده و همکاران، ۱۴۰۰).

در سال های نه چندان دور بیشتر تلاش ها در حفاظت از منابع آب عمدتاً بر راه حل های مبتنی بر فناوری تمرکز داشته است؛ با این وجود، توسعه و استفاده از فناوری های بهتر، به تنهایی کافی نیست (Midden و همکاران، ۲۰۰۷). اجرای هر طرح و پروژه ای در داخل حوضه های آبخیز نیازمند مشارکت گرداران و بهره برداران داخل آن حوضه می باشد، به شکلی که عدم توجه به گرداران، بسیاری از طرح های مدیریت و توسعه منابع طبیعی را با شکست مواجه ساخته است (دانشی و همکاران، ۱۳۹۶). در مدیریت بهینه مقابله با بحران های آب، یک رویکرد جامع لازم است که افزون بر مباحث فنی، جنبه های اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و آموزشی را نیز مورد توجه قرار دهد. شکل گیری این رویکرد جامع، با مشارکت کشاورزان و سایر کاربران بخش های اساسی تصمیم گیر امکان پذیر است (Rezadoost و Allahyari، ۲۰۱۴). بنابراین طی چند دهه اخیر، رویکرد مشارکت همواره به عنوان مهمترین رویکرد مورد نیاز برای مدیریت بهینه مسائل و مشکلات منابع طبیعی (آب و مسائل محیط زیستی) کشور معرفی شده است (کلاهی، ۱۴۰۰).

مشارکت کشاورزان که بزرگترین مصرف کننده آب در داخل کشور هستند، در پروژه های مربوط به مدیریت منابع آب و آبخیزداری امری ضروری بوده است به طوری که هرگونه برنامه ریزی بدون در نظر گرفتن نقش کشاورزان با شکست روبه رو خواهد شد (مولان نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). مشارکت مردمی در مدیریت یکپارچه منابع آب یا سایر مسائل محیط زیستی بر اساس سه اصل استوار است: ۱- ظهور رویکردهای مشارکتی اهمیت جلب رضایت جامعه محلی را با شرکت در فرآیندهای تصمیم گیری عمومی، به ویژه در مورد مسائلی که مستقیماً بر رفاه آنها تأثیر می گذارد، نشان می دهد. در

این زمینه، مشارکت جامعه محلی می تواند یک پایگاه اطلاعاتی مهم از تجربیات و ایده های کاربردی و راه حل های مرتبط و قابل قبول برای رفع مشکلات مربوط به آب باشد؛ ۲- نیاز به استفاده از دانش بومی و نظراتی که برای حفاظت محیط زیست حیاتی می باشد و ۳- نیاز به اعتمادسازی عمومی، زمانی که فقدان اعتماد عمومی باعث اعتراض و خصومت میان کاربران منابع آب و سایر گروه های به منظور دستیابی به خواسته ها و منافع مختلف می شود (Azizi و Khalkheili، ۲۰۰۹). بنابراین، موفقیت راهکارهای احیا تالابها نیز تا حد زیادی به میزان پذیرش آن از سوی گرداران و سطح مشارکت آنها وابسته خواهد بود (صالح نیا و همکاران، ۱۳۹۷). باتوجه به اهمیت موضوع، مرور منابع در این زمینه گویای انجام مطالعات اندکی به ویژه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می باشد. باتوجه به هدف پژوهش، در ادامه به طور خلاصه به مرور نتایج برخی از پژوهش های مرتبط داخلی و خارجی پرداخته شده است. امین فنک و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهش خود نشان دادند اصلی ترین موانع حفاظت از منابع آب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه شامل عدم استفاده از مشارکت واقعی گرداران در مدیریت منابع آبی، عدم ترویج معیشت پایدار و سازگار با منابع آبی در سطح حوضه، نبود انسجام کافی برای تصمیم گیری بین سطوح محلی، استانی و ملی، جامع نبودن قانون توزیع عادلانه آب و مدیریت بالا به پایین منابع آب، بودند. یعقوبی و مولان نژاد (۱۴۰۱) با هدف شناسایی موانع مشارکت کشاورزان در برنامه های مربوط به مدیریت منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه (در شهرستان میاندوآب) مشخص کردند که مهمترین این موانع به ترتیب اهمیت شامل نامطلوب بودن وضعیت اقتصادی کشاورزان، بدقولی مسئولان در انجام وعده های خود برای کشاورزان، ناکافی بودن اعتبارات و تسهیلات کشاورزی، بی توجهی به نیازهای معیشتی کشاورزان، فراهم نبودن امکانات رفاهی و بهداشتی در منطقه، نظارت نامناسب بر حسن اجرای طرح های مدیریت بهینه منابع آب، دخالت ندادن مردم در مرحله طراحی پروژه های مشارکتی و مدیریت آب، پایین بودن روحیه همگرایی و اعتماد بین کشاورزان و متولیان دولتی و منطبق نبودن طرح ها با نیازها و شرایط کاری روستاییان، بودند. محمدی دینانی و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی جایگاه اصل مشارکت عمومی در مدیریت منابع آب از منظر حقوق داخلی و حقوق بین الملل آب، به این نتیجه رسیدند که عوامل اساسی مانند رفع نواقص ساختاری و قانونی، الزام به تعامل با بهره برداران در اجرای هر گونه طرح حفاظت و بهره برداری از منابع آب و همچنین الزام به انجام مطالعات ارزیابی اثرات محیط زیستی طرح های توسعه منابع آب منجر به تقویت مشارکت بهره برداران در مدیریت عرضه و تقاضای آب می شوند. دریجانی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه خود موانع اجتماعی و سازمانی مشارکت جوامع محلی در پروژه احیای چشم اندازهای جنگلی و تخریب یافته در شهرستان ریگان استان کرمان را بررسی کردند. نتایج این مطالعه

نشان داد در بین متغیرهای اجتماعی، تقدیرگرا بودن و سپردن امور به سرنوشت، مشکلات جوامع محلی (مانند فقر، بیکاری و بی‌سوادی) و عدم وجود علاقه در مردم به تغییر وضعیت موجود خود و محیط اطرافشان و در بین متغیرهای سازمانی، هزینه‌بر بودن مشارکت در پژوهش، پرمسئولیت و سخت بودن فعالیت‌های موجود در پروژه و سخت بودن شرایط دریافت وام، مهمترین موانع فراروی مشارکت روستاییان بودند. در پژوهش دیگری، خدري‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی موانع و زمینه‌های مشارکت جوامع محلی در مدیریت جنگل در بخش مِه‌شیر شهرستان بانه دریافتند که مردم محلی به‌صورت بالقوه تمایل به مشارکت در مدیریت و به‌ویژه مشارکت در برنامه‌های حفاظتی داشتند، اما موانعی همچون ذی‌نفع نبودن آنها در مدیریت و وابستگی شدید به جنگل، سبب کم‌رنگ شدن مشارکت آنها در مدیریت جنگل شده بود. Wehn و Almomani (۲۰۱۹) در بررسی مشوق‌ها و موانع مشارکت در نظام‌های اطلاعاتی و نظارتی محیط‌زیستی اجتماع محورنشان دادند موانع مشارکت ناشی از پیامدهای منفی مورد انتظار، عدم تایید اجتماعی و فرصت‌های از دست رفته بودند. Jones و Powlen (۲۰۱۹) در پژوهشی پیرامون شناسایی عوامل تعیین‌کننده و موانع مشارکت بهره‌برداران در احیای جنگل در کاستاریکا مشخص کردند نبود مهارت‌های فنی برای کاشت درختان، تجارب ناموفق گذشته، ضعف در سیاست‌گذاری، عدم اعتقاد سازمان‌های ذی‌ربط به اهمیت و لزوم مشارکت دادن بهره‌برداران در برنامه‌ها، عدم اعتماد مردم محلی به سازمان‌های بیرونی و بالا بودن هزینه‌های اولیه احیا جنگل از موانع اصلی مشارکت بودند. Eskandari و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه ارزیابی مشارکت روستایی در مدیریت تالاب به این نتیجه رسیدند که میزان مشارکت روستاییان در حفاظت از تالاب‌ها تحت تاثیر متغیرهای مساحت زیر کشت، سن، اندازه خانوار، محل اقامت، درآمد و هنجارهای اخلاقی روستاییان بود. همچنین، نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که مشارکت در حفاظت از تالاب از طریق موافقت‌نامه‌های یکپارچه‌سازی زمین برای خرده‌مالک‌ها و از طریق تثبیت درآمد، ظرفیت‌سازی، یادگیری اجتماعی و ابتکارات افزایش آگاهی برای کشاورزان به سمت شیوه‌های کشاورزی پایدار بهبود می‌یابد. Savari و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی پیرامون عوامل موثر بر مشارکت مردم محلی در مدیریت پایدار جنگل نشان دادند متغیرهای آموزش، گسترش روش‌های حفاظت از جنگل، نگرش مطلوب به مدیریت پایدار، کاهش وابستگی معیشتی به جنگل، افزایش درآمد غیرجنگلی، بهبود دانش و آگاهی بهره‌برداران و وجود کانال‌ها و منابع اطلاعاتی، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر میزان مشارکت کشاورزان داشتند. در نهایت، Onyenankaya و همکاران (۲۰۲۱) موانع بهره‌وری مصرف آب در مناطق روستایی و حومه شهری آفریقای جنوبی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که خانوارهای روستایی و حومه شهری، هزینه را به‌عنوان

مانع اصلی برای نصب وسایل کم مصرف آب در نظر گرفته بودند. همچنین، نبود آموزش کافی و عدم آگاهی از مزایای استفاده از دستگاه‌های کم مصرف از دیگر موانع حفاظت از آب بودند.

همانطور که اشاره شد، باتوجه به اهمیت دریاچه ارومیه و لزوم حفاظت از آن، در سال‌های اخیر برنامه‌ها و اقدامات پرشماری از سوی نهادها و سازمان‌های بین‌المللی در راستای حفاظت از دریاچه انجام گرفته است. واکاوی این برنامه‌ها و اقدامات حاکی از آن است که عدم مشارکت به دلیل نگاه بالا به پایین و فرمایشی بودن فرآیند مشارکت مردم در احیا دریاچه ارومیه می‌باشد و در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی نقشی برای مردم وجود ندارد که این امر در ادامه موجب کاهش انگیزه مشارکت عمومی، بی‌اعتمادی اجتماعی و در نهایت عدم تمایل آن‌ها به مشارکت در فعالیت‌ها می‌شود (ستاد احیا دریاچه ارومیه، ۱۳۹۸). در چنین شرایطی، بدیهی است که گرداران در حوضه آبریز به خوبی به وظایف خود عمل نکرده و این مسئله منجر به تشدید بحران دریاچه ارومیه شده است (اسحاقی و همکاران، ۱۳۹۹). در واقع، تجربه چند ساله پروژه احیا دریاچه ارومیه نشان می‌دهد که دشوارترین مرحله کار در بخش اجتماعی خودنمایی می‌کند؛ جایی که باید با یک برنامه بلندمدت و جامع، ذهنیت و رفتار گرداران در جوامع محلی را تغییر داد، به‌گونه‌ای که هم منافع آنها و هم حقوق دریاچه به‌طور هم‌زمان تأمین شود. در چارچوب چنین برنامه‌های، برنامه‌ریزان و دست‌اندرکاران دیگر با سازه سروکار ندارند که در مدت زمان کوتاهی ساخته و تحویل داده می‌شود، بلکه با یک پدیده انسانی مواجه هستند که بایستی او را قانع به تغییر رفتار و مشارکت برای احیا دریاچه ارومیه کنند (مؤسسه پیام آوران، ۱۴۰۰). آنچه مسلم است نخستین گام در این خصوص، بررسی زمینه‌ها و شیوه‌های افزایش مشارکت جوامع محلی و به‌ویژه شناخت و درک موانع پیشروی آنها برای مشارکت در احیاء دریاچه ارومیه می‌باشد تا بتوان بر پایه نتایج چنین مطالعاتی، برنامه‌ریزی هدفمندتر و اثربخش‌تری را در راستای جلب مشارکت جوامع محلی به عمل آورد.

هرچند، مرور شواهد تجربی نشان داد در سال‌های اخیر مطالعات مختلفی پیرامون موضوع مورد پژوهش انجام گرفته است، اما بیشترین پژوهش‌ها بر مبنای بررسی نظرات کارشناسان و متخصصان پی‌ریزی شده و اهمیت کمتری به مطالعه دیدگاه‌ها و نظرات کشاورزان به منزله اصلی‌ترین گرداران حوضه آبریز دریاچه ارومیه داده‌اند. از سوی دیگر، باتوجه به گستردگی حوضه آبریز دریاچه ارومیه که از ۲۱ زیرحوضه مختلف در سه استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان تشکیل شده است، مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد تاکنون پژوهش مشخصی درباره شناسایی موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه در حوضه آبریز مهاباد انجام نگرفته است. درحالی‌که این منطقه یکی از مهمترین زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه به شمار می‌آید. شایان ذکر است آب اختصاص داده شده به بخش

کشاورزی در زیرحوضه مهاباد در سال‌های گذشته از ۱۳۷ میلیون مترمکعب به ۹۰ میلیون مترمکعب کاهش یافت که این موضوع منجر به بروز یک تنش اساسی در منطقه شد. به‌نحوی که میزان برداشت آب از چاه‌های غیرمجاز و همچنین رودخانه مهاباد به‌طور محسوسی افزایش یافت که در نهایت، این افزایش برداشت تأثیر ویژه‌ای بر کاهش میزان آب ورودی به دریاچه ارومیه و تالاب‌های حاشیه آن داشت. در مجموع، باتوجه به ملاحظات اشاره شده، این پژوهش با هدف اصلی شناسایی و تحلیل موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه انجام گرفت. براین اساس، پرسش‌های اصلی این پژوهش شامل موارد زیر بودند:

- ۱- چه موانعی بر سر راه مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه در زیرحوضه آبریز مهاباد قرار دارند؟
- ۲- در بین موانع شناسایی شده برای مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه در زیرحوضه آبریز مهاباد، کدامیک اهمیت بیشتری دارند؟

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گروه تحقیقات کمی می‌باشد که از نظر هدف، یک پژوهش کاربردی و از نظر گردآوری داده‌ها و اجرا، یک پژوهش میدانی و پیمایشی به‌شمار می‌آید. جامعه آماری این تحقیق را تمامی کشاورزان در زیرحوضه آبریز مهاباد دریاچه ارومیه تشکیل دادند که تعداد آنها در حدود ۷۱۰۰ بود (سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی، ۱۳۹۵). بر اساس جدول Krejcie و Morgan (۱۹۷۰)، تعداد ۳۶۴ نفر از کشاورزان با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده برای انجام تحقیق انتخاب شدند.

در خصوص منطقه مورد مطالعه، باید اشاره شود که زیرحوضه مهاباد به لحاظ تقسیمات سیاسی در استان آذربایجان غربی و در شهرستان مهاباد واقع شده و شامل ۱۲۴ روستا و یک نقطه شهری (مهاباد) می‌شود. این زیرحوضه با مساحت حدود ۱۵۰۲٫۵۱ کیلومترمربع، در جنوب دریاچه ارومیه قرار دارد و از شرق به زیرحوضه سیمینه رود و از غرب به گادر منتهی می‌شود. به لحاظ موقعیت ارتفاعی این زیرحوضه در فاصله ارتفاعی ۱۲۷۰-۲۷۹۰ متری از سطح دریا واقع شده است. همچنین، زیرحوضه مهاباد یک رودخانه دائمی به نام مهاباد (چومی مهاباد) با طول ۱۱۴ کیلومتر دارد که از دو شاخه مهم چومی قوره و داغه و چند سرشاخه کوچک تشکیل شده و سد مهاباد بر روی آن قرار دارد (ستاد احیا دریاچه ارومیه، ۱۳۹۸). ابزار گردآوری داده‌ها در این تحقیق پرسشنامه بود که از دو بخش مشخصه‌های فردی و حرفه‌ای پاسخگویان و دیدگاه کشاورزان مورد مطالعه در خصوص میزان اهمیت موانع مشارکت در احیا دریاچه ارومیه (شامل ۴۰ متغیر) تشکیل شده بود که این متغیرها از طریق بررسی و مرور گسترده مبانی نظری و تجربی پژوهش به‌ویژه مطالعاتی امین فنک و

همکاران (۱۴۰۲)؛ یعقوبی و مولان‌نژاد (۱۴۰۱)؛ دریجانی و همکاران (۱۳۹۷)؛ Powlen و Jones (۲۰۱۹) و Onyenankeya و همکاران (۲۰۲۱)، شناسایی و استخراج شده بودند. برای اندازه‌گیری بخش دوم، از طیف لیکرت پنج سطحی (از خیلی کم=۱ تا خیلی زیاد=۵) استفاده شد. به‌منظور بررسی روایی محتوایی ابزار پژوهش، پرسشنامه اولیه در اختیار پانلی از اعضای هیأت علمی دانشگاه‌های زنجان و ارومیه در رشته‌های ترویج و آموزش کشاورزی و توسعه روستایی و همچنین کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی قرار گرفت و از نظر معیارهای مختلف شامل رعایت دستور زبان، دقیق و مرتبط بودن پرسش‌ها و قرار گرفتن آنها در جای مناسب خود، استفاده از واژه‌های مناسب برای پرسش‌ها و واضح بودن معانی آنها، مناسب بودن مقیاس سنجش پرسش‌ها، عدم ایجاد حساسیت در پاسخگویان، ساده بودن پرسش‌های طرح شده و امکان پاسخگویی آسان به آنها، کافی بودن کمیت و کیفیت پرسش‌ها و اندازه‌گیری جامع جنبه‌های اصلی مفاهیم مورد مطالعه، بررسی و بر اساس نظرات آنها ویرایش شد. همچنین، برای تعیین پایایی ابزار تحقیق، پیش آزمون (شامل ۳۰ نفر خارج از نمونه اصلی) انجام گرفت که مقدار آلفای کرونباخ محاسبه شده برای مقیاس موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه در حدود ۰/۸۷ بود که بر اساس نظر Pedhazur (۱۹۸۲)، ضریب پایایی اشاره شده قابل قبول بود. تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ انجام گرفت و نتایج تحقیق در دو بخش آمار توصیفی (شامل فراوانی، درصد فراوانی، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات) و آمار استنباطی (شامل تحلیل عاملی اکتشافی) ارائه شدند.

شایان ذکر است که ضریب تغییرات یک شاخص نسبی است که از تقسیم انحراف معیار بر میانگین به‌دست می‌آید. این شاخص امکان مقایسه متغیرهای مختلف را فراهم می‌کند؛ به این ترتیب که به هر اندازه مقدار ضریب تغییرات بیشتر باشد، پراکندگی مقادیر یک متغیر بیشتر بوده و اهمیت آن متغیر در مقایسه با سایر متغیرها کمتر است. بر عکس، هر چه مقدار محاسبه شده برای ضریب تغییرات کمتر باشد، مقادیر یک متغیر حول میانگین متمرکزتر بوده و اهمیت آن متغیر بیشتر خواهد بود (کلانتری، ۱۳۹۵). همچنین، در این مطالعه به‌منظور دسته‌بندی و تحلیل "موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه"، از تحلیل عاملی اکتشافی استفاده شد. تحلیل عاملی از روش‌های آماری چند متغیره جهت خلاصه کردن داده‌ها است. این روش به بررسی همبستگی درونی تعداد زیادی از متغیرها می‌پردازد و در نهایت آنها را در قالب عامل‌های محدودی دسته‌بندی می‌کند. جهت انجام تحلیل اکتشافی در این مطالعه از روش تحلیل مولفه‌های اصلی و چرخش واریماکس استفاده شده است. هدف از تحلیل مولفه اصلی انتخاب تعداد محدودی عامل برای اهداف پیش‌بینی شده می‌باشد و هدف از چرخش واریماکس، ساده‌سازی ستون‌های ماتریس عاملی است. البته، برای تصمیم‌گیری

در خصوص تعداد عامل‌های استخراج شده نیز از بین معیارهای مختلف ارائه شده، در این پژوهش از معیار مقدار ویژه بهره گرفته شد به‌طوری که مقدار ویژه یک و بالاتر از آن مبنای تعیین تعداد عامل‌ها قرار گرفت. افزون بر این، به‌منظور تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی، از آزمون بارتلت و شاخص KMO بهره گرفته شد به‌نحوی که معنی‌دار بودن آزمون بارتلت بیانگر وجود همبستگی بین متغیرها و در نتیجه مناسب بودن داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی و همچنین مقادیر KMO بالای ۰/۷ نیز نشان دهنده اطمینان از کافی بودن حجم نمونه برای انجام تحلیل عاملی می‌باشند (کلانتری، ۱۳۹۵؛ Finch، ۲۰۱۹).

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد میانگین سنی کشاورزان مورد مطالعه ۵۱/۲ سال با انحراف معیار ۲/۸ بود. نزدیک به ۷۳ درصد از پاسخگویان مطالعه شده، مرد بودند. از نظر تحصیلات، ۸۹ درصد از کشاورزان تحصیلات دیپلم و پایین‌تر از آن داشتند. همچنین، ۶۳ درصد از پاسخگویان مدرک کاردانی و ۴/۷ درصد از آنها نیز از مدرک کارشناسی و بالاتر داشتند. توزیع فراوانی کشاورزان مورد مطالعه بر حسب پیگیری اخبار وضعیت دریاچه ارومیه در جدول (۱) آورده شده است. براین اساس، بیشترین فراوانی (۳۰/۲ درصد) مربوط به کشاورزانی بود که در سطح زیاد پیگیر اخبار مرتبط با وضعیت دریاچه بودند. نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد مقدار KMO، بالای ۰/۷ (یعنی برابر با ۰/۸۹۵) است که این یافته دلالت بر کافی بودن حجم نمونه برای انجام تحلیل عاملی داشت. به این ترتیب معنی‌داری آزمون بارتلت (جدول ۲)، نشان می‌دهد بین بین متغیرهای مورد تحلیل همبستگی وجود دارد و در نتیجه داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی مناسب هستند. باتوجه به مناسب بودن داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی، در ادامه با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و چرخش واریماکس مجموعه متغیرهای مرتبط با موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه تحلیل شد. با مد نظر قرار دادن معیار مقدار ویژه بالاتر از یک برای استخراج عامل‌ها، به شرط آن که بار عاملی متغیرهای وارد شده در

تحلیل کمتر از ۰/۵ نباشد، گویه‌های این مطالعه در نهایت در قالب هفت عامل اصلی دسته‌بندی شدند (جدول ۳). از بین ۴۰ متغیر اولیه، ۱۲ متغیر به این دلیل که بار عاملی کمتر از ۰/۵ داشتند از فرایند تحلیل حذف شدند. در مجموع، هفت عامل استخراج شده توانستند در حدود ۶۵/۹ درصد از واریانس موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه را تبیین کنند که حاکی از میزان واریانس مناسب تبیین شده توسط عامل‌های استخراج شده دارد (جدول ۳). پس از دسته‌بندی موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه، به‌منظور بررسی و واکاوی دقیق‌تر این موانع با استفاده از ضریب تغییرات اولویت‌بندی (بر اساس میزان اهمیت هر یک از عوامل مرتبط با موانع) شد (جدول ۴). باتوجه به نتایج مشخص شد که در بین هفت عامل استخراج شده، موانع اقتصادی و ضعف زیرساختی، مسائل سیاسی و ضعف قانونی و عدم آگاهی سازمان‌ها نسبت به مفهوم مشارکت، به ترتیب اهمیت بیشتری نسبت به سایر عامل‌ها داشتند (جدول ۴).

جدول ۱- توزیع فراوانی کشاورزان برحسب میزان پیگیری اخبار مربوط به وضعیت دریاچه ارومیه

ردیف	پیگیری اخبار وضعیت دریاچه ارومیه	فراوانی	درصد فراوانی
۱	خیلی کم	۲۱	۵/۸
۲	کم	۶۱	۱۶/۷
۳	متوسط	۸۹	۲۴/۵
۴	زیاد	۱۱۰	۳۰/۲
۵	خیلی زیاد	۸۳	۲۲/۸
۶	کل	۳۶۴	۱۰۰

جدول ۲- مقدار KMO و آزمون بارتلت و سطح معنی‌داری

مجموعه مورد تحلیل	مقدار KMO	مقدار بارتلت	سطح معنی‌داری (Sig)
موانع مشارکت در احیا دریاچه ارومیه	۰/۸۹۵	۴۱۸۳/۴۴۰	۰/۰۰۰

جدول ۴- رتبه‌بندی موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه

عامل	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه
موانع اقتصادی و ضعف زیرساختی	۳/۶۷	۰/۷۲۵	۰/۲۲۳	۱
مسائل سیاسی و ضعف قانونی	۳/۷۹	۰/۸۶۷	۰/۲۲۶	۲
عدم آگاهی سازمان‌ها نسبت به مفهوم مشارکت	۳/۶۱	۰/۸۳۲	۰/۲۲۹	۳
مدیریت متمرکز و نامناسب	۳/۴۷	۰/۸۰۷	۰/۲۳۰	۴
ضعف انگیزشی بهره‌برداران	۳/۷۵	۰/۸۷۷	۰/۲۳۴	۵
ضعف ارتباطی و پایین بودن سرمایه اجتماعی	۳/۵۰	۰/۸۳۸	۰/۲۳۷	۶
موانع شناختی و آموزشی	۳/۲۳	۰/۸۵۳	۰/۲۶۳	۷

جدول ۳- موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه

ردیف	عامل (میزان واریانس تبیین شده)	گویه‌ها	بار عاملی
۱	عدم آگاهی سازمان‌ها نسبت به مفهوم مشارکت (۱۲/۵ درصد)	نبود سازوکارهای لازم برای مشارکت دادن کشاورزان در فعالیتهای سازمان‌های ذی‌ربط عدم ارتباط مسئولین با مردم، رهبران محلی و کارشناسان مربوطه عدم آشنایی مسئولین و مدیران ذی‌ربط با فرآیند و روش‌های مشارکت عدم آگاهی مردم و مسئولین نسبت به فواید مشارکت و کار جمعی عدم ارائه آموزش در زمینه تقویت فعالیتهای گروهی و مشارکتی	۰/۸۹۵ ۰/۷۲۹ ۰/۶۵۳ ۰/۶۴۴ ۰/۶۳۸
۲	موانع اقتصادی و ضعف زیرساختی (۱۲/۱ درصد)	عدم دسترسی کشاورزان و گرووداران کلیدی دریاچه ارومیه به منابع اعتباری عدم ارائه حمایت‌های مالی و تأمین بودجه طرح‌های مشارکتی عدم توجه به شرایط اقتصادی و معیشتی کشاورزان حوضه آبریز دریاچه نبود زیرساخت‌های مناسب کشاورزی و تجهیزات آبیاری مدرن نبود معیشت‌های جایگزین و گزینه‌های درآمدی دیگر برای کشاورزان	۰/۷۹۳ ۰/۷۵۱ ۰/۷۲۱ ۰/۶۳۵ ۰/۶۲۹
۳	مدیریت متمرکز و نامناسب (۱۰/۲ درصد)	عدم حضور افراد بومی و محلی در پروژه‌های مربوط به نجات دریاچه ارومیه مشارکت ندادن مردم و گرووداران کلیدی در سیاست‌گذاری‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و پروژه‌های نجات دریاچه ارومیه اجرای پروژه‌ها با رویکرد بالا به پایین و بدون توجه به شرایط اجتماعی کشاورزان عدم تعهد و مسئولیت‌پذیری جامعه محلی	۰/۸۰۱ ۰/۷۳۲ ۰/۷۰۱ ۰/۶۱۴
۴	مسائل سیاسی و ضعف قانونی (۸/۶ درصد)	دخالت افراد سیاسی در انجام فعالیتهای فنی مرتبط با دریاچه ارومیه چرخش و جابه‌جایی سریع مدیران ارگان‌های دولتی مرتبط با نجات دریاچه ارومیه سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌های نادرست در زمینه کشاورزی و معیشت مردم محلی ساکن در حاشیه دریاچه ارومیه وجود قوانین دست و پاگیر جهت تغییر سیستم‌های آبیاری و الگوی کشت کشاورزی	۰/۶۷۸ ۰/۶۲۹ ۰/۵۸۱ ۰/۵۶۶
۵	موانع شناختی و آموزشی (۸/۴ درصد)	احساس عدم تعلق افراد محلی به دریاچه ارومیه نبود فعالیتهای رسانه‌ای منسجم در حوزه حفاظت از محیط‌زیست و به‌ویژه حفاظت از دریاچه ارومیه عدم اطلاع‌رسانی شفاف به کشاورزان در خصوص نتایج پروژه‌های مرتبط با احیا دریاچه ارومیه ضعف در برگزاری دوره‌های آموزشی و مشارکتی مورد نیاز کشاورزان	۰/۶۳۶ ۰/۵۸۸ ۰/۵۸۱ ۰/۵۷۱
۶	ضعف ارتباطی و پایین بودن سرمایه اجتماعی (۷/۲ درصد)	نبود ارتباط و تعامل اثربخش بین ارگان‌های دولتی با جامعه محلی منفعت طلبی مجریان پروژه‌های احیا دریاچه ارومیه بی‌اعتمادی جوامع محلی نسبت به پروژه‌های نجات دریاچه ارومیه ناشی از تجارب شکست در پروژه‌های قبلی	۰/۶۹۵ ۰/۶۷۷ ۰/۶۷۰
۷	ضعف انگیزشی بهره‌برداران (۶/۹ درصد)	تعداد زیاد پروژه‌های مختلف و ناامیدی و خستگی کشاورزان کاهش روحیه مشارکت در بین کشاورزان ناامیدی مردم محلی از وضعیت احیا دریاچه ارومیه	۰/۷۰۹ ۰/۶۹۴ ۰/۵۶۲

بر اساس نتایج پژوهش، مهمترین مانع فراروی کشاورزان برای مشارکت در احیا دریاچه ارومیه، به مسائل اقتصادی و ضعف زیرساختی وابسته است که در مقایسه با سایر موانع در رتبه نخست قرار گرفته بود. اهمیت این دسته از موانع در مطالعات دیگر همچون امین فنک و همکاران (۱۴۰۲)، یعقوبی و مولان‌نژاد (۱۴۰۱)، دریجانی و همکاران (۱۳۹۷)، Powlen و Jones (۲۰۱۹) و Onyenankeya و همکاران (۲۰۲۱) نیز تأیید شد. امین فنک (۱۴۰۱) تأکید دارد، کشاورزان از مهمترین گرووداران حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌شمار می‌روند که معیشت آنها به شکل عمیقی

به دریاچه ارومیه وابسته است. درحالی‌که بیشتر این کشاورزان از توانایی مالی ضعیفی برخوردار هستند و مشکلات معیشتی فراوانی دارند (دفتر طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۴۰۰). از سوی دیگر، به دلیل افزایش قیمت نهاده‌های کشاورزی و سایر هزینه‌های تولید در سال‌های اخیر، درآمد کشاورزان به شدت کاهش یافته است (رضائی، ۱۴۰۰). در مجموع، وجود مسائل اقتصادی سبب شده است جوامع محلی ناچار شوند تأمین معیشت و مخارج زندگی خود را به حفاظت از دریاچه ارومیه و منابع آب آن ترجیح دهند. برای نمونه، بسیاری از کشاورزان پیرامون حوضه آبریز در سال‌های

اخیر سطح زیرکشت زمین‌های کشاورزی خود را افزایش داده‌اند یا اینکه برای کسب درآمد بیشتر به کاشت محصولات آب‌بر روی آورده‌اند که به موازات این مسئله مصرف آب بخش کشاورزی در سطح حوضه آبریز به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. این در شرایطی است که کشاورزان منطقه دسترسی کافی به منابع اعتباری لازم جهت مدیریت پایدار منابع آب ندارند و به دلیل مسائل اقتصادی قادر به مشارکت در برنامه‌های حفظ و احیا دریاچه ارومیه ازجمله فراهم کردن زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز برای اجرای سیستم‌های نوین آبیاری نیستند. به‌این‌ترتیب وجود مسائل اقتصادی سبب شده است بسیاری از کشاورزان توانایی ریسک برای تغییر شیوه معیشتی و پرداختن به سایر گزینه‌های درآمدی نداشته باشند.

باتوجه‌به نتایج این پژوهش، مسائل سیاسی و ضعف قانونی از دیگر موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه بود که در رتبه دوم قرار داشت. این یافته با نتایج مطالعات امین فنک و همکاران (۱۴۰۲)، یعقوبی و مولان‌نژاد (۱۴۰۱) و Powlen و Jones (۲۰۱۹) همخوانی داشت. هرچند، با شکل‌گیری ستاد احیا دریاچه ارومیه، آیین‌نامه‌ها و قوانین جدیدی در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه تدوین شد، ولی شواهد میدانی حاکی‌از آن است که این قوانین و مقررات ضمانت اجرایی محکمی به‌منظور پیشگیری از هدررفت آب نداشته‌اند. یکی از مهمترین دلایل این مسئله، به دخالت‌های سیاسی در تصمیم‌گیری‌های کلان و خرد در سطح حوضه برمی‌گردد. در واقع، چالش‌های حکمرانی و ضعف قوانین و مقررات در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به اندازه‌ای مشهود است که این قوانین هیچ‌گاه برای کنترل و مدیریت درست منابع آب اثربخش نبوده و نتوانسته است چارچوب مشخصی را برای دسترسی قانونی کشاورزان به منابع آب تدوین و اجرا کند. در چنین شرایطی، تدوین قوانین و مقررات گوناگون نه تنها حالت بازدارندگی نداشته بلکه به دلیل داشتن ضمانت اجرایی بسیار ضعیف، در عمل به توسعه زمین‌های کشاورزی در کل حوضه آبریز منجر شده است. باتوجه‌به نتایج این پژوهش مشخص شد که یکی از موانع اصلی مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه که در رتبه سوم قرار داشت، مربوط به عدم آگاهی سازمان‌ها نسبت به مفهوم مشارکت بود؛ این یافته با نتایج پژوهش Powlen و Jones (۲۰۱۹) همخوانی داشت. به اعتقاد بیشتر صاحب‌نظران، دلایل پرشمار و بعضاً قانع‌کننده‌ای برای عدم مشارکت یا مشارکت پایین جوامع محلی در فرآیند برنامه‌ریزی، اجرا و ارزشیابی پروژه‌های مختلف کشاورزی و منابع طبیعی وجود دارد. در این خصوص، نباید همواره روستاییان را به‌عنوان مقصر قلمداد کرد، زیرا بسیاری از مسائل و موانع مشارکت، به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم، به دولت‌ها، نهادها، سازمان‌ها و عاملان اجرایی این سازمان‌ها مربوط می‌شود. اوحدی‌نیا (۱۳۹۵) تأکید دارد، نقطه شروع مشارکت‌های مردمی، تمرکززدایی است

که معمولاً با مخالفت‌هایی از سوی ساختار مدیریتی بالادست روبه‌رو می‌شود. درحالی‌که حضور و مشارکت کنشگران در جریان برنامه‌ها، تصمیم‌سازی‌ها و تصمیم‌گیری‌های راهبردی بخش آب، از اصول غیرقابل‌منفک مدیریت پایدار منابع آب به‌شمار می‌آید که بسیاری از سازمان‌ها بنا به دلایل مختلف ازجمله عدم آگاهی یا وجود پاره‌ای مسائل سیاسی، یا نسبت به اهمیت آن توجهی نیستند یا اینکه اعتقاد قلبی نسبت به آن ندارند و در نتیجه، همچنان که در برنامه‌های حفظ و احیا دریاچه ارومیه غایبان است، سازوکارهای لازم برای مشارکت دادن کشاورزان در برنامه‌ها و پروژه‌ها را به‌طور جدی مد نظر قرار نمی‌دهند.

افزون بر عوامل اشاره شده در بالا، یکی دیگر از موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه، مدیریت متمرکز و نامناسب بود که این یافته با نتایج مطالعات امین فنک و همکاران (۱۴۰۲)، یعقوبی و مولان‌نژاد (۱۴۰۱) و خدری‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) همخوانی داشت. در این خصوص، نتایج این پژوهش نشان داد بیشتر برنامه‌ها و پروژه‌های احیا دریاچه ارومیه با رویکرد بالا به پایین به‌صورت متمرکز و بدون همفکری و نظرخواهی از جوامع محلی مدیریت می‌شوند. به بیان دیگر، کشاورزان در برنامه‌ها و تصمیم‌گیری‌های مربوط به احیا دریاچه ارومیه، نقش بسیار کم‌رنگی داشته و مشارکت آنها به شکل موردی یا صوری و حتی در برخی موارد، فرمایشی است. اجرای الگوی کاشت در حوضه آبریز و طرح نکاشت و کاهش مصرف ۴۰ درصد آب، ازجمله طرح‌هایی هستند که بدون توجه به شرایط اجتماعی و اقتصادی بهره‌برداران، تصمیم‌گیری و اجرا و در نهایت نیز با شکست و ناکامی مواجه شده‌اند. افزون بر این، تضاد منافع بین سازمان‌های ذی‌نفع و موازی کاری بین آنها از دیگر مسائل مدیریتی محسوب می‌شوند که نه تنها با اتلاف منابع همراه بوده‌اند بلکه سبب سردرگمی، بی‌اعتمادی و بدبینی کشاورزان نسبت به نهادها و سازمان‌های ذی‌ربط نیز شده‌اند که این مسئله نیز به نوبه خود منجر به عدم تعهد و مسئولیت‌پذیری جامعه محلی نسبت به حفظ و احیا دریاچه ارومیه شده است. بر اساس نتایج این پژوهش، ضعف انگیزشی بهره‌برداران به‌عنوان یکی دیگر از موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه مد نظر قرار گرفت. در این خصوص، شواهد گویای آن است هرچند، در سال‌های اخیر با تشدید روند خشک شدن دریاچه ارومیه، سازمان‌های دولتی به‌ویژه ستاد احیا دریاچه ارومیه و حتی نهادهای بین‌المللی بودجه‌های اختصاصی هنگفتی را برای حفظ و احیا دریاچه ارومیه و تالاب‌های حاشیه آن هزینه کرده‌اند، ولی از نظر کشاورزان، این هزینه‌ها و پروژه‌های اجرایی در متوقف کردن روند کاهشی خشک شدن دریاچه بی‌تاثیر بوده‌اند که همین مسئله منجر به سلب اعتماد، ناامیدی، خستگی و از بین رفتن انگیزه جوامع محلی نسبت به بهبود وضعیت دریاچه شده است. اهمیت این موضوع، با در نظر گرفتن تعداد زیاد برنامه‌ها و پروژه‌هایی که از سوی سازمان‌های مختلف در سطح حوضه آبریز

بدون تردید، تخریب تالاب‌ها و خشک شدن رودخانه‌ها و دریاچه‌ها یکی از عمده‌ترین پیامدهای منفی بهره‌برداری نادرست و مدیریت ناپایدار منابع آب در کشور است که بارزترین نمونه آن مربوط به خشک شدن دریاچه ارومیه می‌باشد. در این زمینه، بسیاری از صاحب‌نظران بر این باور هستند که مشارکت روستاییان و کشاورزان در برنامه‌ها و اقدامات مرتبط با حفاظت از دریاچه ارومیه، یک مسأله حیاتی به‌شمار می‌آید که ضروری است زمینه لازم برای ایجاد و تقویت آن فراهم شود. با در نظر گرفتن اهمیت موضوع، این پژوهش با هدف اصلی شناسایی موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه انجام گرفت. به‌طورکلی، بر پایه نتایج این پژوهش مشخص شد موانع مختلفی در ابعاد گوناگون شامل ابعاد اقتصادی، قانونی، آموزشی، مدیریتی و غیره بر سر راه مشارکت کشاورزان در برنامه‌ها و پروژه‌های احیا دریاچه ارومیه قرار داشتند که مهمترین آنها را می‌توان در قالب سه دسته موانع اقتصادی و ضعف زیرساختی، مسائل سیاسی و ضعف قانونی و عدم آگاهی سازمان‌ها نسبت به مفهوم مشارکت، برشمرد. نکته بسیار مهمی که بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت، این است که باتوجه به تعدد موانع شناسایی شده، فرایند حفاظت و احیا دریاچه ارومیه به مثابه یک موضوع چند بعدی به‌شمار می‌آید که ضروری است تمامی ابعاد به‌صورت نظام‌مند در نظر گرفته شده و با در پیش گرفتن رویکردی کل‌گرایانه مبتنی بر مدیریت جامع و یکپارچه، تلاش شود تا راهکارها و مداخلات اثربخشی در راستای رفع موانع فراروی مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه طراحی و پیاده‌سازی شود. براین‌اساس، در ادامه به ارائه برخی پیشنهادها متناسب با یافته‌های پژوهش پرداخته شده است:

۱- باتوجه به اهمیت موانع اقتصادی به‌عنوان یکی از موانع اصلی مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه و وابستگی بیش از حد معیشت جوامع محلی به دریاچه، پیشنهاد می‌شود با شناسایی ظرفیت‌ها و پتانسیل‌های مختلف مناطق روستایی پیرامون دریاچه ارومیه بستر مورد نیاز جهت توسعه معیشت‌های جایگزین و تنوع‌بخشی به فعالیت‌های اقتصادی و منابع درآمدی خانوارهای روستایی از طریق فراهم کردن زمینه مشارکت روستاییان در فعالیت‌های غیرکشاورزی همچون گردشگری و بومگردی، صنایع دستی، صنایع تبدیلی و فرآوری محصولات دامی و کشاورزی، صنایع فرش و غیره فراهم شود. به‌طورقطع، توسعه چنین مشاغلی می‌تواند ضمن کاهش فشار بر منابع آب و خاک، موجب بالا رفتن آستانه تحمل جامعه محلی در برابر نوسانات بازار محصولات کشاورزی و تغییرات اقلیمی (خشکسالی و دیگر پدیده‌های طبیعی غیرمترقبه) شود.

۲- باتوجه به اهمیت موانع شناختی و آموزشی فراروی کشاورزان جهت مشارکت در احیا دریاچه ارومیه و به‌طور مشخص ضعف

دریاچه ارومیه پیاده‌سازی شده‌اند، دو چندان است. در حال حاضر شرایط به گونه‌ای است که روحیه مشارکت کشاورزان تا حدود زیادی از دست رفته و افراد حتی حاضر به همراهی در برنامه‌ها و اقداماتی که ممکن است اثربخش مناسبی داشته باشند، نیستند که این مسئله فرایند احیا دریاچه ارومیه را بسیار دشوار و پیچیده کرده است.

در بین عوامل شناسایی شده، ضعف ارتباطی و پایین بودن سرمایه اجتماعی از دیگر مشکلات مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه بود که رتبه ششم را به خود اختصاص داده بود؛ اهمیت این عامل در مطالعات امین فنک و همکاران (۱۴۰۲)، یعقوبی و مولان‌نژاد (۱۴۰۱) و Jones و Powlen (۲۰۱۹) نیز مورد تأکید قرار گرفته است. همانگونه که در قالب عامل سوم یعنی مدیریت متمرکز و نامناسب نیز شرح داده شد، کشاورزان به برنامه‌های سازمان‌های دولتی درگیر در احیا دریاچه ارومیه اعتماد چندانی ندارند و از آنجایی که این سازمان‌ها به‌عنوان بازوهای اجرایی ستاد احیا دریاچه ارومیه در سطح حوضه آبریز محسوب می‌شوند، این مسئله سبب ایجاد اختلال در برنامه‌های ستاد احیا به‌ویژه در آغاز فعالیت این نهاد شده بود. از طرفی مشاوران و مجریان پروژه‌ها در حین انجام فعالیت‌ها مانع از مشارکت واقعی کشاورزان در طراحی و اجرای پروژه‌ها شدند و حتی در بعضی موارد، با دادن وعده‌های غیرعملی و خارج از اختیارات، به دنبال پیشبرد اهداف خود بودند که در مجموع این مسائل سبب تضعیف سرمایه اجتماعی و افزایش تنش‌ها بین جوامع محلی و بخش دولتی شده است.

در نهایت، عامل آخر در بین موانع مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه که در رتبه هفتم قرار گرفته بود، موانع شناختی و آموزشی بودند که اهمیت آنها در پژوهش‌های Eskandari و همکاران (۲۰۲۰)، Savari و همکاران (۲۰۲۰) و Onyenankeya و همکاران (۲۰۲۱) نیز تأیید شده است. نتایج این پژوهش نشان داد در سال‌های اخیر احساس تعلق افراد محلی ساکن در حاشیه حوضه آبریز نسبت به دریاچه ارومیه کاهش یافته است که از دلایل عمده این مسئله می‌توان به وجود منابع و تأسیسات آبی مشترک (اعم از رودخانه، سد، خط آب‌رسانی، شبکه زهکشی و آبیاری و غیره)، رقابت برای برخورداری از سهم بیشتر از منابع آب ازجمله رقابت بین بالادست و پایین‌دست و احساس تبعیض در زمان و مقدار تخصیص آب و سهم آب استان‌ها (باتوجه به مشترک بودن دریاچه ارومیه بین سه استان آذربایجان‌های غربی و شرقی و کردستان)، اشاره کرد (دفتر طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۴۰۰؛ مؤسسه پیام‌آوران، ۱۴۰۰). به‌این‌ترتیب یکی دیگر از عوامل مورد تأکید در قالب موانع شناختی و آموزشی مربوط به مشکلات مرتبط با دوره‌های آموزشی و مشارکتی مورد نیاز کشاورزان بود که این دوره‌ها معمولاً یا به‌صورت موردی و در سطح بسیار محدود برگزار شده و یا برای بهبود سطح دانش، نگرش و رفتار بهره‌برداران در راستای حفاظت از دریاچه ارومیه اثربخش نبوده است.

در برگزاری دوره‌های آموزشی و مشارکتی مورد نیاز کشاورزان، پیشنهاد می‌شود از طریق انجام نیازسنجی‌های مستمر به صورت هدفمند طراحی و اجرای دوره‌های آموزشی و ترویجی مرتبط در سطح جوامع محلی پیرامون دریاچه ارومیه اقدام شود. علاوه بر آن توجه به دیگر سازوکارهای ترویجی مانند برگزاری نشست‌ها، جلسات و گردهمایی‌ها، اجرای برنامه‌های آگاهی‌سازی اجتماعی در مقیاس بزرگ به‌ویژه با کمک رسانه‌های انبوهی مانند رادیو و تلویزیون و استفاده از ظرفیت شبکه‌های اجتماعی مجازی می‌تواند جهت رفع موانع شناختی و آموزشی در بین کشاورزان مورد مطالعه راهگشا باشند.

۳- با در نظر گرفتن اهمیت موانع مرتبط با مدیریت متمرکز و نامناسب به‌عنوان یکی از موانع اصلی مشارکت کشاورزان در احیا دریاچه ارومیه، پیشنهاد می‌شود با تعریف شفاف و هم‌راستا کردن برنامه‌ها و اقدامات سه استان ذی‌نفع در حوزه آبریز دریاچه ارومیه شامل آذربایجان‌های غربی و شرقی و کردستان و همچنین سازمان‌ها و کنشگران مختلف درگیر در این سه استان، تضاد بین آنها کاهش داده شده و زمینه برای پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب در حوزه آبریز دریاچه ارومیه فراهم شود. در این راستا ضروری است هرچه زودتر کمیته‌های استانی برنامه مدیریت زیست‌بومی دریاچه ارومیه که در سال ۱۳۸۸ به تصویب هیأت وزیران رسیده است، برای اجرایی کردن اقدامات اولویت‌دار پیش‌بینی شده در برنامه مدیریت جامع دریاچه ارومیه فعال شوند.

منابع

اسحاقی، سید رضا، حجازی، یوسف، حسینی، سید محمود، و رضایی، عبدالمطلب. (۱۳۹۹). تحلیل شبکه اجتماعی سازمان‌های فعال در احیای دریاچه ارومیه. *مجله علوم محیطی*، ۱۸ (۴)، ۲۳۹-۲۵۷. doi: 10.52547/envs.18.4.23

اسمعیل‌زاده، سعید، پرورش‌ریزی، عاطفه، و میان‌آبادی، حجت. (۱۴۰۰). مسئله‌شناسی و ارزیابی خط‌مشی ستاد احیای دریاچه ارومیه. *مجله مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی*، ۱۱ (۳۸)، ۵۸-۳۸.

امین‌فک، داود. (۱۴۰۱). رویکرد تلفیقی چندسطحی برای تبیین رفتارهای مشارکت‌گرایانه کشاورزان در حفاظت از منابع آب در حوزه آبریز دریاچه ارومیه. رساله دکتری، گروه ترویج، ارتباطات و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان.

امین‌فک، داود، رضائی، روح اله، و زینال‌زاده، کامران. (۱۴۰۲). شناسایی و تبیین موانع حفاظت از آب در حوزه آبریز دریاچه ارومیه: یک پژوهش کیفی. *مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، ۲ (۱)، ۵۴-۷۳. doi: 10.22059/IJAEDR.2022.342469.669146

اوحیدی‌نیا، کیومرث. (۱۳۹۵). آگاهی از حقوق شهروندی و تاثیر آن بر مشارکت مردمی. *مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی نخبگان عمران، معماری و شهرسازی*. تبریز، ایران.

حلاجی، فاطمه، قدمی، مصطفی، و متولی، صدرالدین. (۱۳۹۵). ارزیابی ظرفیت‌های توسعه اکوسیستم در حوضه دریاچه ارومیه با تأکید بر اجتماع محلی. *مجله مطالعات توسعه اجتماعی- فرهنگی*، ۵ (۴)، ۲۱۵-۲۳۷.

خدیری‌زاده، مهدی، ملک‌نیا، رحیم، عادل، کامران، و هناره خلیانی، جلال. (۱۳۹۶). بررسی موانع و زمینه‌های مشارکت جوامع محلی در مدیریت جنگل (مطالعه موردی: بخش مِه شیر شهرستان بانه). *مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۲۴ (۳)، ۳۵-۴۷. Doi: 10.22069/JWFST.2017.12024.1634

دانشی، علیرضا، وفاخواه، مهدی، و پناهی، مصطفی. (۱۳۹۶). ارزیابی راهکارهای مدیریت بحران دریاچه ارومیه با تأکید بر مشارکت حداکثری بهره‌برداران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سیمینه رود). *مجله مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)*، ۷۰ (۲)، ۲۹۹-۳۱۴. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.121848.857>

دربجانی، محدثه، محبوبی، محمدرضا، بارانی، حسین، و عبدالله‌زاده، غلامحسین. (۱۳۹۷). موانع اجتماعی و سازمانی مشارکت جوامع محلی در پروژه احیای چشم‌اندازهای جنگلی و اراضی تخریب‌یافته (مطالعه موردی: شهرستان ریگان استان کرمان). *مجله تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۲۶ (۳)، ۴۳۵-۴۴۶. doi: 10.22092/IJF-PR.2018.118154

دفتر طرح حفاظت از تالاب‌های ایران. (۱۴۰۰). ارزیابی اجتماعی- اقتصادی فازهای ششم و هفتم پروژه همکاری در احیای دریاچه ارومیه از طریق مشارکت جوامع محلی در استقرار کشاورزی پایدار و حفاظت از تنوع زیستی. گزارش پژوهشی (منتشر نشده). دفتر طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، تهران.

رضائی، روح اله. (۱۴۰۰). خلاصه مدیریتی طرح ارزیابی اجتماعی- اقتصادی فازهای ششم و هفتم پروژه «همکاری در احیای دریاچه ارومیه از طریق مشارکت جوامع محلی در استقرار کشاورزی پایدار و حفاظت از تنوع زیستی». گزارش پژوهشی (منتشر نشده)، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، تهران.

سازمان جهاد کشاورزی آذربایجان غربی. (۱۳۹۵). آمار و اطلاعات کشاورزان (بر مبنای سرشماری عمومی نفوس و مسکن). گزارش فنی، سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی، ارومیه.

ستاد احیای دریاچه ارومیه. ۱۳۹۸. سند جامع مطالعات اجتماعی فرهنگی دریاچه ارومیه. گزارش پژوهشی. شرکت نواندیشان زیان کردستان، ارومیه.

صالح‌نیا، مینا، حیاتی، باب‌اله، و مولائی، مرتضی. (۱۳۹۷). مدل‌سازی ترجیح‌های ساکنان حوضه دریاچه ارومیه در رابطه با احیای آن: کاربرد روش رتبه‌بندی مشروط. *مجله اقتصاد کشاورزی*، ۱۲ (۴)، ۱۵-۴۴. doi: 10.22034/IAES.2019.66462.1471

کلانتری، خلیل. (۱۳۹۵). پردازش و تحلیل داده‌ها در تحقیقات اجتماعی- اقتصادی (با استفاده از نرم‌افزار SPSS)، جلد ۱. انتشارات فرهنگ صبا. چاپ هشتم، تهران.

- ence of the Total Environment, 747, 127-141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141127>
- Finch, W.H. (2019). Exploratory Factor Analysis. SAGE Publications, California, USA.
- Karbassi, A., Bidhendi, G. N., Pejman A., & Bidhendi M. E. (2010). Environmental impacts of desalination on the ecology of Lake Urmia. Journal of Great Lakes Research, 36(3), 419-424. doi.org/10.1016/j.jglr.2010.06.004
- Krejcie, R.V., & Morgan, D.W. (1970). Determining sample size for research activities. Educational and Psychological Measurement, 30, 607-610. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2010.06.004>
- Midden, C. J., Kaiser, F. G., & McCalley, L. T. (2007). Technology's four roles in understanding individuals' conservation of natural resources. Journal of Social Issues, 63(1), 155-174. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.2007.00501>
- Onyenakeya, K., Onyenakeya, O. M., & Osunkunle, O. (2021). Barriers to water use efficiency in rural and peri-urban areas of South Africa. Water and Environment Journal, 35(4), 1164-1173. <https://doi.org/10.1111/wej.12707>
- Pedhazur, E. (1982). Multiple regressions in behavioral research: Explanation and predication. Reinhart & Winston, New York, USA.
- Powlen, K. A., & Jones, K. W. (2019). Identifying the determinants of and barriers to landowner participation in reforestation in Costa Rica. Land use policy, 84, 216-225. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.021>
- Rezadoost, B., & Allahyari, M. S. (2014). Farmers' opinions regarding effective factors on optimum agricultural water management. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13(1), 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.12.004>
- Savari, M., Eskandari Damaneh, H., & Eskandari Damaneh, H. (2020). Factors influencing local people's participation in sustainable forest management. Arabian Journal of Geosciences, 13, 1-13. DOI: [10.1007/s12517-020-05519-z](https://doi.org/10.1007/s12517-020-05519-z)
- When, U. & Almomani, A. (2019). Incentives and barriers for participation in community-based environmental monitoring and information systems: A critical analysis and integration of the literature. Environmental Science & Policy, 101, 341-357. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.09.002>
- کلاهی، مهدی. (۱۴۰۰). گروداران منابع طبیعی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۱۸(۱)، ۳۰-۱۹. doi: [10.22067/JWSD.V8I1.88313](https://doi.org/10.22067/JWSD.V8I1.88313)
- مجتهدی، سیدمهدی، طهماسبی، اصغر، شبیری، سیدمحمد، علوی تبار، علیرضا، و زندی، بهمن. (۱۴۰۱). تحلیلی بر نقش گروداران کلیدی در مدیریت تالاب‌های اقماری دریاچه ارومیه. نشریه آب و توسعه پایدار، ۹(۴)، ۵۸-۴۷. doi: [10.22067/JWSD.V9I4.2206.1159](https://doi.org/10.22067/JWSD.V9I4.2206.1159)
- محمدی‌دینانی، منصور، مولایی، یوسف، و بنی‌حبيب، محمدابراهیم. (۱۴۰۱). جایگاه اصل مشارکت عمومی در مدیریت منابع آب از منظر حقوق داخلی و حقوق بین‌الملل آب. مجله پایداری، توسعه و محیط‌زیست، ۳(۲)، ۱۵-۲۷. doi: [10.22067/JWSD.V9I4.2206.1159](https://doi.org/10.22067/JWSD.V9I4.2206.1159)
- روزنامه پیام‌آوران. (۱۴۰۰). فراز و فرودهای احیاء: مروری بر چالش‌های احیا دریاچه ارومیه. ویژه‌نامه دریاچه ارومیه، مؤسسه مطبوعاتی پیام‌آوران. کرمان.
- مولان‌نژاد، لقمان، یعقوبی، جعفر، و خضری، بهروز. (۱۳۹۵). عامل‌های مؤثر بر ترغیب کشاورزان به مشارکت در برنامه‌های مدیریت آب و آبخیزداری در شهرستان میان‌دوآب. مجموعه مقالات یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. انجمن آبخیزداری ایران، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
- یعقوبی، جعفر، و مولان‌نژاد، لقمان. (۱۴۰۱). موانع مشارکت کشاورزان در برنامه‌های مربوط به مدیریت منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه. مجموعه مقالات ششمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
- Azizi Khalkheili, T., & Zamani, G. H. (2009). Farmer participation in irrigation management: the case of Doroodzan Dam Irrigation Network, Iran. Agricultural Water Management, 96(5), 859-865. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.11.008>
- Ebrahimi Sarindizaj, E., & Zarghami, M. (2019). Sustainability assessment of restoration plans under climate change by using system dynamics: application on Urmia Lake, Iran. Journal of Water and Climate Change, 10(4), 938-952. <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.209>
- Esmailnezhad, R., Zeinalzadeh, K., Nazarnejad, H., & Mohammadpour, M. (2021). Assessment of agricultural development preventive policies for restoration of Urmia Lake in Barandoz Basin, Iran. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 24(3), 1103-1110. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.10.005>
- Eskandari-Damaneh, H., Noroozi H., Ghoochani O. M., Taheri-Reykandeh E., & Cotton, M. (2020). Evaluating rural participation in wetland management: A contingent valuation analysis of the set-aside policy in Iran. Sci-

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Modeling for Weighting the Most Effective Evaluated Criteria of Indigenous Knowledge Using the BWM Method in the Management and Planning of Water Resources in Yazd Province

M. Khani^{1*}, H. Hoveidi², A.R. Yavari³, M.R. Khani⁴

1-Ph.D. Graduate, Department of Environmental Planning, University of Tehran, Alborz Campus, Karaj, Iran. 2, 3- Assistant Professor and Associate Professor, Department of Environmental Planning and Management, School of Environment, University of Tehran, Iran. 4- Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: khani.mehdi@ut.ac.ir)

Received: 13-03-2023

Revised: 08-07-2023

Accepted: 12-08-2023

Available Online: 21-12-2023

مدل سازی برای وزن دهی موثرترین معیارهای ارزیابی شده دانش بومی با استفاده از روش BWM در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب استان یزد

مهدی خانی^{۱*}، حسن هویدی^۲، احمدرضایاوری^۳، محمدرضاخانی^۴

۱- دانش آموخته دکتری برنامه ریزی محیط زیست، دانشگاه تهران، پردیس البرز، کرج، ایران. ۲ و ۳- به ترتیب استادیار و دانشیار گروه برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۴- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران پزشکی، تهران، ایران.

* (نویسنده مسئول، E-Mail: khani.mehdi@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

Abstract

Proper management and planning of water resources in their operation, distribution, and revitalization play an important role in sustainable development. This issue is of much higher importance in countries located in the arid and semi-arid regions of the world, such as Iran. Because it is inevitable to return and use indigenous technologies and knowledge and update them alongside modern technologies to achieve sustainable development, this research utilizes an extensive study of literature from internal and external sources and exploratory factor analysis to identify and assess the most important criteria or applicable factors of indigenous knowledge relevant to water resources planning and management in Yazd Province. Due to the high importance of the issue, attempts were made to use experienced and relevant faculty members from certain universities, as well as experts and specialists from all relevant organizations in Yazd Province. The results showed that six criteria—protection and stability, integrated management, holistic (comprehensive) approach, cost-effectiveness, compatibility, and dynamism—are found to be more important than others for the area. In the second step of this research, by means of BWM and creating a linear programming model, six principal factors were weighted, and their optimal weights were obtained. The integrated management criterion has the highest weight (0.413), and the holistic approach criterion has the lowest weight (0.048). Moreover, the protection and stability criteria and the cost-effectiveness criteria jointly rank second with a weight of 0.168, and the criteria of compatibility (0.119) and dynamism (0.084), respectively, rank third and fourth.

Keywords: Water Resources, Arid and Semi-Arid Regions, Management and Planning, Indigenous Knowledge, Best Worst Method (BWM).

چکیده

مدیریت و برنامه ریزی صحیح در بهره برداری، توزیع و احیای منابع آب نقش به سزایی در توسعه پایدار دارد. این موضوع در کشورهایی که در کمربند خشک و نیمه خشک جهان قرار دارند مانند ایران اهمیت بسیار بالاتری دارد. از آنجایی که بازگشت و استفاده از فناوری‌ها و دانش‌های بومی و به روزآوری آنها در کنار فناوری‌های مدرن برای دستیابی به توسعه پایدار امری اجتناب ناپذیر است، این تحقیق با استفاده از مطالعه گسترده ادبیات منابع داخلی و خارجی و تحلیل عاملی اکتشافی مهمترین معیارها یا عوامل کاربردی دانش بومی مرتبط با برنامه ریزی و مدیریت منابع آب در استان یزد را شناسایی و ارزیابی می نماید. باتوجه به اهمیت موضوع، سعی شد از تخصص و تجربه اعضای هیات علمی مجرب و مرتبط از برخی دانشگاه‌ها و همچنین کارشناسان و متخصصان کلیه سازمان‌های ذی ربط در استان یزد استفاده شود. نتایج به دست آمده نشان داد شش عامل یا معیار مدیریت، محافظت و پایداری، مقرون به صرفه بودن، سازگاری، پویایی، کلنگری مهمتر از سایر عوامل مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه بوده اند. در مرحله دوم این پژوهش با استفاده از روش BWM و ایجاد مدل برنامه ریزی خطی، شش عامل اصلی وزن دهی و وزن بهینه آنها به دست آمد که در نتیجه معیار مدیریت بیشترین وزن (۰/۴۱۳) و معیار کلنگری کمترین وزن (۰/۰۴۸) را داشتند. همچنین معیارهای محافظت و پایداری و مقرون به صرفه بودن به طور مشترک با وزن ۰/۱۶۸ در رتبه دوم و معیارهای سازگاری (۰/۱۱۹) و پویایی (۰/۰۸۴) به ترتیب در رتبه های سوم و چهارم قرار گرفتند.

واژه های کلیدی: منابع آب، مناطق خشک و نیمه خشک، مدیریت و برنامه ریزی، دانش بومی، روش بهترین-بدترین.

آب شیرین از محوری‌ترین ارکان توسعه در جهان به شمار آمده و عاملی کلیدی در توسعه اجتماعی و اقتصادی است و برای استفاده پایدار به سیاست‌های مناسب نیاز دارد. سلامت عمومی، محیط‌زیست، کشاورزی، صنعت، انرژی و حمل‌ونقل جنبه‌هایی از سیاست عمومی هستند که به طور معمول نمی‌توانند بدون در نظر گرفتن دسترسی و یا کمبود آب طرح‌ریزی شوند (Akhmouch و Correia, ۲۰۱۶). ایران، جز مناطق خشک و نیمه خشک کره زمین محسوب می‌شود و با وجود اینکه بیش از هشتاد درصد وسعت و جغرافیای این کشور را این مناطق تشکیل می‌دهند و با وجود آشکار شدن شواهد متعدد هیدرولوژیکی در عینیت و شنیده شدن واژه بحران آب و کم آبی بارها از زبان مدیران و مردم کشور، اما مساله آب و کمبود آن به فهرست دغدغه‌های زندگی و حیطه فکری مردم و مسئولین کشورمان وارد نشده، توهم فراوانی آب و در دسترس بودن همیشگی آن و عدم اهمیت به ابعاد اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی انگاره غالب ذهنیت آنها است (عالی، ۱۳۹۸). ما با وجود داشتن یک سوم میانگین بارش جهانی مصرف سرانه‌ای بالاتر از میانگین جهانی داریم. این رفتار وضعیت آب را در کشورمان هر سال وخیم تر از سال گذشته کرد تا این که به وضعیت بحران در آب رسیدیم. همواره باید به یاد داشته باشیم که ایران در کمربند خشک کره زمین قرار دارد و هر گونه اقدام نسنجیده و نابخردانه در ارتباط با آب و خاک این سرزمین به فاجعه غیر قابل بازگشت منتهی می‌شود. اکنون ما در هر دو مورد با بحران مواجه هستیم. بحران معنای ساده دارد اما نتیجه این بحران بسیار گرنده و تلخ است (یاوری و طیب زاده، ۱۳۹۶). هر چند از سالیان دور در این کشور، خشکسالی پدیده‌ای بارز بوده و به صورت دوره‌ای تکرار می‌شد، با این وجود در زمان‌های نه چندان دور، شهرها و روستاهای بسیاری وجود داشته و دارند که اهالی خوش ذوق و با دانش آن با وجود تجربه و فناوری‌های بومی متناسب با منطقه خود و شرایط سخت محیطی و کم آبی نه تنها قدمتی طولانی دارند بلکه در بسیاری از موارد در تولید محصولات کشاورزی مورد نیاز خود نیز خودکفا بوده‌اند. نمونه بارز این مناطق استان یزد و شهرها و روستاهای آن می‌باشند که مردم سخت‌کوش و خوش فکر آن توانسته‌اند با بهره‌گیری از فناوری‌های بومی مانند قنات، آب انبار، زورنا^۱ و ... (که بعضی از آن‌ها چند هزار سال قدمت دارند)، مهندسی، مدیریت و توزیع منابع آب خود را به شایسته‌ترین شکل ممکن انجام دهند.

برای فناوری‌های که از گذشتگان برای ما به یادگار مانده است اسامی متعددی به کار رفته که از متداول‌ترین آنها می‌توان به دانش بومی^۲ و دانش بومی محلی^۳ اشاره کرد. دانش بومی که به طور شفاهی و گفتاری از نسلی به نسل دیگر منتقل شده است، شامل

داستان‌ها، آوازها، فرهنگ و عقاید عامه مردم، ارزش‌های فرهنگی، اعتقادات، آداب و رسوم، قوانین محلی، زبان و گویش‌های محلی می‌باشد (UNDP, ۲۰۱۸). بر اساس تعریف Dayot و Verlinden (۲۰۰۵)، دانش بومی، دانشی تماماً محلی است که مردمان بومی آن را از تجربیات و مشاهدات خود در تعامل با محیط ایجاد کرده‌اند. بر اساس نظر Berkes (۲۰۱۲)، دانش بومی که باورها، ارزش‌ها، روش‌ها، ابزار و آگاهی‌های علمی را در بر می‌گیرد، بخشی از سرمایه ملی هر قوم است. این دانش از روش آزمون و خطا و ارزش‌هایی که به الگوهای استفاده از زمین مربوط بوده، به دست آمده و در طول زمان از سوی کشاورزان و مردم روستایی همواره استفاده می‌شود. نظام‌های دانش بومی، کل‌نگر، جمع‌شونده، پویا و باز به شمار می‌روند و بر اساس تجربه محلی نسل‌های اولیه شکل گرفته، پیوسته با تغییرات فنی و اقتصادی - اجتماعی سازگار می‌شوند (Toledo, ۲۰۰۲). دانش بومی و محلی به عنوان مجموعه‌ای از دانش، عمل و اعتقاد تعریف می‌شود که در مورد رابطه موجودات زنده (از جمله انسانها) با یکدیگر و با محیط پیرامون آن‌ها با فرآیندهای انطباقی تکامل یافته و از طریق نسل‌های مختلف در قالب فرهنگ انتقال می‌یابد (Berkes, ۲۰۱۸). در تعریفی دیگر، دانش بومی نشان‌دهنده اندیشه، تجربه و عمل قدیمی است که باید مورد احترام باشد و به عنوان منبعی از معرفت محیطی حفظ شود (McGregor, ۲۰۰۴). دانش مردم بومی می‌تواند بینش مهمی در روند مشاهده، سازگاری و کاهش پیامدهای تغییرات آب‌وهوایی ارائه دهد. همچنین در پژوهشی دیگر مشخص شد درگیرکردن مردمان بومی و جوامع محلی برای توسعه و اجرای سیستم‌های مدیریت مؤثرتر محیط‌زیستی برای زیست‌بوم‌ها و تنوع زیستی ضروری است (Brondizio و Tourneau, ۲۰۱۶). از تعاریف متعدد موجود دو نکته مهم آشکار می‌شود: نخست آنکه دانش بومی در طول زمان انباشته شده و دیگر آنکه از ارتباط مردم با محیطشان توسعه و پیشرفت یافته است (Appiee, ۲۰۰۷). امروزه، دانش بومی را دانشی می‌شناسند که بر موضوع توسعه پایدار و برابری تاکید دارد، چراکه مدیریت آن با کاربران بوده و کل‌نگر است (Appleton و همکاران، ۱۹۹۵). این دانش با پارادایم محیطی جدید (توسعه پایدار) سازگاری دارد. اهمیت دانش بومی به این دلیل است که به مردم کمک می‌کند تا کشف کنند به طور پایدار، با الگوهای در حال تغییر چرخه‌های آب و هوا و فصل سازگار شوند (Barnhardt و Kawagley, ۲۰۰۵). دانش بومی یکی از انواع دانش با صرغه اقتصادی، پایدار و با حداقل ریسک برای کشاورزان و تولیدکنندگان روستایی است که راهی مناسب برای حفاظت از منابع طبیعی به شمار می‌آید (Makhura, ۲۰۰۴). این دانش ظرفیت عظیمی برای کمک به کشاورزی پایدار دارد، اما به ندرت در توسعه کشاورزی گنجانده می‌شود. موانع زیادی وجود دارد که ممکن است در قرار نگرفتن دانش بومی در برنامه‌های ترویجی نقش داشته باشد،

از جمله آنها می‌توان به ارزش درک شده از دانش بومی، پروتکل‌های دانش، محدودیت‌های فرهنگی، دسترسی به دانش بومی و بیان نادرست دانش بومی اشاره کرد (Radcliffe و همکاران، ۲۰۲۰). شاید یکی از دلایل اصلی بی‌توجهی به دانش بومی در کشورهای استعمار شده این است که افرادی که دانش بومی دارند را به عنوان افرادی خرافی و واپس‌گرا یاد می‌کنند. در دهه‌های اخیر آزادی کشورها از قید نظام‌های استعماری کشاورزی و ترویجی، لزوم توجه به این دانش توسط سیاست‌مداران، برنامه‌ریزان و دانشمندان این کشورها را افزایش داده است (ابراهیمی و سلیمی کوچی، ۱۳۹۶). در بین منابع پایه، منابع آب که نه تنها حیات نوع بشر بلکه بقا تمام فعالیت‌های توسعه‌ای به آن وابسته است، به شدت در معرض تهدید و تخریب قرار گرفته و نیازمند توجه اساسی است. زیرا آب نقش بی‌همانندی در تکوین و توسعه سکونتگاه‌های انسانی داشته است، تا آن حد که آب را محور و محرک توسعه دانسته‌اند (سلطانی و علیزاده، ۱۳۹۶). البته این در شرایطی است که بیش از ۱ میلیارد نفر به آب آشامیدنی سالم و بیش از دو برابر این تعداد به بهداشت عمومی دسترسی ندارند و انتظار می‌رود تقاضا برای آب تا سال ۲۰۵۰ به میزان سه برابر افزایش یابد (WWDR، ۲۰۱۸). به نقل از طالبی و کفاش، (۱۳۹۷). از آنجایی که مدیریت سنتی منابع آب توسط ساختارهای اجتماعی، بخشی از مدیریت یکپارچه منابع آب به‌شمار می‌رود، توجه به این ساختارها اهمیت بالایی دارد. ساختارهای اجتماعی منابع آب، یکی از ابعاد دانش بومی در جوامع روستایی ایران محسوب می‌شود؛ که با مشارکت یکدیگر، ابتکاراتی جهت مدیریت منابع آب انجام داده‌اند؛ بنابراین ضرورت دارد به تحلیل ابتکارات بومی سازگار با کم‌آبی، به عنوان بخش از دانش بومی توجه ویژه شود (آذرینوند و همکاران، ۱۳۹۵). پژوهش دیگری نشان می‌دهد، «دانش بومی» علاوه بر ایجاد پایداری در مدیریت، برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب، حلقه گمشده توسعه پایدار روستا است که اگر با «دانش نوین» به کار گرفته شود، ضمن توانمندسازی جوامع روستایی، زمینه مشارکت و شراکت آنها را در فرایند توسعه فراهم می‌کند (کفاش و همکاران، ۱۳۹۸). ناکارآمدی مدیریت منابع آب، به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک، موجب پدیداری گرایش‌های نوین مبتنی بر ارزش‌گذاری نظام‌مندی‌های اکولوژیک در برابر منافع اقتصادی، رویکردهای غیرسازهای به جای سازه‌ای، مدیریت تقاضا محور به جای عرضه محور و در نهایت برنامه‌ریزی مدیریت توسعه متوازن ناحیه‌ای، به جای توسعه بخشی محور آب، شده است (طالبی و کفاش، ۱۳۹۷). در پژوهشی که باهدف شناخت و ارزیابی چالش‌های حکمروایی و مدیریت یکپارچه منابع آب به روش تحلیلی- توصیفی در استان بوشهر انجام گرفت، دو چالش "تفرق سازمان‌های تصمیم‌گیر در مدیریت منابع آب" و "تاکید بر سیاست‌های عرضه محور آب" به عنوان مهمترین چالش‌ها شناخته شدند (محمدی ده‌چشمه و گنخکی، ۱۴۰۱).

ریشه چالش‌های آب استان یزد را می‌توان به ترتیب اولویت شامل عدم وجود مدیریت هماهنگ در زمینه تولید، انتقال، ذخیره و مصرف آب در استان، تغییر کاربری‌های فراوان پیرامون ارتفاعات شیرکوه استان یزد به عنوان رگه حیاتی تامین آب استان، نگاه بخشی به مقوله آب به دلیل نظام بودجه‌ای و ساختاری دانست. همچنین چالش‌های عمده نگاه بخشی به مقوله آب در استان یزد به طور کلی عبارت است از: عدم توجه عملیاتی و اجرایی به آمایش کمی و کیفی آبی در استان یزد، استقرار روش‌های مصرف نامناسب در شرب و کشاورزی، استقرار صنایع بر حسب نیاز به کمیت و کیفیت آب (زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۹۷). با این توضیحات و شرایط بحرانی فعلی حاکم بر منابع آب ایران می‌توان گفت که باوجود عواملی چون خشکسالی، افزایش جمعیت و، از یک طرف بخش عمده‌ای از فن‌آوری‌های روز که عمدتاً برای شرایط اقلیمی غرب طراحی شده و بدون بومی‌سازی و انجام تحقیقات پایه‌ای لازم در ایران مورد استفاده قرار گرفته، کارآمد نبوده و از طرف دیگر استفاده از دانش بومی ارزشمند و پایدار کشور تا حد زیادی به دست فراموشی سپرده شده است.

برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب دو راهکار اصلی یعنی اول استفاده از دانش بومی و دوم استفاده از فناوری مدرن در پیش روی ما است، بنابراین کلیه راهبردها و استراتژی‌های ملی و منطقه‌ای در این حوزه باید بر اساس این دو راهکار و به صورت توأمان شکل گیرد و اولین گام برای تعیین راهبرد یا استراتژی‌های کوتاه، میان و بلندمدت، شناسایی مهمترین معیارها و شاخص‌های تأثیرگذار این دو راهکار می‌باشد. شاخص‌ها یا معیارها می‌توانند به عنوان یکی از مهمترین ابزارها و روش‌های سنجش و ارزیابی تلقی شوند، از طرفی این امکان وجود دارد که کاربرد این شاخص‌ها برای مکان‌های مختلف مناسب نبوده و فرآیند ارزیابی را با مشکل روبه‌رو سازد؛ بنابراین، موضوعی که باید به آن توجه شود، مستند و بومی‌سازی این شاخص‌ها است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۶). در فرآیند ارزیابی حکمرانی خوب آب، باید هر نوع قضاوت و ارزیابی، مبتنی بر شاخص‌ها و معیارهای معین باشد. بومی‌سازی شاخص‌ها در هر جامعه‌ای رسیدن به پایداری در حوزه مورد نظر را تسریع خواهد نمود (قوچانیان و فشائی، ۱۴۰۱). به طور کلی در هر مطالعه‌ای در ارتباط با تدوین و اعتبارسنجی شاخص‌ها یا معیارها، باید به اصول و ویژگی‌های کلی در زمینه تعیین شاخص‌ها و شناسایی عوامل و معیارهای کلیدی توجه شود. به طوری که شاخص‌ها یا معیارها به تغییرات زمانی و تغییرات فضایی حساس باشند، قابلیت پیش‌گویانه یا در حال انتظار بودن را داشته باشد، مقیاس‌های نسبی از شرایط بر اساس مقادیر مرجع یا آستانه را که از پیش تعیین شده‌اند، فراهم آورند و برای اجرا عملی بوده و اعتبار و ارتباط مفهومی داشته باشند (Miller، ۲۰۰۱؛ Blancas و همکاران، ۲۰۱۰). برای انجام این کار اولین قدم شناسایی معیارها و مولفه‌های موثر بر

دانش بومی و فناوری‌های نوین در حوزه آب می‌باشد که باتوجه به کاستی موجود، این پژوهش به تدوین، ارزیابی و وزن‌دهی مهمترین معیارهای دانش بومی پرداخته است و می‌تواند یکی از مهمترین لوازم تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی را به‌عنوان اطلاعات زیربنایی و ابزاری کارساز در تصمیم‌سازی و آینده‌پژوهی منابع آب منطقه مورد مطالعه یعنی استان یزد (و همچنین با تحقیقات تکمیلی برای مناطق مشابه)، در اختیار مدیران ارشد اجرایی و سیاسی و تصمیم گیران آن قرار دهد.

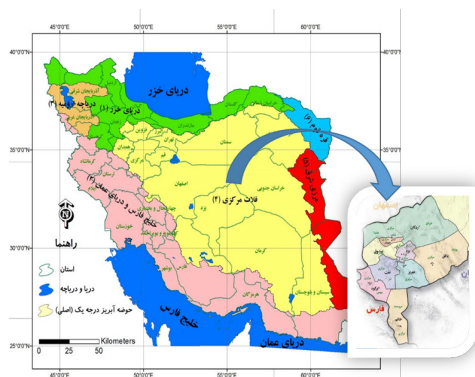
مشخصات منطقه مورد پژوهش

وجود حرکت همگرای هوا در استوا موجب شرایط کم فشار شده و امکان بارش پدیدار می‌شود. براین اساس در عرض‌های جغرافیایی تا ۳۰ درجه شمال و تا ۳۰ درجه جنوب از خط استوا شرایط پرفشاری غالب است که با صعود هوا شرایط خشکی را غالب می‌نماید. این نوار در دو طرف خط استوا بین مدار ۳۰ درجه شمال و جنوب به کمربند بیابانی جهان موسوم است. فلات ایران روی همین کمربند واقع است. جبهه‌های اقلیمی تاثیرگذار بر ایران شامل اثرات آب‌وهوای موسمی از جنوب شرق، مدیترانه‌ای از غرب، سیبری از شمال و خشک از عربستان است.

خشکی آب‌وهوای فلات ایران علاوه بر اثر غالب شرایط خشک استپ‌های مرکزی آسیا، به علت وسعت زیاد فلات ایران نیز می‌باشد. ارتفاعات حاشیه‌ای در مقابل جبهه‌های هوای مرطوب و سنگین که از طرف غرب به ایران می‌رسند مثل سدی عمل می‌کنند. ابرهای سنگین و مرطوب که به ارتفاعات برخورد می‌کنند با صعود خود سردتر شده و بار رطوبت خود را در ارتفاعات بالا تخلیه می‌کنند. لذا حضور ارتفاعات به این ترتیب موجب تخلیه رطوبت ابرها و سپس ایجاد جریانات سطحی آب شده و این جریان‌ها هر چند برای مدتی محدود، آب برف ذوب شده را تا دل کویر منتقل می‌کنند (این نمادی بارز و متفاوت برای ایران نسبت به دیگر نواحی خشک و بیابانی و کویرهای جهان است). علاوه بر آن حضور همین کوهستان‌های پیرامونی، گردش عمومی جو را به‌صورتی متاثر می‌کنند که اجازه نمی‌دهد تمامی ایران تحت پوشش آب و هوای بسیار گرم و خشک مناطق فراخشک قرار گیرد. در شرایط غیر از آن و در نبود رشته کوه‌های زاگرس و البرز، مناطق قلمروهای مورفوکلیماتیک خشک و بیابانی جنوب (عربستان) و شمال (آسیای میانه) با هم متصل و شرایط کویر مانند، روی سراسر فلات ایران گسترده و یکپارچه می‌شد (یاوری و طیب زاده، ۱۳۹۶).

بر اساس محل استقرار این رشته کوه‌ها، حوضه‌های آبریز متعددی در ایران شکل گرفته است. حوضه‌های آبریز ایران به ۶ حوضه اصلی یا درجه یک و ۳۰ حوضه درجه ۲ تقسیم شده است. حوضه‌های آبریز اصلی ایران به شرح زیر می‌باشند: ۱- دریای خزر ۲- خلیج فارس

و دریای عمان ۳- دریاچه ارومیه ۴- فلات مرکزی ۵- مرزی شرق ۶- قره قروم (سرخس). طبق شکل ۱، استان یزد در حوضه آبریز "فلات مرکزی" (که بزرگترین حوضه آبریز ایران هم هست)، قرار دارد و شهرها و روستاهای واقع در این حوضه شرایط کم و بیش یکسانی از نظر میزان بارندگی و منابع آب دارند.



شکل ۱- تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز اصلی یا درجه یک ایران (شرکت مدیریت منابع ایران، <http://www.wrm.ir>)

استان یزد در مرکز ایران بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی از نصف النهار مبدأ قرار گرفته است. مساحت استان ۷۴۶۵۰ کیلومتر مربع و ۴/۵ درصد از مساحت کشور و در بین استان‌ها رتبه هشتم را دارد. استان یزد در قلمرو سلسله جبال مرکزی ایران واقع شده و ناهمواری‌های آن عمدتاً به پنج گروه کوه‌ها و تپه‌های پای کوه، دشت‌ها و جلگه‌ها، بیابان‌ها، مناطق شور و کویرها و تپه‌های ماسه‌ای تقسیم می‌شوند. در سطح استان یزد، دو رشته کوه متمایز از هم وجود دارد. یکی بخشی از کوه‌هایی است که در جهت شمال غربی-جنوب شرقی از مرکز ایران عبور می‌کنند و به کوه‌های مرکزی ایران معروف هستند و دومی شامل رشته کوه‌هایی است که در مناطق مرکزی، شمالی و شرقی استان قرار دارند. رشته کوه شیرکوه، مانند دیواری، قسمت‌های مرکزی استان یزد را از بخش غربی استان (چاله ابرقو) جدا می‌کند. مقدار متوسط بارندگی سالانه در قسمت‌های مختلف استان متغیر و با ارتفاع افزایش می‌یابد ولی میزان تغییر یکسان نمی‌باشد. بر اساس نقشه‌های همباران سالانه، بارندگی استان یزد در مناطق کویری مانند کویر سیاه کوه، ریگ زرین و دره انجیر از ۵۰ میلی‌متر در سال کمتر و خط هم‌باران ۱۰۰ میلی‌متر کوهپایه‌های استان را به طور متوسط در ارتفاعات ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متری محصور می‌سازد. بارندگی سالانه استان در بلندی‌های شیرکوه به ۳۵۰ میلی‌متر در سال و در منطقه بوانات و باجگان به ۳۰۰ میلی‌متر و در کوه‌های انجیره و خرناق به ۲۰۰ الی ۲۵۰ میلی‌متر می‌رسد ولی وسعت مناطقی که این ارقام را دریافت می‌کنند بسیار محدود می‌باشد (خانی و همکاران، ۱۴۰۰). با این اوصاف این پژوهش قصد دارد علاوه بر توجه به ریشه‌یابی

دقیق علت‌های وضعیت موجود منابع آب در منطقه مورد مطالعه (استان یزد به‌عنوان نماد مناطق خشک و نیمه خشک ایران)، از دیدگاه برنامه‌ریزی، کاستی‌های موجود را بررسی و با استفاده از روش‌های علمی مناسب، متغیرها و معیارهای مختلف را در هر دو حوزه فناوری نوین و دانش بومی بررسی و نهایتاً مهمترین معیارها را مشخص نماید که در آن از ظرفیت‌های دانش‌های بومی و نوین استفاده حداکثری شده باشد.

داده‌ها و روش‌ها

پژوهش حاضر در دسته مطالعات توصیفی-تحلیلی قرار دارد. باتوجه‌به اینکه یکی از اهداف اصلی این پژوهش انتخاب بهترین متغیرها و پس از آن استخراج مهمترین عوامل با استفاده از تحلیل عامل اکتشافی و تجزیه به مولفه‌های اصلی می‌باشد، بنابراین در مرحله اول بر اساس مرور منابع متعدد داخلی و خارجی انتخاب متغیرها صورت گرفت و پس از آن نتیجه به‌دست آمده به روش دلفی در چند مرحله توسط متخصصان و صاحب‌نظران، بررسی و پایش شد و در نهایت متغیرهای اصلی انتخاب شد که خلاصه آن در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- مهمترین متغیرهای موثر دانش بومی بر مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب مناطق خشک و نیمه خشک ایران براساس نظر متخصصان و صاحب‌نظران و مرور منابع داخلی و خارجی (خانی و همکاران، ۱۴۰۰)

متغیرها
مدیریت مشارکتی مبتنی بر جامعه محلی، ساختار درست در نظام احداث و بهره‌برداری، قانون‌مندی تقاضا و عرضه آب، رعایت حق‌آبه از پهنه کوه تا کویر، همیاری و تعاون، تجربی بودن، بهبود در طول زمان، امکان انتقال به نواحی مجاور و مشابه، خلاقیت علمی و عملی، توجه به شرایط اقتصادی، توجه به مسائل محیط زیستی، توجه به ارزش‌های اجتماعی- فرهنگی و اعتقادی، پیچیدگی و چندبعدی بودن، سازگاری با خشکسالی، سیل و اقلیم، توجه به نسل‌های آتی، بهره‌برداری پایدار، ایجاد حداقل آلودگی‌های محیط‌زیستی، استفاده از مصالح محلی و بوم‌آورد، استفاده از نیروهای بومی، در دسترس و ارزان بودن، حفظ تنوع زیستی، حفظ منابع آبی، حفظ حیات‌وحش، حفظ پوشش گیاهی

در مرحله بعد با استفاده از از متغیرهای مندرج در جدول (۱)، پرسشنامه‌ای با ۲۵ سوال با طیف لیکرت ۵ سطحی تنظیم، پایش و توسط متخصصان و کارشناسان ذی‌ربط پاسخ داده شد. تحلیل عاملی را می‌توان به دو گروه تحلیل عاملی اکتشافی (EFA)^۴ و تحلیل عاملی تاییدی (CFA)^۵ تقسیم کرد (حبیبی و عدن‌فر، ۱۳۹۶). جهت پی بردن به متغیرهای زیربنایی و شناسایی عوامل اساسی یا معیارها به منظور تبیین الگوی همبستگی بین متغیرهای مشاهده شده از روش تحلیل عاملی اکتشافی و برای تجزیه و تحلیل

داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد چون در نرم‌افزار SPSS (و چند نرم‌افزار دیگر) روش تجزیه مولفه‌های اصلی به عنوان روش منتخب برای شروع EFA معرفی شده است (Fidell و Tabachnick، ۲۰۱۲). برای سنجش سازگاری درونی یا به عبارت دیگر برای نشان دادن پایایی پرسشنامه، از آلفای کرونباخ استفاده شد و مشخص شد این ۲۵ پرسش یا گویه دارای سازگاری درونی عالی هستند و قابلیت اندازه‌گیری یک متغیر پنهان را دارند. برای بررسی کفایت مدل نیز از شاخص KMO^۶ و آزمون بارتلت^۷ استفاده شد (فرشچی، ۱۳۹۹) و با استفاده از شاخص KMO کیفیت مدل تایید شد. همچنین معنی‌داری آزمون بارتلت (کمتر از ۰/۰۱ بودن Sig) نشان داد که تحلیل عاملی برای شناسایی ساختار (مدل عاملی) کاملاً مناسب است. به‌طورکلی اگر نتیجه آزمون بارتلت در سطح ۹۵ درصد به بالا معنی‌دار باشد و مقدار عددی KMO هم از ۰/۶ بیشتر شده باشد داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی مناسب هستند (Howard، ۲۰۱۶).

پس از پیدا کردن مقادیر اشتراکات^۸ متغیرها و ماتریس همبستگی بین متغیرها، عامل‌های موثر و شناخت سهم هر عامل در تبیین مجموع واریانس تمامی متغیرها استخراج شد. ماتریس چرخش نیافته یا ماتریس مولفه، ماتریس مولفه‌های تحلیل عاملی قبل از چرخش است و همبستگی‌های بین متغیرها و عامل‌های استخراج شده را نشان می‌دهد. باتوجه‌به این که این ماتریس برای شناسایی عامل‌ها الگوی مشخصی را به ما نشان می‌دهد، بنابراین برای دستیابی به الگوی واضح‌تر از ماتریس چرخش نیافته استفاده می‌شود. به دلیل دشواری تفسیر نتایج در روش چرخش مورب^۹ و راحت‌تر بودن آن در روش چرخش متعامد^{۱۰}، اکثر محققان از چرخش متعامد استفاده می‌کنند (Robert و Henson، ۲۰۰۶). چرخش متعامد با سه روش واریماکس^{۱۱}، کواریتیماکس^{۱۲} و اکویماکس^{۱۳} انجام می‌شود که روش واریماکس به عنوان روش منتخب بسیاری از نرم افزارها از جمله SPSS است (زبردست، ۱۳۹۶). از آنجایی که از چرخش متعامد زمانی استفاده می‌شود که عامل‌های شناسایی شده غیرهمبسته بوده و میزان همبستگی بین آنها برابر صفر باشد، بنابراین از آزمون همبستگی پیرسون^{۱۴} برای تعیین غیرهمبسته بودن عامل‌ها استفاده شد. نتایج آزمون همبستگی نشان داد ضریب همبستگی همه عامل‌ها صفر است یعنی غیرهمبسته می‌باشند، بنابراین برای چرخش عامل‌ها می‌توان از روش‌های متعامد مانند روش چرخش واریماکس استفاده کرد.

جدول (۲) ماتریس چرخش یافته را برای عامل‌ها یا معیارهای موثر دانش بومی بر "مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب منطقه مورد مطالعه (یزد)" نشان می‌دهد. در ستون این جدول عامل‌ها و در سطرها آن متغیرها یا پرسش‌ها قرار گرفته‌اند. هرچه مقدار قدرمطلق این ضرایب بیشتر باشد عامل مربوط به آن نقش بیشتری در کل تغییرات (واریانس) متغیر مورد نظر دارد. نتایج نشان می‌دهد ۲۵ متغیر یا پرسش در ۶ عامل کلی‌تر خلاصه شده‌اند و همچنین بار عاملی هر متغیر در زیر عامل مربوط به آن نشان داده شده است.

جدول ۲- ماتریس عامل‌های چرخش یافته و بار عاملی آنها (خانی و همکاران، ۱۴۰۰)

متغیرها	عامل‌های چرخش یافته					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
متغیر ۲۲	۰/۸۴۸					
متغیر ۲۴	۰/۷۹۹					
متغیر ۲۵	۰/۰۷۹					
متغیر ۲۳	۰/۵۹۹					
متغیر ۱۸	۰/۵۸۷					
متغیر ۱۵	۰/۵۶۶					
متغیر ۹	۰/۵۵۱					
متغیر ۱۲	۰/۴۶۵					
متغیر ۲		۰/۸۲۷				
متغیر ۴		۰/۷۳۷				
متغیر ۱		۰/۷۱۹				
متغیر ۵		۰/۶۷۱				
متغیر ۶		۰/۶۱۲				
متغیر ۱۶		۰/۵۷۳		۰/۵۳۶		
متغیر ۱۷		۰/۴۶۴				
متغیر ۱۳		۰/۷۶۸				
متغیر ۸		۰/۶۱۴				
متغیر ۱۹		۰/۶۰۳				
متغیر ۲۰		۰/۵۹۳				
متغیر ۲۱			۰/۸۰۹			
متغیر ۱۱			۰/۵۲۴			
متغیر ۱۴			۰/۷۱۹			
متغیر ۳			۰/۵۱۶			
متغیر ۷				۰/۷۷۷		
متغیر ۱۰				۰/۵۳۳		

در ماتریس عاملی چرخش یافته، باید بارهای عاملی^{۱۵} معنی‌دار انتخاب شود. متداولترین روش این است که متغیرهایی مورد توجه قرار گیرند که بار عاملی آنها برابر ۰/۴ و بیشتر باشد، هرچند برخی از منابع حداقل بار عاملی مورد نیاز برای یک متغیر را ۰/۳ می‌دانند ولی به‌طور کلی می‌توان بارهای عاملی را در ۳ دسته رتبه‌بندی کرد: بار عاملی ۰/۳: سطح معنی‌داری قابل قبول، بار عاملی ۰/۴: سطح معنی‌داری بیشتر قابل قبول، بار عاملی ۰/۵: سطح معنی‌داری بسیار قابل قبول (زارعی، ۱۳۹۹). در این پژوهش بار عاملی ۰/۵ استفاده شده است. در مورد جدول (۲) بعد از چرخش، برخی از متغیرها با بیش از یک عامل، بار عاملی بالای ۰/۵ دارند (تنها متغیر یا پرسش ۱۶ روی عامل‌های دوم و چهارم بار متقاطع دارد). این متغیرها ذیل عاملی در نظر گرفته

می‌شود که بیشترین مقدار عددی بار عاملی را با آن عامل دارند و ارتباط این متغیرها با سایر عوامل در نظر گرفته نمی‌شود.

روش بهترین - بدترین (BWM):^{۱۶} استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری، یکی از مباحث مورد استقبال پژوهشگران و دانشجویان رشته‌های مختلف است. صاحب‌نظران علوم تصمیم‌گیری تا به امروز تکنیک‌های بسیاری برای پاسخ به چنین مسائلی ارائه کرده‌اند. هر یک از این تکنیک‌ها، نقاط قوت و ضعف خود را دارد. در سال‌های اخیر، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^{۱۷} توسط بسیاری از محققان توسعه یافته و برای بسیاری از مسائل در دنیای واقعی اعمال شده است. MCDM را می‌توان در تصمیم‌گیری به دو دسته طبقه‌بندی کرد: اول تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM)^{۱۸} برای ارزیابی و دوم تصمیم‌گیری چندهدفه (MODM)^{۱۹} که برای طراحی می‌باشد. در MADM، گزینه‌های دیگر از پیش تعریف شده‌اند. باین‌حال، MODM با در نظر گرفتن محدودیت‌های مختلف بهترین گزینه را طراحی می‌کند. این روش‌ها در حال حاضر روش‌های نرمال و معمولی هستند که بیشترین استفاده را دارند. معمولاً انتخاب روش‌های دیگر با خطا و مشکل مواجه می‌شود و کاربران ترجیح می‌دهند روش‌های موجود را انتخاب کنند (امینی، ۱۳۹۹).

روش بهترین-بدترین (BWM) در سال ۲۰۱۵ توسط دکتر جعفر رضایی (Rezaei، ۲۰۱۵)، دانشیار دانشگاه دلفت^{۲۰} هلند، ارائه شد که ازجمله روش‌های جدید "تصمیم‌گیری چندشاخصه" (MADM) می‌باشد. اساس این روش بر پایه ماتریس مقایسات زوجی بنا شده و از این نظر شباهت‌هایی با روش AHP^{۲۱} دارد. باین‌حال، توسعه و ارائه این روش با هدف ارتقای فرآیند تصمیم‌گیری در مقایسه با سایر روش‌ها بوده است. یکی از نقاط مثبت روش بهترین-بدترین (BWM)، پایین بودن بار محاسباتی آن در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری است. ازاین‌رو، این روش می‌تواند به پژوهشگران در حل مسائل تصمیم‌گیری با تعدادی زیادی شاخص کمک کند. همچنین این تکنیک می‌تواند به‌عنوان یک روش وزن‌دهی و با ترکیب با روش‌های تصمیم‌گیری مبتنی بر ماتریس تصمیم، به کار گرفته شود. در این روش بهترین (بااهمیت‌ترین) و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) معیار یا شاخص توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود و مقایسه زوجی بین هر یک از این دو معیار یا شاخص (بهترین و بدترین) و دیگر شاخص‌ها صورت می‌گیرد؛ سپس یک مسئله حداکثر حداقل برای مشخص کردن وزن شاخص‌های مختلف فرموله و حل می‌شود؛ همچنین در این روش فرمولی برای محاسبه نرخ ناسازگاری به منظور بررسی اعتبار مقایسه‌ها در نظر گرفته شده است (Rezaei، ۲۰۱۵). در ابتدا این روش بر مبنای یک مدل غیرخطی بود ولی چون در مواقعی که تعداد معیارها بیشتر از ۳ باشد ممکن است مدل غیرخطی جواب چندگانه تولید کند، در سال بعد مدل خطی آن ارائه شد (Rezaei، ۲۰۱۶). مدل فازی این روش

در سال ۲۰۱۷ ارائه شد (Zhao و Guo، ۲۰۱۷). در این پژوهش جهت مدل برنامه‌ریزی خطی از نرم‌افزار لینگو^{۳۳} استفاده شد. از جمله ویژگی‌های برجسته این روش نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه عبارت است از:

- ۱- داده‌ها به مقایسه کمتری نیاز دارند: این روش جدید، نیاز به تعداد مقایسه‌های زوجی کمتری نسبت به سایر روش‌ها (AHP) دارد. تعداد مقایسه‌های زوجی در این روش از فرمول $2n-3$ به دست می‌آید که در آن n تعداد معیار یا شاخص‌هایی است که باید با هم مقایسه شود، می‌باشند.
- ۲- این روش به مقایسه‌های استوارتر منجر می‌شود؛ به این معنا که جواب‌های قابل اطمینان‌تری می‌دهد، یا به عبارت دیگر دستیابی به مقایسه‌های زوجی سازگارتر و نتایج با قابلیت اطمینان بالاتر از دیگر ویژگی‌های این روش تصمیم‌گیری است.

نتایج و بحث

در مرحله آخر تحلیل عامل اکتشافی، نام‌گذاری هر عامل باید با در نظر گرفتن معنای مشترک متغیرهایی باشد که در آن عامل، بار عاملی معنی‌دار دارند، یعنی این نام باید پوشش مفهومی مناسبی برای آن متغیرها فراهم آورد. لازم به ذکر است به‌طور طبیعی متغیرهایی که بار عاملی آنها بالاتر است در نام‌گذاری اهمیت بیشتری می‌یابند و بر نام یا عنوانی که برای نشان دادن مفهوم یک عامل انتخاب می‌شوند، تاثیر بیشتری دارند. یکی از بهترین شیوه‌های نام‌گذاری عوامل، جدا کردن متغیرهایی است که بار عاملی بالایی دارند (بالای $0/6$) و نام‌گذاری عامل بر مبنای ویژگی مشترکی که این متغیرها بیان می‌کنند، می‌باشد. به عبارت دیگر در نام‌گذاری عامل‌ها، متغیرهایی که بار عاملی پایینی دارند نقش چندانی در نام‌گذاری ندارند (Steiger، ۲۰۱۷). در جدول (۳) سعی شده باتوجه به متون نظری و تجربی در این زمینه و همچنین رعایت اصول و شیوه‌ی نام‌گذاری، عامل‌های استخراج شده به شرح ستون ۵ جدول نام‌گذاری شوند که این عوامل عبارتند از: محافظت و پایداری، مدیریت، کل‌نگری، مقرون‌به‌صرفه بودن، سازگاری، پویایی.

در اینجا به طور مختصر به توضیح عوامل (معیارها) و متغیرها (زیر معیارهای) استخراج شده در جدول (۳) پرداخته می‌شود:

۱) مدیریت: یکی از ارکان بسیار مهم مدیریت و برنامه‌ریزی پایدار منابع آب، حکمرانی خوب می‌باشد، بنابراین دانش بومی در زمان خود به خوبی توانسته است حکمرانی صحیح و مدیریت بهینه منابع آب را اجرایی کند. در این مناطق دانش بومی با استفاده از مدیریت مشارکتی مبتنی بر جامعه محلی و با حضور نهادهای حکومتی، بهره‌برداران، مالکان و سایر ذی‌نفعان در تصمیم‌گیری‌ها توانسته است ضمن رعایت حقابه مناطق بالادست تا پایین دست (یا به عبارتی پهنه کوه تا کویر)، با استفاده از اصل همیاری و تعاون،

ساختاری درست و اصولی را در نظام احداث و بهره‌برداری ایجاد کند و همچنین تقاضا و عرضه آب را به طرز صحیحی مدیریت نماید، به عبارتی نظام دقیق و عادلانه برداشت، توزیع، بهره‌برداری و مصرف در منابع آب و منطبق با شرایط آبی منطقه مربوط به آن را رعایت نماید. به عنوان مثال برای پر کردن آب‌انبارها و همچنین آبیاری مزارع و باغات شهر یزد در ماه‌های گرم سال، بین مالکان و ذی‌نفعان شهر یزد و مالکان قنات‌های روستاهای بیلاقی ارتفاعات شیرکوه (مثل سانج، ده بالا، طزرجان و ...) و در پاره‌ای موارد ناظران نهادهای حاکمیتی هماهنگی صورت می‌پذیرفت، به‌طوری‌که هر منطقه در یکی از روزهای هفته، آب چند قنات با دبی بالای خود را به سمت کانال‌های انتقال آب زیرزمینی به نام "زورنا" هدایت می‌کرد و این آب شبیه یک رودخانه، توسط این کانال در زیر زمین (برای به حداقل رساندن تبخیر) به شهر یزد منتقل می‌شد و برای پر کردن آب‌انبارها و همچنین آبیاری مزارع و باغات مورد استفاده قرار می‌گرفت.

حضور کوهستان‌های مرتفع در جوار اراضی پست و بیابانی مهمترین ویژگی نواحی خشک فلات ایران نسبت به دیگر مناطق خشک و نیمه خشک است. مزیت‌های آن با توجه و بهره‌برداری از ارتباطات بالادست-پایین‌دست در مقیاس مناسب (کلان در سطح حوزه‌های آبریز تا خرد در سطح دره‌ها و آبخیزهای کوچک) امکان توسعه و شکل‌گیری مراکز مهم اسکان و تجمع را در شرایط به ظاهر غیر ممکن میسر نموده است. توجه نکردن به این سیستم همبسته از عوامل مهم شکست و ناپایداری توسعه در شرایط شهری و روستایی ایران است و از جمله مهمترین علل بروز تخریب و ناپایداری محیط‌زیستی (از سیل تا فرسایش اراضی و کویرزایی) در ایران بوده است (یاوری و طیب‌زاده، ۱۳۹۶). مهمترین متغیرها و مولفه‌های این معیار عبارتند از: مدیریت مشارکتی مبتنی بر جامعه محلی، ساختار درست در نظام احداث و بهره‌برداری، قانونمندی و مدیریت صحیح تقاضا و عرضه آب، رعایت حقابه (از پهنه کوه تا کویر)، همیاری و تعاون.

۲) پویایی: پویایی یکی دیگر از معیارهای دانش بومی است. اصولا یکی از ارکان دانش بومی در همه زمینه‌ها به خصوص منابع آب، به‌دست آوردن باروش آزمون و خطا طی سالیان متمادی و ریشه داشتن آن در تجربه قرن‌های گذشته می‌باشد، لذا این دانش در طی زمان علاوه بر توسعه، بهبود نیز یافته است و چون تجربی بوده، این تجربه متناسب با محیط طبیعی مربوط به خودش می‌باشد و اغلب مكتوب نشده و به صورت شفاهی و سینه به سینه از نسلی به نسل دیگر منتقل شده است. از طرفی این قابلیت را دارد که به نواحی مجاور و مشابه انتقال یابد. توزیع سازه‌هایی چون قنات، آب‌انبار، بادگیر و غیره در اکثر مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و حتی بعضی از کشورهای همسایه، تایید کننده این مطلب است. مهمترین مولفه‌های این معیار عبارتند از: تجربی و شفاهی بودن، بهبود در طول زمان، امکان انتقال به نواحی مجاور و مشابه، خلاقیت علمی و عملی.

جدول ۳- عامل‌بندی و نام‌گذاری عامل‌ها (خانی و همکاران، ۱۴۰۰)

متغیرها	شرح متغیر	بار عاملی	تعداد متغیرها	نام عامل‌ها
پرسش ۲۲	حفظ تنوع زیستی	۰/۸۴۸	۸	محافظت
پرسش ۲۴	حفظ حیات وحش	۰/۷۹۹		و پایداری
پرسش ۲۵	حفظ پوشش گیاهی و مرتعی	۰/۷۹۰		
پرسش ۲۳	حفظ منابع آبی	۰/۵۹۹		
پرسش ۱۸	کاهش ایجاد آلودگی‌های مختلف محیط‌زیستی	۰/۵۸۷		
پرسش ۱۵	مقابله با سیل	۰/۵۶۶		
پرسش ۹	خلاقیت و نوآوری و همچنین علمی و عملی (کاربردی) بودن	۰/۵۵۱		
پرسش ۱۲	تاثیر پذیرفتن از ارزش‌های اجتماعی- فرهنگی و اعتقادی جامعه خود	۰/۴۶۵		
پرسش ۲	مدیریت صحیح و ساختاری اصولی در احداث سازه‌های آبی (مانند قنات، آب انبار و ...) و بهره‌برداری از آن	۰/۸۲۷	۷	مدیریت
پرسش ۴	رعایت حق‌آبه مناطق بالادست و پایین‌دست	۰/۷۳۷		
پرسش ۱	مدیریت مشارکتی بین قسمت‌های مختلف جامعه محلی	۰/۷۱۹		
پرسش ۵	همیاری و تعاون ذی‌نفعان و جامعه محلی	۰/۶۷۱		
پرسش ۶	تجربی بودن دانش بومی و ریشه داشتن آن در تجربه قرن‌های گذشته	۰/۶۱۲		
پرسش ۱۶	عدم تولید انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم	۰/۵۷۳		
پرسش ۱۷	توجه به نیاز آبی نسل‌های آینده در بهره‌برداری از منابع آب	۰/۴۶۴		
پرسش ۱۳	پیچیدگی و گستردگی	۰/۷۶۸	۴	کل‌نگری
پرسش ۸	انتقال به نواحی مجاور و مشابه و یا برعکس	۰/۶۱۴		
پرسش ۱۹	استفاده از مصالح محلی و بوم‌آورد در کاهش هزینه ایجاد و نگهداری سازه‌های منابع آبی	۰/۶۰۳		
پرسش ۲۰	استفاده از نیروهای محلی در مقرون‌به‌صرفه‌تر شدن و کاهش هزینه ایجاد و نگهداری سازه‌های منابع آبی	۰/۵۹۳		
پرسش ۲۱	مقرون‌به‌صرفه بودن	۰/۸۰۹	۲	مقرون‌به
پرسش ۱۱	رعایت ملاحظات محیط‌زیستی در محیط طبیعی	۰/۵۲۴		صرفه‌بودن
پرسش ۱۴	توانایی مقابله و سازگاری با خشکسالی	۰/۷۱۹	۲	سازگاری
پرسش ۳	قانون‌مندی و مدیریت صحیح در عرضه و تقاضا و توزیع آب	۰/۵۱۶		
پرسش ۷	بهبود تدریجی در طول زمان و توسعه یافتن	۰/۷۷۷	۲	پویایی
پرسش ۱۰	توجه به شرایط و عوامل اقتصادی جامعه محلی	۰/۵۳۳		

۳) کل‌نگری: از دیگر معیارهای دانش بومی آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، جامعیت و کل‌نگری است. این جامعیت باعث ایجاد زمینه مساعد برای توسعه متوازن به دلیل توجه به شرایط متنوع اقتصادی، محیط‌زیستی، فرهنگی-اجتماعی و اقلیمی منطقه گفته شده، می‌شود. لذا این دانش منطبق بر ارزش‌های فرهنگی، اعتقادات، رسوم و قوانین جامعه محلی خود می‌باشد و به دلیل ماهیت علمی و عملی این روش روند آن پایین به بالا بوده و همچون فناوری مدرن نگاه حاکمیتی بالا به پایین ندارد. این سطح از ابتکار بیانگر پیچیدگی و چندبعدی بودن دانش بومی است. مهمترین مولفه‌های این معیار عبارتند از: توجه به شرایط اقتصادی، توجه به شرایط محیط‌زیستی، توجه به شرایط اجتماعی- فرهنگی، مبتنی بودن بر ارزش‌های فرهنگی، اعتقادات، رسوم و قوانین محلی، پیچیدگی و چند بعدی بودن.

۴) سازگاری: یکی از خصوصیات دانش مردمان بومی، وجود نوآوری و خلاقیت متناسب با زمان و مکان خود بوده است. برای مثال با توجه به فراوان بودن روان‌آبهای سطحی و طغیان رودخانه‌ها در اثر بارندگیهای شدید، در امتداد روخانه‌های فصلی خود مسیلهایی را تعبیه کرده بودند که تا حد زیادی مانع از خسارت ناشی از سیل می‌شد. یکی از نمادهای سازگاری با کم‌آبی، خشکسالی و شرایط اقلیمی در مناطق کویری و حاشیه کویری، ذخیره‌سازی آب در ماه‌های پرباران در مقیاس کوچک و در سطح وسیع در سازه‌ای به نام "آب‌انبار" است. مهمترین مولفه‌های این معیار عبارتند از: خشکسالی، سیل، تغییر اقلیم.

۵) محافظت و پایداری: مردمان سرزمین‌های کویر و حاشیه کویر در استفاده از منابع طبیعی پیرامون خود به خصوص منابع آبی، چنان دقیق و منعطف عمل کرده‌اند که در مناطقی مانند استان

یزد، توانسته‌اند حتی فراتر از ظرفیت برد منطقه، بدون ایجاد هرگونه آسیب و آلودگی محیط‌زیستی از محیط طبیعی‌شان بهره‌برداری نمایند که این خود نماد پایداری بوده و همسو بودن فرهنگ برداشت، توزیع و مصرف آنها را با توسعه پایدار نمایان می‌سازد. مردمان قدیم به محیط طبیعی خود ارزش قائل بوده و احترام می‌گذاشتند بنابراین برای حیات وحش و پوشش گیاهی پیرامون خود هم حق حیات قائل بودند. با پدیدار شدن فناوری‌های مدرنی چون پمپ‌ها و به تبع آن چاه‌های عمیق و نیمه عمیق به تدریج منابع آب زیرزمینی رو به کاهش گذاشت و آب از دسترس درخت‌ها و گیاهان مرتعی خارج و باعث از بین رفتن تعداد قابل توجهی از آنها و ضعیف شدن پوشش مرتعی شد. از طرف دیگر استفاده گسترده از لوله‌های پلی‌اتیلنی در دهه‌ها و مزارع واقع در دامنه ارتفاعات باعث شد آب از دسترس حیات وحش خارج و به جای جاری شدن در دره‌ها، این آب تا قسمت‌های بالایی دره در این لوله‌ها جریان یابد. مولفه‌های این

معیار عبارتند از: توجه به نسل‌های آینده، بهره‌برداری پایدار، ایجاد حداقل آلودگی‌های محیط‌زیستی، حفظ تنوع زیستی، حفظ منابع آبی، حفظ حیات وحش، حفظ پوشش گیاهی.

(۶) مقرون به صرفه بودن: یکی از ویژگی‌های مهم دانش بومی در حوزه‌ی آب، حداقل وابستگی آن به مناطق پیرامونی خود می‌باشد. چون این دانش برای ساخت سازه‌های خود تاحدممکن از نیروها و مصالح بومی بهره می‌جسته و به دلیل در دسترس و ارزان بودن آن از لحاظ اقتصادی بسیار مقرون‌به‌صرفه بوده است. این موضوع باتوجه‌به شرایط فعلی ارزشهای خارجی نسبت به ریال و ارزبری بسیار زیاد فناوری‌های مهم کاملاً قابل تامل است. مولفه‌های این معیار عبارتند از: استفاده از مصالح محلی و بوم‌آورد، استفاده از نیروهای بومی، در دسترس و ارزان بودن.

به‌طورکلی می‌توان معیارها و زیرمعیارهای (متغیرهای) موثر دانش بومی را در جدول (۴) خلاصه کرد.

جدول ۴- معیارها و متغیرهای موثر دانش بومی بر مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب مناطق خشک و نیمه خشک ایران (یزد)

ردیف	معیار (عامل‌ها)	زیرمعیار (متغیر)
۱	مدیریت	مدیریت مشارکتی مبتنی بر جامعه محلی
۲	پویایی	تجرب‌ی بودن بهبود در طول زمان
۳	کل‌نگری	توجه به شرایط اقتصادی
۴	سازگاری	خشکسالی سیل
۵	محافظت و پایداری	توجه به نسل‌های آینده ایجاد حداقل آلودگی‌های محیط‌زیستی
۶	مقرون صرفه بودن	استفاده از مصالح محلی و بوم‌آورد استفاده از نیروهای بومی

این مرحله هیچ مقایسه‌ای انجام نمی‌شود. با استفاده از نظرات خبرگان و متخصصان، معیار مدیریت یا C2 به‌عنوان مهمترین یا بهترین معیار و معیار کل‌نگری یا C3 به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیار معرفی شدند.

جدول ۵- معیارهای اصلی موثر دانش بومی بر مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب منطقه مورد مطالعه

ردیف	معیار	نماد
۱	محافظت و پایداری (Protection and sustainability)	C1
۲	مدیریت (Management)	C2
۳	کل‌نگری (Holistic)	C3
۴	مقرون به صرفه بودن (Being economical)	C4
۵	سازگاری (Compatibility)	C5
۶	پویایی (Dynamism)	C6

روش بهترین-بدترین (BWM): برای وزن‌دهی معیارهای دانش بومی مراحل مختلف روش BWM در زیر آورده می‌شود:

گام اول، تعیین مجموعه معیارهای پژوهش: در گام اول ابتدا باید مساله مورد پژوهش مشخص شود و سپس عوامل تاثیرگذار بر روی هدف مساله استخراج شده و در نهایت به تایید خبرگان پژوهش برسد. در این تحقیق، باتوجه‌به مسئله پژوهش و با استفاده از نظرات خبرگان و انجام روش آماری تحلیل عامل اکتشافی مطابق با نتایج مندرج در جدول (۳)، شش معیار اصلی موثر دانش بومی بر مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب منطقه مورد مطالعه استخراج شد. این معیارها در جدول (۵) آمده است.

گام دوم، تعیین بهترین (مهمترین) و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین معیار): در گام دوم ابتدا باید مهمترین و کم‌اهمیت‌ترین معیار از بین تمامی شاخص‌ها مشخص شود که به آن Worst و Best گفته می‌شود. در

گام سوم، تعیین ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها: در گام بعد باید بردار ارجحیت مهمترین معیار نسبت به دیگر معیارها تعیین شود. بردار بهترین نسبت به سایر معیارها می‌تواند به شکل رابطه (۱) باشد:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$$

که در آن a_{Bj} برتری بهترین معیار B را برای معیار j نشان می‌دهد. بدیهی است که رابطه $a_{BB} = 1$ برقرار است. برای تعیین این بردار از خبرگان خواسته شد تا ارجحیت مهمترین معیار را نسبت به سایر معیارها از عدد ۱ تا ۹ (باتوجه به طیف ۹ تایی ساعتی) مشخص کنند؛ در نهایت از داده‌های جمع‌آوری شده میانگین گرفته شد و نتایج جدول (۶) به‌دست آمد.

جدول ۶- میزان ارجحیت مهمترین معیار نسبت به سایر معیارها

معیارها	C1	C2	C3	C4	C5	C6
مهمترین معیار: C2	۴	۱	۷	۴	۴	۵

گام چهارم، تعیین ارجحیت تمامی معیارها نسبت به بدترین معیار: این گام همانند مرحله سوم صورت می‌گیرد با این تفاوت که ارجحیت دیگر معیارها نسبت به بدترین معیار بررسی می‌شود و باید بردار ارجحیت بدترین معیار نسبت به دیگر معیارها تعیین شود. بردار برتری سایرین به بدترین معیار به شرح رابطه (۲) خواهد بود:

$$A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \dots, a_{nw})$$

که در آن a_{jw} برتری معیار j را بر بدترین معیار یعنی W نشان می‌دهد. بدیهی است که رابط ذیل برقرار است:

$$a_{ww} = 1 \quad (3)$$

در این گام هم از خبرگان خواسته شد تا ارجحیت بدترین معیار را نسبت به سایر معیارها از عدد ۱ تا ۹ مشخص کنند؛ در اینجا هم از داده‌های جمع‌آوری شده میانگین گرفته شد و نتایج جدول (۷) به‌دست آمد.

جدول ۷- میزان ارجحیت بدترین معیار نسبت به سایر معیارها

معیارها	C1	C2	C3	C4	C5	C6
بدترین معیار: C3	۵	۷	۱	۴	۴	۳

گام پنجم، ایجاد مدل برنامه‌ریزی خطی و یافتن وزن‌های بهینه: وزن بهینه برای معیارها، وزنی است که در آن برای هر زوج w_b/w_j

و w_j/w_w رابطه (۴) برقرار باشد:

$$w_b/w_j = a_{Bj} \text{ و } w_j/w_w = a_{jw} \quad (4)$$

برای برقراری این شرایط برای تمامی j ها باید راه حلی را بیابیم که در آن حداکثر تفاوت‌های مطلق یعنی:

$$|w_j/w_w - a_{jw}| \text{ و } |w_b/w_j - a_{Bj}| \quad (5)$$

اگر تمامی jها حداقل باشد، با در نظر گرفتن منفی نبودن مقادیر و شرایط جمع اوزان، مسئله زیر به‌دست می‌آید:

$$\min \max_j \{|w_b/w_j - a_{Bj}|, |w_j/w_w - a_{jw}|\} \quad (6)$$

s.t.

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \text{ for all } j$$

مسئله بالا می‌تواند به مسئله زیر تبدیل شود.

$$\min \xi \quad (7)$$

s.t.

$$|w_b/w_j - a_{Bj}| \leq \xi \quad \text{برای تمامی } j\text{ها}$$

$$|w_j/w_w - a_{jw}| \leq \xi \quad \text{برای تمامی } j\text{ها}$$

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \text{ for all } j$$

با حل مسئله فوق، اوزان بهینه $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ و ξ^* به دست می‌آیند (Rezaei, ۲۰۱۶).

در ادامه با استفاده از ξ^* نسبت سازگاری را به دست می‌آوریم. هرچه مقدار ξ^* بزرگتر باشد، مقدار نسبت سازگاری بالاتر رفته و مقایسات از قابلیت اطمینان کمتری برخوردارند.

در روش بهترین-بدترین رضایی فرمولی برای محاسبه نرخ سازگاری و با هدف بررسی اعتبار و اطمینان مقایسات در نظر گرفته شده است. برای محاسبه مقدار نرخ سازگاری از رابطه زیر استفاده شده است (Rezaei, ۲۰۱۶):

$$\text{Consistency Ratio} = \xi^* / \text{Consistency Index} \quad (8)$$

که در این رابطه مقدار شاخص سازگاری از جدول (۸) به‌دست می‌آید. با استفاده از داده‌های جدول‌های (۶) و (۷)، در نرم‌افزار لینگو، مدل برنامه‌ریزی خطی را ایجاد کرده و آن را حل کرده تا وزن‌های بهینه معیارها طبق جدول (۹) به دست آید. مقدار نرخ سازگاری از تقسیم ξ^* بر شاخص سازگاری به دست می‌آید. نکته قابل ذکر اینکه برای تعیین مقدار شاخص سازگاری، عدد $3/73$ که مانند عدد مقایسه زوجی بهترین و بدترین معیار یعنی عدد ۷ در جدول (۸) می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۸- مقادیر شاخص سازگاری (Rezaei, ۲۰۱۶)

a_{gw}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری (ξ^*)	۰/۰۰	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۶۳	۲/۳۰	۳/۰۰	۳/۷۳	۴/۴۷	۵/۲۳

باتوجه به وزن‌های به‌دست آمده در جدول (۹)، معیار مدیریت بیشترین وزن (۰/۴۱۳) و معیار کل‌نگری کمترین وزن (۰/۰۴۸) را دارد و معیارهای محافظت و پایداری و همچنین مقرون‌به‌صرفه بودن به‌طور اشتراکی در رتبه دوم (۰/۱۶۸) و معیارهای سازگاری (۰/۱۱۹) و پویایی (۰/۰۸۴) به ترتیب در رده‌های سوم و چهارم قرار می‌گیرند.

جدول ۹- نتایج نرم‌افزار لینگو برای وزن‌دهی معیارها

وزن‌ها	معیار (Criteria)
۰/۱۶۸	C1: محافظت و پایداری (Protection and sustainability)
۰/۴۱۳	C2: مدیریت (Management)
۰/۰۴۸	C3: کل‌نگری (Holistic)
۰/۱۶۸	C4: مقرون‌به‌صرفه بودن (Being economical)
۰/۱۱۹	C5: سازگاری (Compatibility)
۰/۰۸۴	C6: پویایی (Dynamism)
۱/۵۳۶	مقدار γ^*
۳/۷۳	شاخص سازگاری
۰/۴۱۲	نرخ سازگاری

نتیجه‌گیری

باتوجه به سوءمدیریت‌های واقع شده در حوزه استفاده، احیا و تخصیص منابع آب و بروز مشکلات متعددی چون خشک شدن تعداد قابل توجهی از تالاب‌ها، در وضعیت بحرانی قرار گرفتن منابع آب زیرزمینی بسیاری از دشتهای و فرونشست آنها، بروز فروچاله‌ها و ... و در نهایت آسیب‌های شدید و گاهی غیرقابل بازگشت محیط‌زیستی که در کشور پیش آمده، بازگشت و استفاده از فن‌آوری‌ها و دانش‌های بومی محلی و به‌روزرسانی آنها و همچنین بومی‌سازی و مناسب‌سازی فناوری‌های نوین را امری اجتناب‌ناپذیر می‌سازد، بنابراین ضرورت پژوهش‌هایی که در آن به‌طور زیربنایی به این مهم پرداخته بیش از پیش عیان می‌شود. نتایج گام اول این تحقیق که با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (تحلیل عامل اکتشافی) انجام شد، نشان می‌دهد که شش عامل اصلی محافظت و پایداری، مدیریت، کل‌نگری، مقرون‌به‌صرفه بودن، سازگاری، پویایی از مهمترین عوامل موفقیت دانش بومی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استان یزد در سال‌های نه‌چندان دور بوده‌اند. همچنین بارهای عاملی متغیرها در جدول (۳) نشان می‌دهد که متغیرهایی چون حفظ تنوع زیستی، مدیریت صحیح و ساختاری اصولی در احداث سازه‌های آبی (مانند قنات، آب انبار و ...) و بهره‌برداری از آن، مقرون‌به‌صرفه بودن و حفظ حیات‌وحش اهمیت بیشتری دارد. هر چند پژوهشی که مستقیماً به این مهم پرداخته باشد کمتر

مشاهده شد ولی بااین‌حال، نتیجه فوق با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های مروری و علمی داخلی و خارجی تعداد قابل توجهی از محققان موافق می‌باشد (خانی و همکاران، ۱۴۰۰).

در گام دوم این تحقیق با استفاده از روش جدید "بهترین و بدترین" که آن هم از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، با ایجاد مدل برنامه‌ریزی خطی، شش عامل بیان شده وزن‌دهی و یافتن وزن‌های بهینه انجام شد. که در نتیجه معیار مدیریت بیشترین وزن (۰/۴۱۳) و معیار کل‌نگری کمترین وزن (۰/۰۴۸) بوده و معیارهای محافظت و پایداری و همچنین مقرون‌به‌صرفه بودن به‌طور اشتراکی در رتبه دوم (۰/۱۶۸) و معیارهای سازگاری (۰/۱۱۹) و پویایی (۰/۰۸۴) به ترتیب در رده‌های سوم و چهارم قرار گرفتند.

با این توصیف در کل، نتایج به‌دست آمده با نظرات و پژوهش‌های بسیاری از پژوهشگران چون Makhura و همکاران (۲۰۰۴)، Appleton و همکاران (۱۹۹۵)، دهقانی (۱۳۹۰)، Mahendra و Sharma (۲۰۰۶)، کفاش و همکاران (۱۳۹۸)، Kiyoshi و همکاران (۲۰۱۴)، آذرینوند و همکاران (۱۳۹۵)، طالشی و کفاش (۱۳۹۷)، زارع چاهوکی و همکاران (۱۳۹۷) و ... مطابقت دارد. باتوجه به این‌که بیشتر شهرها و روستاهای قرار گرفته در حوزه آبخیز فلات مرکزی شرایط اقلیمی مشابه دارند. نتایج این تحقیق با انجام مطالعات تکمیلی برای این مناطق نیز قابل استفاده می‌باشد. پژوهشگران، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران منطقه‌ای می‌توانند از این معیارها که در واقع بیانگر نقاط قوت دانش بومی در مدیریت، برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و توزیع منابع آب بوده برای تدوین ارائه راهبردهای صحیح‌تر و اصولی‌تر بهره‌برند.

سپاسگزاری

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح شماره «۹۹۰۲۹۶۳۰» انجام شده است.

به‌این‌وسیله مراتب تقدیر و تشکر خود را به کلیه عزیزانی که در مراحل مختلف این پژوهش ما را یاری نمودند؛ اعلام می‌داریم.

پی‌نوشت‌ها

۱- زورنا به کانال‌های زیرزمینی گفته می‌شود که برای انتقال آب‌های سطحی از نقطه‌ای به نقطه دیگر در مناطق کویری و پرتبخیری همچون استان یزد در ایران استفاده می‌شده است. زورنا در واقع مجموعه کانال‌های زیرزمینی و چاه‌های رابط آن با بیرون و دریاچه آبگیر اولیه را شامل می‌شود.

2-IK: Indigenous Knowledge

- 3-ILK: Indigenous Local Knowledge
- 4-Exploratory Fancion Analysis
- 5-Confirmatory Factor Analysis
- 6-Kaiser-Meyer-Olkin Measure
- 7-Bartlett's Test
- 8-Communalities
- 9-Oblique Rotation
- 10-Orthogonal Rotation
- 11-Varimax
- 12-Quartimax
- 13-Equimax/Equamax
- 14-Pearson correlation test
- 15-Factors loading
- 16-Best Worst Method
- 17-Multiple Criteria Decision Making
- 18-Multiple Attribute Decision Making
- 19-Multiple Objective Decision Making
- 20-Delft University
- 21-Analytic hierarchy process
- 22-Lingo Software

منابع

- دوفصلنامه دانش‌های بومی ایران (استان یزد)، ۱۴، ۱۰۵-۱۵۲.
<https://doi.org/10.22054/qjik.2021.60055.1262>
- دهقانی، علیرضا. (۱۳۹۰). مهندسی و معماری آب‌انبارهای ایران. چاپ اول. انتشارات یزدا. چاپ اول. تهران.
- زارع چاهوکی، اصغر، اختصاصی، محمدرضا، وبرزگر، فاطمه. (۱۳۹۷). آسیب‌شناسی و ریشه‌یابی چالش‌های آب استان یزد. هفتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه یزد، یزد.
- زارعی، ابوالقاسم. (۱۳۹۹). آموزش تحلیل عاملی اکتشافی با SPSS. پایگاه تخصصی تحلیل آماری و داده‌پردازی، www.tahlili-amari.com
- زبردست، اسفندیار. (۱۳۹۶). کاربرد روش تحلیل اکتشافی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، مورد پژوهی: سنجش وضعیت پایداری اجتماعی در کلانشهر تهران. نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، ۲۲(۲)، ۵-۱۸. [JFAUP.2017.240054.671801/10.22059](https://doi.org/10.22059/JFAUP.2017.240054.671801/10.22059)
- سلطانی، مریم، و علیزاده، حمزه علی. (۱۳۹۶). مدیریت جامع آب کشاورزی در مقیاس حوضه آبریز (IWMsim) با رویکرد پویایی سیستم. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۷(۲)، ۶۹-۹۰. [20.1001.1.22517480.1396.7.2.6.8](https://doi.org/10.1001.1.22517480.1396.7.2.6.8)
- طالشی، مصطفی، و کفاش، حسین. (۱۳۹۷). تدوین و اعتبارسنجی معیارهای بنیادین مدیریت یکپارچه منابع آب در سکونتگاه‌های روستایی نواحی خشک و نیمه خشک، مطالعه موردی: ناحیه بجستان در جنوب خراسان رضوی. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۶(۲)، ۸۱-۱۰۸. [doi: 10.29252/grd.2018.1474](https://doi.org/10.29252/grd.2018.1474)
- عالی، ابوالفضل. (۱۳۹۸). مبانی حکمرانی آب (چارچوبی برای مدیریت جامع آب). انتشارات آوای قلم. چاپ اول. تهران.
- فرشچی، مجتبی. (۱۳۹۹). تحلیل آماری با SPSS شرکت داده‌پردازی آماری اطمینان شرق: www.spss-iran.com
- قوچانیان، مرجان، و فشائی، محمد. (۱۴۰۱). شاخص‌های مدیریت منابع آب با تمرکز بر حکمرانی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۹(۱)، ۱-۱۰. [IJWSD.V9I1.2110.1086/10.22067](https://doi.org/10.22067/IJWSD.V9I1.2110.1086/10.22067)
- کفاش، حسین، طالشی، مصطفی، و رحیمی، حسین. (۱۳۹۸). نقش دانش بومی در پایداری منابع آب در جنوب خراسان رضوی مطالعه موردی شهرستان بجستان. دو فصلنامه دانش‌های بومی ایران، ۵(۱۰)، ۲۲۳-۲۷۴. <https://doi.org/10.22054/qjik.2020.33285.1111>
- محمدی ده‌چشمه مصطفی، و گنخکی، عقیل. (۱۴۰۱). چالش‌های حکمروایی و مدیریت منابع آب شهرها (مطالعه شهرهای استان بوشهر). نشریه آب و توسعه پایدار، ۹(۱)، ۱۱-۲۴. [IJWSD.V9I1.2110.1089/10.22067](https://doi.org/10.22067/IJWSD.V9I1.2110.1089/10.22067)
- موسوی، عارف، طالشی، مصطفی، و دربان آستانه، علیرضا. (۱۳۹۶). تدوین و اعتبارسنجی معیارهای بومی حکمروایی خوب روستایی. فصلنامه مدیریت شهری، ۴، ۵۱۱-۵۳۳.
- آذرینوند، حسین، اسکندری دامنه، حامد، و قربانی، مهدی. (۱۳۹۵). تحلیل دانش بومی در سازمان اجتماعی تولید کشاورزی و نظام آبیاری، منطقه مورد مطالعه روستای روزکین بخش ساردوئیه- شهرستان جیرفت. فصلنامه تخصصی پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، مردم و فرهنگ، ۱(۲)، ۱-۲۶.
- ابراهیمی، پیام، و سلیمی کوچی، جمیله. (۱۳۹۶). نقش دانش بومی در توسعه‌ی پایدار منابع آب و خاک روستایی (مطالعه موردی: روستای قصاب ذالکان، شهرستان بابل. نشریه علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، ۱۱، ۳۹-۴۸.
- امینی، سلیمان. ۱۳۹۹. آموزش روش بهترین بدترین (BWM)، پایگاه اینترنتی صنایع ۲۰: sanaye20.ir
- حبیبی، آرش، و عدن‌ور، مریم. (۱۳۹۶). مدل‌یابی معادلات ساختاری و تحلیل عاملی. انتشارات جهاد دانشگاهی. چاپ اول. تهران.
- خانی، مهدی، هویدی، حسن، یآوری، احمدرضا، و خانی، محمدرضا. (۱۴۰۰). استفاده از تحلیل عاملی جهت تدوین، ارزیابی و شناسایی موثرترین معیارهای دانش بومی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب مناطق خشک و نیمه خشک ایران. نشریه

- Henson, R.K., & Roberts, J.K. (2006). Use of exploratory factor analysis in published research. *Educational and Psychological Measurement*, 66(3), 393- 416. <https://doi.org/10.1177/0013164405282485>
- Howard, M.C. (2016). A Review of Exploratory Factor Analysis Decisions and Overview of Current Practices: What We Are Doing and How Can We Improve. *International Journal of Human-Computer In-teraction*, 32(1), 51-62. <https://doi.org/10.1080/10447318.2015.1087664>
- Kobayashi, K., Syabri, I., & Rini DWI Ari, I. (2014). *Community Based Water Management and Social Capital*, IWA publishing. London.
- Mahendra, N., & Sharma, B. (2006). Community based rural energy development in Nepal: Experience and lessons from innovative approaches. *ICIMOD, Kathmandu Nepal*. 218-219
- Makhura, M.N. (2004). Economic Perspective to Indigenous Knowledge in Rural Development. *South Africa Rural, Development Quarterly*, 2(4), 39-43.
- McGregor, D. (2004). Coming full circle: Indigenous Knowledge, environment and our future. *American Indian Quarterly*, 28(3-4), 385-410. [10.1353/aiq.2004.0101](https://doi.org/10.1353/aiq.2004.0101)
- Miller, G. (2001). The development of indicators for sustainable tourism: results of a Delphi survey of tourism researchers. *Tourism Management*, 22(4), 351-362. [10.1016/S0261-5177\(00\)00067-4](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(00)00067-4)
- Radcliffe, C., Raman, A., & Parissi, C. (2020). Entwin- ing indigenous knowledge and science knowledge for sustainable agricultural extension: exploring the strengths and challenges. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 27(2), 133-151. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2020.1828112>
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria deci- sion-making method. *Elsevier Journal*, 53, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria deci- sion-making method Some properties and a lin- ear model. *Elsevier Journal*, 64, 126-130. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001>
- یاوری، احمدرضا، و طیب‌زاده، نگار. (۱۳۹۶). *سنجش و ارزیابی در برنامه‌ریزی استفاده از سرزمین*. انتشارات آوای قلم. چاپ اول. تهران.
- Akhmouch, A., & Correia, F. N. (2016). The 12 OECD principles on water governance-When science meets policy, *Utilities Policy*, 43, 14-20.
- Appiee, T. S. (2007). The role of Indigenous knowledge in biodiversity conservation: Implications for con- servation education in Papua New Guinea. Thesis for the degree of master of science. The university of Wiakato. Papua New Guinea.
- Appiee, T. S. (2007). The role of Indigenous knowledge in biodiversity conservation: Implications for con- servation education in Papua New Guinea. Thesis for the degree of master of science, The university of Wiakato, Papua New Guinea.
- Appleton, H., Fernandez, M.E., Hill, C.L.M., & Quiroz, C. (1995). Claiming and using Indigenous knowledge in: Gender working group of the United Nation com- mission on science and technology for development. Missing links: Gender equity in science and technolo- gy for development. UNIFEM, United nations devel- opment fund for women, New York.
- Barnhardt R., & Kawagley, A. O. (2005). Indigenous knowledge systems/ Alaska native ways of knowing. *Anthropology and education quarterly*, (36) 1, 8-23. <https://doi.org/10.1525/aeq.2005.36.1.008>
- Berkes, F. (2012). *Sacred Ecology*, Rutledge publication. 3rd edition. New York, USA.
- Berkes, F. (2018). *Sacred ecology*. Fourth edition. Rut- ledge publication, New York, New York, USA.
- Blancas, F. J., González, M., Lozano-Oyola, M., & Pérez, F. (2010). The assessment of sustainable tour- ism: application to Spanish coastal destinations, *Journal of Ecological Indicators*, 10, 484-492. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.08.001>
- Brondizio E. S., & Le Tourneau F. M. 2016. Environ- mental governance for all. *Science*, 352(6291), 1272- 1273. <http://dx.doi.org/10.1126/science.aaf5122>
- Guo, S., & Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Elsevier Journal*, 121, 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.01.001>

- Steiger James H. (2017). Exploratory Factor Analysis with R. <http://www.statpower.net>
- Tabachnick, B., & Fidell, L. (2012). Using multivariate statistics. Pearson Education. 6th Edition. Inc, USA.
- Toledo, V. M. (2002). Ethnoecology: a conceptual framework for the study of indigenous knowledge on nature. In: Stepp, J.R., Wyndham, E.S., and Zarger, R.(eds) Ethnobiology and Biocultural Diversity, Athens: International Society of Ethnobiology, University of Georgia Press. USA.
- UNDP (United Nations Development Programme) (2018). SGP Country Programme Strategy for OP6. <https://www.undp.org>
- Verlinden, A., & Dayot, B. (2005). A comparison between indigenous environmental knowledge and a conventional vegetation analysis in north central Namibia. Journal of Arid Environment, 62(1), 143-175. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.11.004>
- WWDR. (2018). Nature-Based solutions for water, The United Nations World Water Development Report 2018. Published in 2018 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Investigating the Different Dimensions of Water Poverty in the Provinces of Iran

S. Safarpour¹, M. Maddah^{2*}

1, 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Economics, Faculty of Economics, Management and Administrative Sciences, Semnan University, Semnan, Iran.

*(Corresponding Author Email: majid.maddah@semnan.ac.ir)

Received: 09-04-2023

Revised: 24-05-2023

Accepted: 23-06-2023

Available Online: 21-12-2023

بررسی ابعاد مختلف فقر آب در استان‌های ایران

سحر صفریور^۱، مجید مداح^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اداری، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: majid.maddah@semnan.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۲

Abstract

Water is important as a prerequisite for the development and survival of the human race and plays a fundamental role in providing and achieving the social, economic, and environmental goals and priorities of any country. With the continuation of the unfavorable trend of the situation of water resources in the world and the prediction of the continuation of the water crisis, the problem of water shortage is continuously increasing. In this framework, this article tries to identify the factors affecting it by examining the various dimensions of water poverty, including driving forces, pressure, states, and impact, using the structural equation modeling approach - partial least squares method (PLS-SEM) in 2019. The results of the estimation of the model show that, firstly, the driving forces have a positive and significant effect on the pressure structures and the impact of water poverty at the level of the provinces of the country. Secondly, the pressure structure has a negative and significant effect on the state of water poverty. Thirdly, the structure of the states, which expresses environmental changes, has a negative and significant effect on the impacts of water poverty. Also, among the factors affecting water poverty in 2019, the variables are the number of doctors per ten thousand people with a coefficient of 0.934, the ratio of irrigated land to total cultivated land with a coefficient of 0.893, total drinking water consumption with a coefficient of 0.888, and desert phenomena with a coefficient of 1 are the most important influencing factors.

Keywords: Water Poverty, Partial Least Squares, Water Resources Management, WPI Components, Iran.

چکیده

آب به‌عنوان یک پیش‌نیاز در توسعه و بقای نسل بشر اهمیت دارد و نقش اساسی در تأمین و دستیابی به اهداف و الیت‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی هر کشور ایفا می‌کند. با ادامه روند نامطلوب وضعیت منابع آبی در سطح جهان و پیش‌بینی تداوم بحران آب، مسأله کمبود آب به‌طور پیوسته در حال افزایش است. در این چارچوب، این مقاله تلاش دارد ابعاد مختلف فقر آب شامل نیروهای محرک، فشار، وضعیت و اثر، عوامل مؤثر بر آن را بررسی و با استفاده از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری - روش حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM) در سال ۱۳۹۸ را شناسایی نماید. نتایج به‌دست آمده از تخمین مدل نشان می‌دهند ۱- نیروهای محرک اثر مثبت و معناداری روی سازه‌های فشار و اثر فقر آبی در سطح استان‌های کشور دارند، ۲- سازه فشار اثر منفی و معناداری روی وضعیت فقر آبی دارد و ۳- سازه وضعیت که بیان‌کننده تغییرات محیط‌زیستی است اثر منفی و معناداری بر روی اثرات فقر آبی دارد. همچنین در میان عوامل مؤثر بر فقر آبی در سال ۱۳۹۸ متغیرهای تعداد پزشکان در هر ده هزار نفر با ضریب ۰/۹۳۴، نسبت اراضی زیر کشت آبی به کل زمین‌های زیر کشت با ضریب ۰/۸۹۳، مصرف آب شرب کل با ضریب ۰/۸۸۸ و پدیده‌های بیابانی با ضریب ۱ مهمترین عوامل اثرگذار به‌شمار می‌آیند. واژه‌های کلیدی: فقر آبی، حداقل مربعات جزئی، مدیریت منابع آب، مؤلفه‌های شاخص فقر آب، ایران.

امروزه دستیابی ایمن به منابع آب برای رسیدن به هدف رشد و توسعه اقتصادی پایدار به عنوان یکی از هدف‌های اصلی جوامع بشری مطرح می‌باشد. به طوری که در اهداف توسعه هزاره سوم^۱ بر دسترسی کافی به منابع آب و کاهش خسارت‌های اجتماعی و اقتصادی ناشی از ناامنی‌های آبی تأکید شده است (سلامی و طاهری ریکنده، ۱۳۹۸). این اهداف در کنفرانس ملل متحد در ژوهانسبورگ^۲ در سال ۲۰۰۲ و انجمن جهانی آب^۳ در کیوتو^۴ در سال ۲۰۰۳ مورد تأکید قرار گرفته است. در این راستا محققان انجمن جهانی اقتصاد در سال ۲۰۰۹ معتقدند که باتوجه به ارتباط نزدیک امنیت آبی و تولید مواد غذایی، انرژی، آب و هوا، رشد اقتصادی و امنیت انسانی، مهمترین خطری که جهان امروز را به چالش می‌کشد ناامنی آبی است (سلامی و طاهری ریکنده، ۱۳۹۸). این مسأله در ایران که از نظر اقلیمی در ناحیه خشک و نیمه خشک جهان واقع شده و آب در آن به عنوان یک نهاده کمیاب مطرح بوده اهمیت بیشتری دارد. در چنین شرایطی آن چه که به عنوان اصل راهبردی در مسیر توسعه پایدار باید مورد توجه قرار گیرد، ایجاد توازن میان سیاست‌گذاری‌های توسعه و وضعیت منابع پایه موجود می‌باشد. کمیته فنی مجمع جهانی آب معتقد است منابع آب باید به صورت یکپارچه مدیریت شود. مدیریت یکپارچه منابع آب فرایندی است که توصیه می‌کند روند توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها باید به طور هماهنگ و سازگار با منابع آب و زمین بوده، به نحوی که پایداری اکوسیستم‌های حیاتی، قدرت تولید آینده آن‌ها و تحقق نیازهای آبی را به مخاطره نیندازد (سلامی و طاهری ریکنده، ۱۳۹۸). در حالی که چنین رویکردی در سیاست‌های توسعه کشور به ویژه در بخش کشاورزی کمتر دیده می‌شود. به عنوان نمونه مقایسه چگونگی رشد سطح زیر کشت محصولات زراعی آبی با وضعیت اقلیمی استان‌های مختلف حاکی از آن است که در برخی از استان‌های کشور، توسعه سطح زیر کشت محصولات، هماهنگ با شرایط اقلیمی مناطق صورت نگرفته است. این عدم هم‌خوانی نشان می‌دهد در تدوین و اجرای سیاست‌های گوناگون از سوی دولت برای توسعه فعالیت‌های مختلف اقتصادی در مناطق مختلف، ملاحظات محیط‌زیستی مرتبط با منابع آب کمتر مد نظر قرار می‌گیرد. این گونه سیاست‌گذاری توسعه در ایران به تهدید منابع آب کشور منجر شده و برقراری امنیت آبی را با چالش جدی مواجه ساخته است. وقوع چالش‌هایی همچون تخلیه آب‌های زیرزمینی، نشست زمین، خشک شدن چاه‌های آب، کاهش دبی رودخانه‌ها و آب دریاچه‌ها، آلودگی آب و تخریب اکوسیستم‌های طبیعی بر این حقیقت اشاره دارد که مدیریت منابع آبی و چگونگی به کارگیری آن در ایران نیازمند بازنگری جدی است. این بازنگری نیازمند سازگار نمودن سیاست‌های توسعه بخش‌های مختلف با وضعیت منابع موجود استان‌های کشور است. لذا ضروری است

منابع آب مناطق مختلف از لحاظ فاکتورهای اقتصادی، اجتماعی و فیزیکی مورد سنجش مستمر قرار گرفته و بر اساس آن سیاست‌های توسعه‌ای صورت پذیرد. امنیت آبی یک مفهوم چند بعدی است که امکان استفاده از یک متغیر برای نشان دادن ابعاد مختلف آن وجود ندارد (سلامی و طاهری، ۱۳۹۸). این پژوهش معیارهای مؤثر بر فقر آبی شامل نیروهای محرک^۵، فشار^۶، وضعیت^۷ و اثر^۸ برای استان‌های ایران در سال ۱۳۹۸ را با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM)^۹ بررسی و متغیرهای مؤثر بر آن‌ها را شناسایی می‌کند (Forouzani و همکاران، ۲۰۱۲). سوابق قبلی پژوهش در زمینه تجزیه و تحلیل فقر آب در کشور نشان می‌دهد، فقر آبی در یک استان و با در نظر گرفتن چند شاخص تحلیل شده است. این مطالعه با در نظر گرفتن ابعاد مختلف فقر آبی و کمی‌سازی آن در سطح استان‌های کشور در چارچوب مدل‌سازی معادلات ساختاری (PLS-SEM) فقر آبی در استان‌های کشور را برای اولین بار تجزیه و تحلیل می‌کند.

مقاله در پنج بخش سازماندهی شده است که پس از مقدمه در بخش دوم، مبانی نظری و پیشینه پژوهش ارائه می‌شود. بخش سوم روش پژوهش مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی برای برآورد روابط بین متغیر پنهان فقر آب با شاخص‌های آن را معرفی می‌کند. در بخش چهارم نتایج به دست آمده از برآورد مدل ارائه می‌شود. بخش پنجم به نتیجه‌گیری تحقیق اختصاص دارد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۱- مبانی نظری

باتوجه به آنچه در سال ۲۰۰۳ در اجلاس جهانی کیوتو بر آن تأکید شد مهمترین مشکل آب در دنیا مسأله مدیریت منابع آب است (سلامی و طاهری ریکنده، ۱۳۹۸). بنابراین با ادامه روند نامطلوب منابع آب در جهان و پیش‌بینی وخیم تر شدن اوضاع، نهادهای مختلف برای سنجش وضعیت کمی و کیفی منابع آب شاخص‌های متنوعی را پیشنهاد می‌دهند. در اکثر این شاخص‌ها بر منابع آبی موجود در کشورها تأکید شده و از معیارهایی مانند سرانه آب یا درصد تجدیدپذیری سالانه استفاده می‌شود که باتوجه به وجود عوامل مؤثر بر وضعیت منابع آبی در یک کشور یا منطقه و حساسیت‌های خاص مدیریت و توسعه منابع آبی، هر کدام از شاخص‌ها نقاط ضعف و قوت دارد. بنابراین لازم است شاخص‌های مناسب‌تر و جامع‌تری برای بیان وضعیت واقعی منابع و مصارف آب استفاده شود. از سوی دیگر تأثیرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب را نمی‌توان نادیده گرفت. افزایش درجه حرارت منجر به افزایش تقاضا برای آب کشاورزی به دلیل تبخیر و تعرق فراوان می‌شود. لازم به ذکر است افزایش درجه حرارت، مقدار تبخیر و تعرق و کاهش بارندگی باعث افزایش پدیده بیابان‌زایی و شوری خاک می‌شود. کاهش تغذیه

آب‌های زیرزمینی و منابع آب‌های سطحی از پیامدهای دیگر تغییر اقلیم است (طالبی و امینی، ۱۳۹۷). میان‌کنش منابع آب و توسعه پایدار فقط به سه بعد اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست محدود نمی‌شود و مسائلی مانند سلامت بشر، تأمین غذا و انرژی، شهری شدن و توسعه صنعتی از طریق سیاست‌ها و اقدامات اجرایی به تقویت یا تضعیف توسعه پایدار خواهد انجامید. ازاین‌رو در این پژوهش کوشش بر آن است با شاخصی چند بعدی وضعیت کم‌آبی سنجیده شود (شریف‌زادگان و همکاران، ۱۳۹۵). از میان شاخص‌های موجود شاخص فقر آبی به‌عنوان شاخصی کل‌نگر، از یک‌سو مباحث منابع آب را پوشش داده و از سویی دیگر، ابعاد برنامه‌ای و توسعه‌ای کم‌آبی را مد نظر قرار می‌دهد. در تعریف این شاخص سالیوان نظریه‌پرداز اصلی این حوزه از تعریف فقر آماریا سن بهره گرفته است. براین‌اساس اگر فقر به‌صورت محرومیت از قابلیت‌های اساسی و نه صرفاً کم بودن درآمد که ضابطه متعارف شناسایی فقر است تعریف شود، آن‌گاه فقر آبی محرومیت از مجموعه عواملی که کمبود منابع آب تنها مؤلفه شناخته شده آن است، تعریف می‌شود. فقر آبی شاخصی است که در مطالعات اخیر درباره کم‌آبی مورد توجه پژوهشگران بسیاری قرار گرفته است (شریف‌زادگان و همکاران، ۱۳۹۵). از اولین پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به پژوهش Salameh (۲۰۰۰) اشاره نمود. وی شاخص فقر آبی را به‌عنوان نسبت آب تجدیدپذیر در دسترس به حجم مورد نیاز برای تأمین مواد غذایی و مصارف خانگی در سال تحت شرایط اقلیمی یک منطقه تعریف کرده است. Feitelson و Chenoweth (۲۰۰۲) با نگاهی متفاوت به این بحث فقر آبی را برای یک کشور یا منطقه شرایطی تعریف می‌کنند که در آن امکان تأمین هزینه لازم برای دسترسی به آب پایدار برای همه مردم و در تمامی فصول سال وجود نداشته باشد. این پژوهش‌گران بر مفاهیم هزینه و توانایی مالی پرداخت تأکید داشتند. در مطالعات بعدی که در این حوزه صورت گرفت، Lawrence و همکاران (۲۰۰۲) فقر آبی را به‌عنوان یک شاخص چند بعدی که مؤلفه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی دارد، معرفی کردند (شریف‌زادگان و همکاران، ۱۳۹۵). در این پژوهش از تعریف لاورنس و همکاران استفاده شده است که فقر آبی را شاخصی چند بعدی که مؤلفه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی دارد، می‌داند.

مرور پژوهش‌های مرتبط انجام شده نشان می‌دهد درحالی‌که مطالعات متعددی در خارج از کشور با هدف سنجش امنیت آبی و کمیابی آبی مناطق مختلف انجام شده اما در ایران مطالعه‌ای با هدف بررسی همه جانبه وضعیت امنیت آبی استان‌های مختلف کشور انجام نشده است. ازاین‌رو پژوهش حاضر در تلاش است با پر کردن کمبودهای تجربی، عوامل مؤثر بر فقر آبی در استان‌های کشور را شناسایی کند. در این پژوهش ۴ مؤلفه اصلی فقر آب شامل نیروهای محرک، فشار، حالت و اثر می‌باشند که هر کدام از

این مؤلفه‌ها چندین زیر شاخص دارند (Forouzani و همکاران، ۲۰۱۲). در این چارچوب عوامل مؤثر بر فقر آبی را می‌توان به نیروهای محرک و عوامل فشار تقسیم کرد، لازم به ذکر است فقر آبی تابع وضعیت آب‌وهوایی و اثرات محیط‌زیستی است. با در نظر گرفتن مجموعه این عوامل و رابطه‌ای که بین پدیده‌های مختلف مؤثر بر فقر آبی وجود دارد، وضعیت فقر آبی قابل بررسی و تحلیل است که این مقاله تلاش دارد با شناسایی عوامل مؤثر بر فقر آبی ابعاد آن را در سطح استان‌های ایران ارزیابی نماید.

۲- پیشینه پژوهش

بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد ارزیابی وضعیت منابع آبی و سنجش امنیت آبی در مناطق مختلف مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. به برخی از این مطالعات در داخل کشور در ادامه اشاره شده است.

جابرزاده (۱۳۹۳) در پژوهشی تحت عنوان "برآورد شاخص فقر آبی در استان‌های ایران" نسبت سلامتی و رفاه خانوارها را با میزان آب در دسترس بررسی کرد و به این منظور رابطه بین ۵ مؤلفه اصلی (منابع آب، دسترسی، مصرف، ظرفیت و محیط‌زیست) را مورد آزمون قرار داد. هر کدام از این مؤلفه‌ها چندین زیرشاخص دارند که باتوجه به اهمیت هر کدام وزن‌دهی می‌شوند. نتایج این مطالعه برای ۳۰ استان کشور نشان داد استان ایلام بالاترین رتبه (۵۴٫۷۵) یعنی فقر آبی کم) و استان سیستان و بلوچستان کمترین رتبه (۲۸٫۹۵) یعنی فقر آبی زیاد) را به‌خود اختصاص داده‌اند.

شریف‌زادگان و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی تحت عنوان "شناسایی موانع توسعه منطقه‌ای با به‌کارگیری شاخص فقر آبی (نمونه موردی: استان قزوین)" به‌صورت چند بعدی و در قالب پنج محور اصلی شامل منابع، مصارف، دسترسی، ظرفیت و محیط‌زیست مجموعه عوامل اثرگذار در بحران آب استان قزوین را بررسی کردند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که نیمه جنوبی استان شامل شهرستان‌های آوج، تاکستان و بویین زهرا به دلیل ضعف در دو محور ظرفیت (تعداد زیاد مرگ اطفال و نسبت بی‌سوادی) و محیط‌زیست (مصرف زیاد کود و سموم و کیفیت کم‌آب) وضعیت بحرانی‌تری نسبت به سایر شهرستان‌ها دارد. شهرستان قزوین به‌دلیل بهره‌مندی از منابع آب، ظرفیت و مصرف بهینه و شهرستان البرز به‌دلیل دسترسی مطلوب و کسب امتیاز زیاد در محور محیط‌زیست از دیدگاه شاخص فقر آبی وضعیت نسبی بهتری نسبت به سایر شهرستان‌ها دارند. سپس با استفاده از روش تحلیل همبستگی و به‌کمک نرم‌افزار SPSS، برای شناسایی پیشران‌های اثرگذار در سطح کل استان اقدام شده است که در این باره دو محور ظرفیت و محیط‌زیست بیشترین اثرگذاری را دارند.

طالبی و امینی (۱۳۹۷) در پژوهشی تحت عنوان "بررسی ابعاد کم آبی با استفاده از روش شاخص فقر آبی (WPI) و تحلیل مقایسه‌ای

آن در بخش‌های شهرستان قم" وضعیت شهرستان قم و بخش‌های آن را ارزیابی کردند. در این مطالعه مبنای تعیین شاخص فقر آبی روش سالیان بوده که یک ترکیب خطی وزنی از اجزای آن شامل: منابع، مصارف، دسترسی، ظرفیت و محیط‌زیست است. نتایج حاکی از آن است در میان بخش‌های شهرستان از نظر ابعاد پنج‌گانه شاخص فقر آبی تفاوت وجود دارد. بخش مرکزی با شاخص ۱۲۶ پایین‌ترین رتبه و جعفرآباد با شاخص ۲۱۷,۶ بالاترین رتبه را در شاخص فقر آبی به خود اختصاص دادند.

سلامی و طاهری ریکنده (۱۳۹۸) در پژوهشی تحت عنوان "سنجش وضعیت امنیت آبی در استان‌های ایران"، با استفاده از اطلاعات و آمار اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی در طول دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۴ و به‌کارگیری شاخص فقر آبی سطح امنیت آبی استان‌های ایران را ارزیابی کردند. نتایج حاکی از آن است که استان‌های سیستان و بلوچستان، قم، کرمان، هرمزگان و گلستان با ناامنی آبی شدید و استان‌های تهران و گیلان با امنیت آبی ضعیف روبه‌رو می‌باشند. همچنین استان‌های آذربایجان شرقی، زنجان، سمنان، کرمانشاه و لرستان در طبقه امنیت آبی بالا و استان‌های بوشهر، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، کردستان و مرکزی در طبقه امنیت آبی کامل می‌باشند.

سیحانی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی تحت عنوان "سنجش نوآورانه شاخص فقر آبی بر پایه مدل‌های ریاضی-تحلیلی مؤثر و داده محور در استان آذربایجان غربی" ارزیابی کمی و کیفی فقر منابع آب زیرزمینی بر اساس دو روش نوآورانه ریاضی-تحلیلی مؤثر و داده محور با در نظر گرفتن فاکتورهای شش‌گانه ظرفیت، محیط‌زیست، زیرساخت‌ها و دسترسی‌ها، منابع آب، مدیریت و اقلیم را در استان آذربایجان غربی در طول دوره ۱۳۹۸-۱۳۹۰ بررسی کردند. ارزش شاخص فقر آبی جامع در دو مدل ریاضی-تحلیلی مؤثر و داده محور به ترتیب $53/67$ و $53/03$ به‌دست آمد. نتایج نشان داد در مدل‌های مذکور فاکتورهای منابع آب، مدیریت و اقلیم باعث ایجاد ناپایداری نسبی در سامانه‌های منابع آب زیرزمینی، می‌شود. بر اساس نتایج، شاخص فقر آبی جامع از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۶ روند صعودی داشته است، در حالی که بعد از اجرای طرح‌ها و پروژه‌های مرتبط با مدیریت منابع آب زیرزمینی مقدار این شاخص به وضعیت نسبتاً ثابتی رسیده است. سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ به‌ترتیب نقطه عطف تغییر حالت شاخص فقر آبی جامع از حالت خیلی کم به کم، کم به متوسط و متوسط به زیاد، می‌باشد.

موضوع فقر آب در چند مطالعه خارجی نیز مورد توجه قرار گرفته است که از آن جمله به مطالعات زیر می‌توان اشاره نمود. Namara و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی تحت عنوان "روابط بین فقر و مدیریت آب کشاورزی" رابطه بین مدیریت منابع آب کشاورزی و فقر را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن است که سرمایه‌گذاری در بخش مدیریت منابع آب به‌منظور افزایش بهره‌وری آب، مهمترین

اقدام در کاهش اثر منفی کمپابی آب بر فقر روستایی است. Manandhar و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی تحت عنوان "کاربرد شاخص فقر آب در نپال (مطالعه موردی: حوضه رودخانه کالی گانداکی (KGRB))" شاخص فقر آب در جهت ارزیابی منابع آبی در حوضه آبخیز رودخانه کالی گانداکی در نپال را بررسی کردند. در این پژوهش ۱۰ شاخص و ۱۲ متغیر تعیین شد. نتایج نشان داد شاخص‌های دسترسی و منابع در سطح حوضه آبخیز و شاخص‌های مصرف و ظرفیت و محیط‌زیست در زیر واحدهای تغییرات بیشتری دارند.

Forouzani و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی تحت عنوان "شاخص فقر آب کشاورزی برای جهانی پایدار" وضعیت آب در بخش کشاورزی در سطح مزرعه با استفاده از شاخص فقر آب کشاورزی (AWPI) را بررسی کردند. این شاخص شامل جنبه‌های مختلف مربوط به آب از جمله در دسترس بودن و دسترسی به منابع آب، ظرفیت برای مدیریت استفاده از آب موجود و در نهایت عوامل محیطی مؤثر بر در دسترس بودن منابع آب است. برای رسیدن به این هدف، چارچوب‌های مفهومی مختلف متداول برای قالب‌بندی فرایند انتخاب شاخص پیشنهاد شده است، از جمله این چارچوب زنجیره علیت، سلسله مراتبی و یکپارچه می‌باشد. این بررسی نشان می‌دهد چارچوب‌های زنجیره علیت به مرور زمان به‌دلیل معرفی مفاهیم اضافی و فقدان برنامه مشخص برای ساخت چنین مدل‌هایی بهبود یافته و توسعه ساختارهایشان پیچیده شده است. اگرچه چارچوب سلسله مراتبی ساده‌تر است، اما شامل مفاهیم کلی است که برای شناسایی شاخص‌های عملی و مفید به اندازه کافی قوی نیستند. بنابراین، این پژوهش بر استفاده از شبکه علیت یکپارچه و چارچوب شبکه سلسله مراتبی اکولوژیکی برای توسعه شاخص‌های فقر آب کشاورزی متمرکز است، زیرا همه موارد ویژه که ممکن است مورد توجه ساخت شاخص باشد را در بر می‌گیرد. برای اصلاح این چارچوب یک مسیر مفهومی برای توسعه شاخص‌های فقر آب کشاورزی ارائه شده است، که در آن توالی مراحل پیشنهاد شده است. این مسیر مفهومی منجر به ساخت شاخص‌های واقعی و انتزاعی فقر آب کشاورزی می‌شود و از روش کمی (برنامه نویسی عدد صحیح دودویی) برای انتخاب شاخص‌های نهایی استفاده شده است. همچنین یک فرایند سلسله مراتبی تحلیلی برای تعیین وزن‌های شاخص انجام می‌شود و الزامات معیار مدل در نظر گرفته می‌شود. El-Gafy (۲۰۱۵) در پژوهشی تحت عنوان "شاخص فقر آب به‌عنوان یک ابزار ارزیابی برای ترسیم استراتژی‌های بخش آب مصر" با استفاده از شاخص فقر آب تلاش کرده است با افزودن زیرشاخص‌ها در ابعادی مانند انرژی، بهره‌وری اقتصادی آب و سویه‌های جنسیتی این شاخص را توسعه دهد و سپس با بررسی روند تغییرات شاخص میان دولت‌های مختلف حاکم در مصر، الویت‌های مدنظرشان و تغییرات ناشی از آن را در شاخص فقر آبی نمایان سازد.

López Álvarez و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی تحت عنوان "شاخص فقر آب در مناطق نیمه گرمسیری (مطالعه موردی: هوآستکا پوتوسینا)" با استفاده از شاخص فقر آبی، منابع آب مناطق نیمه گرمسیری در هوآستکا پوتوسینا مکزیک را ارزیابی کردند. در این مطالعه از مجموع وزنی استاندارد شده شش مؤلفه منابع، دسترسی، مصارف، ظرفیت، کیفیت و محیط زیست استفاده شده است. برای محاسبه این مؤلفه‌ها از متغیرهای منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی، حجم مصرف، درصد جمعیتی که به آب آشامیدنی دسترسی دارند، درصد جمعیتی که به آب سالم دسترسی دارند، سهم اراضی آبی از کل زمین‌های کشاورزی، درآمد، نرخ مرگ و میر کودکان زیر پنج سال، شاخص آموزش، ضریب جینی، مصرف آب داخلی، مصرف آب کشاورزی، مصرف آب صنعتی، اراضی به کار گرفته شده، مناطق حفاظت شده و اطلاعات کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی استفاده شده است. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد ارزش نهایی شاخص فقر آبی برای حوضه آبریز والس ریو برابر با ۵۹ از ۱۰۰ می‌باشد.

Thakur و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی تحت عنوان "فقر آب در حوضه بالادست رودخانه باگماتی در نپال" شاخص فقر آب در حوضه بالادست رودخانه باگماتی در نپال را بررسی کردند. نتایج نشان داد شاخص فقر آب می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر در مدیریت یکپارچه منابع آب و طرح جامع بهره‌برداری از آب به منظور دستیابی به اهداف توسعه پایدار استفاده شود.

Caizhi Sun و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی تحت عنوان "تجزیه و تحلیل فقر آب روستایی در چین با استفاده از مدل DPSIR-PLS" رابطه علیت شاخص‌های فقر آب با استفاده از مدل DPSIR (نیروی محرک، فشار، وضعیت، اثر و پاسخ) را بررسی کردند. سپس سیستم شاخص و مدل معادلات ساختاری با هم ترکیب شدند و رویکرد حداقل مربعات جزئی برای مدل معادلات ساختاری، فرضیه‌ها را براساس رابطه علیت مدل DPSIR آزمون کردند. لازم به ذکر است وزن هر متغیر با استفاده از مدل اصلاح شده و نرم افزار معادلات ساختاری به دست آمده و امتیازات فقر آب برای هر منطقه محاسبه شده است. نتایج تجزیه و تحلیل اکتشافی فضایی حاکی از آن است که توزیع فقر آب در مناطق روستایی چین خوشه بندی کم-کم و بالا-بالا را نشان می‌دهد.

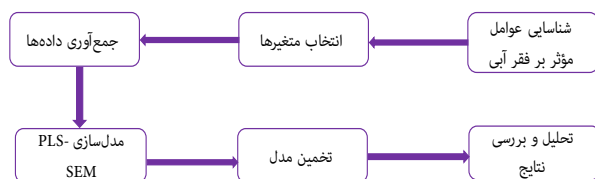
Yuan و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی تحت عنوان "توسعه فقر آب چند بعدی در کمربند اقتصادی رودخانه یانگ تسه، چین" به ایجاد و بررسی چارچوبی از فقر آب چند بعدی از شش بعد مدیریت آب، فناوری آب، دارایی‌های آب، رفاه آب، منابع آب و محیط آب می‌پردازد. مدل اندازه‌گیری فقر آب چند بعدی براساس شبکه عصبی بوده و از ابزار تحلیل همبستگی فضایی برای تجسم اثرات فضایی فقر آب چند بعدی استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که از نظر توزیع زمانی سطح فقر آب چند بعدی در کمربند اقتصادی رودخانه یانگ تسه به تدریج افزایش یافته است و

شکاف فقر بین مناطق بالادست، پایین دست و میانی روند افزایشی را نشان می‌دهد. همچنین فقر آب چند بعدی در منطقه مورد بررسی بیشتر تحت تأثیر این شاخص‌ها در سه بعد متشکل از منابع آب، فناوری آب و مدیریت آب است. به طور خاص هزینه تحقیق و توسعه به عنوان درصدی از تولید ناخالص داخلی، ظرفیت تصفیه روزانه فاضلاب شهری و سرانه منابع آب سطحی و زیرزمینی نقش مهمی در فقر آب چند بعدی دارند.

Jinlong و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی تحت عنوان "بررسی اثر کاهشی احیای پوشش گیاهی بر فقر آب منطقه‌ای: بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های تابلویی ۹ استان در حوزه رودخانه زرد چین از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹" از چارچوب شاخص فقر آب برای محاسبه WPI هر استان و ارزیابی وضعیت فقر آب استفاده کردند. در این مطالعه از مدل حداقل مربعات تعمیم یافته جامع (FGLS) برای تحلیل اثر پوشش گیاهی بر فقر آب استفاده شد. نتایج نشان داد هیچ رابطه خطی خالصی بین پوشش گیاهی و فقر آب وجود ندارد. در حالی که یک رابطه U شکل وجود داشت. همچنین تأثیر پوشش گیاهی بر هر یک از اجزای WPI تفاوت‌های خاصی دارد.

روش پژوهش

مراحل انجام کار به صورت فلوچارت نشان داده شده در شکل (۱) می‌باشد.



شکل ۱- مراحل روش پژوهش

۱- جامعه و نمونه

جامعه آماری این پژوهش استان‌های ایران هستند. نمونه آماری این پژوهش داده‌های استان‌های ایران برای سال ۱۳۹۸ می‌باشد که این داده‌ها در جدول (۱) معرفی شده‌اند.

۲- ابزارها و روش‌های گردآوری اطلاعات

در پژوهش حاضر برای گردآوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از روش‌های میدانی و کتابخانه‌ای استفاده شده است. اطلاعات مربوط به مبانی نظری و پیشینه پژوهش به روش کتابخانه‌ای و با مطالعه کتاب‌ها، مقالات منتشره در پایگاه‌های اطلاعات علمی و مجلات علمی گردآوری شده است. همچنین نیازهای اطلاعاتی برای بررسی و آزمون فرضیات پژوهش و برازش مدل از وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، مرکز آمار ایران، سازمان ثبت احوال

کشور، وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی و وزارت جهاد کشاورزی جمع‌آوری شده است. باتوجه به مدل مفهومی پژوهش، متغیرهای پنهان شامل نیروهای محرک، فشار، وضعیت و اثر می‌باشند که برای سنجش هر کدام از تعدادی شاخص استفاده شده است (جدول ۲). این شاخص‌ها در چارچوب پیشینه تحقیق ازجمله مطالعات انجام شده توسط Caizhi Sun و همکاران (۲۰۱۸) تحت عنوان "تجزیه و تحلیل فقر آب روستایی در چین با استفاده از مدل DPSIR-PLS"، مطالعه El-Gafy (۲۰۱۵) تحت عنوان "شاخص فقر آب به عنوان یک ابزار ارزیابی برای ترسیم استراتژی‌های بخش آب مصر، مطالعه Thakur و همکاران (۲۰۱۷) تحت عنوان "فقر آب در حوزه رودخانه باگماتی در نپال" و ... انتخاب شدند. در این مطالعات شاخص فقر آبی در نمونه‌های جداگانه با استفاده از متغیرهای نرخ بیکاری، تولید ناخالص داخلی، میانگین سالانه ارتفاع بارندگی، پدیده‌های بیابانی و ... ارزیابی و تحلیل شدند که این متغیرها با جزئیات بیشتر در جدول (۱) معرفی شده‌اند.

۳- آزمون مدل مفهومی پژوهش

برای آزمون مدل مفهومی پژوهش، از الگوریتم تحلیل مدل‌ها به روش PLS-SEM با استفاده از نسخه ۳ نرم‌افزار Smartpls به شرح زیر استفاده و تحلیل‌های لازم در سه بخش شامل برازش مدل‌های اندازه‌گیری، برازش مدل ساختاری و برازش مدل کلی انجام شد. به این ترتیب ابتدا از صحت روابط موجود در مدل‌های اندازه‌گیری با استفاده از معیارهای پایایی و روایی اطمینان حاصل کرده و سپس به بررسی و تفسیر روابط موجود در بخش ساختاری پرداخته و در مرحله آخر برازش مدل کلی بررسی شده است. لازم به ذکر است مزیت اصلی روش PLS نسبت به سایر روش‌ها عدم نیاز به حجم بالای نمونه و نرمال بودن توزیع داده‌ها است (داوری و رضازاده، ۱۳۹۶).

- برازش مدل‌های اندازه‌گیری

برازش مدل‌های اندازه‌گیری شامل بررسی پایایی و روایی سازه‌های پژوهش است. پایایی آزمون به دقت اندازه‌گیری و ثبات آن مربوط است. مطابق الگوریتم تحلیل داده‌ها در روش PLS-SEM برای بررسی برازش مدل‌های اندازه‌گیری سه معیار پایایی، روایی همگرا و روایی واگرا استفاده شده است. برای بررسی پایایی دو معیار پیشنهاد شده است: الف) پایایی ترکیبی^{۱۰} (CR)، ب) میانگین واریانس استخراج شده^{۱۱} (AVE).

الف) پایایی: برای بررسی پایایی مدل‌های اندازه‌گیری معیارهای ضرایب بارهای عاملی و پایایی ترکیبی محاسبه می‌شوند. **سنجش بارهای عاملی:** پایایی هر یک از سازه‌ها به مقدار بارهای عاملی هر یک از متغیرهای آشکار اشاره دارد و برای مشخص کردن این که متغیرهای آشکار تا چه اندازه برای سنجش متغیرهای پنهان قابل قبول هستند پایایی سازه‌ها مورد استفاده قرار گرفته و حداقل

مقدار قابل قبول آن ۰/۳ و بارهای عاملی ۰/۴ سطح معناداری متوسط را نشان می‌دهد. در تحلیل‌های عاملی تأییدی مقادیر بارهای عاملی بیشتر از ۰/۵ نشانگر سطح معناداری قوی و همبستگی زیاد بین متغیرهای آشکار و پنهان بوده است و نیز بیانگر آن است که سازه خوب تعریف شده است. البته با افزایش حجم نمونه و تعداد متغیرها، بارهای عاملی کمتر از ۰/۲۵ نیز معنادار است. برای مواردی که تعداد نمونه ۱۰۰ باشد، بارهایی که حداقل ۰/۱۹ و ۰/۲۶ هستند به ترتیب در سطح ۵ درصد و ۱ درصد معنادار تلقی می‌شوند. در حجم نمونه ۲۰۰ تایی مقادیر ۰/۱۴ و ۰/۱۸ به ترتیب در سطح ۵ درصد و ۱ درصد معنادار تلقی می‌شوند (کلانتری، ۱۳۸۸).

پایایی ترکیبی (CR): یکی از معیارهای مدرن برای تعیین پایایی هر یک از سازه‌ها پایایی ترکیبی می‌باشد. برتری این معیار نسبت به ضریب آلفای کرونباخ این است که پایایی سازه‌ها نه به صورت مطلق بلکه باتوجه به همبستگی سازه‌هایشان با یکدیگر محاسبه می‌شوند. مقدار پایایی ترکیبی بالای ۰/۷ برای هر سازه، نشان از پایداری درونی مناسب برای مدل‌های اندازه‌گیری داشته و مقدار کمتر از ۰/۶ عدم وجود پایایی را نشان می‌دهد (داوری و رضازاده، ۱۳۹۶).

ب) روایی همگرا: پس از بررسی معیار پایایی، دومین معیار برازش مدل‌های اندازه‌گیری روایی همگرا است. معیار میانگین واریانس استخراج شده (AVE) برای سنجش روایی همگرا معرفی شده است که توسط آن میزان همبستگی هر سازه با شاخص‌های خود بررسی می‌شود. معیار AVE نشانگر میانگین واریانس به اشتراک گذاشته شده بین هر سازه با شاخص‌های خود است که مقدار بالای ۰/۴ برای آن مناسب در نظر گرفته شده است. مقدار AVE در سازه‌ای با سه شاخص به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$AVE = \frac{Communitality (Y_1) + Communitality (Y_2) + Communitality (Y_3)}{3} \quad (1)$$

که مقدار Communitality مربوط به هر شاخص نیز به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$Communitality(Y) = (X)^2 \quad (2)$$

که در رابطه فوق X بار عاملی^۲ و Y متغیر شاخص می‌باشد. **ج) روایی واگرا:** سومین معیار سنجش برازش مدل‌های اندازه‌گیری در تحلیل‌های PLS، روایی واگرا است که با روش بارهای عاملی متقابل^{۱۲} و روش Fornell-Larcker بررسی می‌شود. در روش بارهای عاملی متقابل، میزان همبستگی بین شاخص‌های یک سازه با آن سازه و میزان همبستگی بین شاخص‌های یک سازه با سازه‌های دیگر مقایسه می‌شود. اگر مشخص شود میزان همبستگی بین یک شاخص با سازه دیگری غیر از سازه خود بیشتر از میزان همبستگی آن شاخص با سازه مربوط به خود است، روایی زیر سؤال می‌رود. ردیف‌های ماتریس بارهای عاملی متقابل به شاخص‌ها و ستون‌های آن نیز به سازه‌های مدل پژوهش تعلق دارد. مقادیری که درون خانه‌های این ماتریس جای دارند، بیانگر میزان همبستگی شاخص‌ها با سازه‌ها

هستند. در روش فورنل لارکر، میزان رابطه یک سازه با شاخص‌هایش در مقایسه رابطه آن سازه با سایر سازه‌ها است. به‌طوری‌که روایی و اگرایی قابل قبول یک مدل حاکی از آن است که یک سازه در مدل تعامل بیشتری با شاخص‌های خود دارد تا با سازه‌های دیگر. این موضوع توسط یک ماتریس بررسی می‌شود که خانه‌های آن حاوی مقادیر ضریب همبستگی بین سازه‌ها و جذر مقادیر AVE مربوط به هر سازه است. این مدل در صورتی روایی و اگرایی قابل قبولی دارد که اعداد مندرج در قطر اصلی از مقادیر زیرین خود بیشتر باشند.

- برازش مدل ساختاری

مطابق با الگوریتم تحلیل داده‌ها در روش PLS، پس از برازش مدل‌های اندازه‌گیری، برازش مدل ساختاری پژوهش انجام می‌شود. برخلاف مدل‌های اندازه‌گیری که در آن روابط بین متغیر پنهان با متغیرهای آشکار مورد توجه است، در بررسی مدل ساختاری روابط بین متغیرهای پنهان با همدیگر تجزیه و تحلیل شده و معیارهای ضرایب معناداری t -values، معیار R Squares یا R^2 ، معیار اندازه تأثیر (f^2) ، معیار استون گیزر (Q^2) و معیار Redundancy برای برازش مدل ساختاری بررسی می‌شوند (عباسی اسفنجانی، ۱۳۹۶).

(الف) مقادیر معناداری t : برای ارزیابی برازش بخش ساختاری مدل از چندین معیار استفاده می‌شود که اولین و اساسی‌ترین آن ضرایب معناداری Z یا همان مقادیر t -values است که در صورتی که مقادیر t از $1/96$ بیشتر باشد بیانگر صحت رابطه بین سازه‌ها و در نتیجه تأیید فرضیه‌های پژوهش در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد.

(ب) معیار R Squares یا R^2 : دومین معیار برای بررسی برازش بخش ساختاری بررسی ضرایب تعیین (R^2) مربوط به متغیرهای پنهان درون‌زای مدل است. این معیار برای متصل کردن بخش اندازه‌گیری و بخش ساختاری مدل‌سازی معادلات ساختاری به کار رفته و بیانگر تأثیر یک متغیر برون‌زا بر یک متغیر درون‌زا است. Chin (۱۹۹۸) مقادیر R^2 را سه مقدار $0/۱۹$ ، $0/۳۳$ و $0/۶۷$ را به‌عنوان ملاکی برای برازش ضعیف، متوسط و قوی معرفی می‌کند.

(ج) معیار Redundancy: این معیار از حاصل ضرب مقادیر اشتراکی سازه‌ها در مقادیر R^2 مربوط به آن‌ها به‌دست می‌آید و نشانگر مقدار تغییرپذیری شاخص‌های یک سازه درون‌زا است که از یک یا چند سازه برون‌زا تأثیر می‌پذیرد. در مورد مقدار ملاک برای این شاخص عددی بیان نشده و میانگین این شاخص یک معیار کلی کیفیت مدل ساختاری است که برای همه سازه‌های درون‌زا به کار می‌رود و تنها برای استفاده در فرمول محاسبه برازش مدل کلی و شاخص نیکویی برازش^{۱۵} محاسبه می‌شود.

در ارزیابی مدل ساختاری یکی از رویه‌های ارزیابی، ارزیابی مدل ساختاری برای مسأله هم‌خطی است. برای ارزیابی هم‌خطی از معیار VIF ^{۱۶} استفاده می‌شود. نحوه محاسبه VIF به‌صورت

رابطه (۳) می‌باشد:

$$VIF = 1/(1-R^2) \quad (۳)$$

اگر مقدار این معیار کمتر از $0/۲$ (VIF بالاتر از ۵) در سازه‌های پیش‌بین باشد نشان‌دهنده هم‌خطی است اگر هم‌خطی به‌وسیله VIF مشخص شد، حذف سازه‌ها، ادغام سازه‌های پیش‌بین در یک سازه، یا خلق سازه‌های مرتبه بالاتر برای برخورد با مسأله هم‌خطی باید مدنظر قرار گیرد (آذر و غلامزاده، ۱۳۹۸).

- برازش مدل کلی

پس از بررسی برازش بخش اندازه‌گیری و بخش ساختاری، برازش بخش کلی بررسی می‌شود که برای این کار از معیار GOF استفاده می‌شود. این معیار اعتبار هر دو مدل اندازه‌گیری و ساختاری را بررسی می‌کند و قدرت توضیح‌دهندگی مدل را نشان می‌دهد. معیار GOF در ارزیابی مدل‌های PLS-SEM اهمیت بالایی دارد تا جاییکه در برخی مطالعات تنها به مقدار بالای GOF اکتفا می‌شود (مداح و سینائی، ۱۳۹۹). معیار GOF به‌صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$GOF = \sqrt{\text{Communalties} * R^2} \quad (۴)$$

که در رابطه فوق Communalties نشان‌دهنده میانگین مقادیر اشتراکی هر سازه می‌باشد و R^2 مقدار میانگین مقادیر ضریب تعیین سازه‌های درون‌زای مدل است. Wetzels و همکاران (۲۰۰۹) برای GOF سه مقدار $0/۲۵$ ، $0/۳۶$ و $0/۴۳$ را به‌عنوان مقادیر ضعیف، متوسط و قوی معرفی نموده‌اند.

پس از بیان روش پژوهش با توجه به این‌که ویژگی‌های استانی نیز می‌توانند روی مدل اثر بگذارند، از متغیرهای مجازی استفاده شده است. در این خصوص برای در نظر گرفتن اثرات استانی طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره صورت گرفت. به این‌صورت که یک دسته ۹ متغیره آب‌وهوایی در ۴۳ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در ایران با تحلیل عاملی و تجزیه خوشه‌ای مطالعه شد. روش تحلیل عاملی، ۳ عامل مهم را نشان داد: عامل رطوبت، دما و جهت‌گیری باد. تغییرپذیری فضایی امتیازات عاملی توصیف و تفسیر شد و سپس گروه‌بندی امتیازات عاملی با تکنیک گروه‌بندی فاصله‌ای، ایران را به ۶ ناحیه اقلیمی همگن تقسیم نمود. لذا به‌منظور جلوگیری از پیچیدگی مدل استان‌های کشور به ۶ ناحیه به‌صورت زیر تقسیم شدند:

ناحیه اقلیمی مرطوب و معتدل (خزر)، ناحیه اقلیمی نیمه خشک کشور، ناحیه اقلیمی زاگرس، ناحیه اقلیمی بیابانی خیلی گرم ساحلی، ناحیه اقلیمی بیابانی معتدل تا شدید خیلی گرم داخلی، ناحیه اقلیمی بیابانی نیمه گرم تا گرم (حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸).

پس از برآورد مدل با استفاده از روش حداقل مربعات جزئی رابطه بین فقر آب و متغیرهای مؤثر بر آن تحلیل می‌شود. دلایل انتخاب مدل PLS-SEM به ماهیت پنهان فقر آب و رابطه آن با متغیرهای

جدول ۲- آمارهای توصیفی تحقیق در سال ۱۳۹۸

LVs	MVs	Min	Max	Mean	Std.Error
D	U ₁₃₉₈	۶/۹	۱۵/۷	۱۰/۷۹۳	۲/۵۱۸
	ND ₁₃₉₈	۴/۲۶	۱۰/۶۹	۶/۸۱۴	۱/۵۴۳
P	R ₁₃₉₈	۷۸	۸۵۰/۷	۳۳۴/۳۱۲	۱۷۴/۴۸۶
	IL ₁₃₉₈	۱۵/۷۲	۹۹/۹	۶۴/۹۸۷	۲۵/۱۷۸
	RG ₁₃₉₈	۰/۰۰۰۱۱۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۰۲
	CP ₁₃₉₈	۰	۰/۱۲۸	۰/۰۲۳۱	۰/۰۳۵۷
	FE ₁₃₉₈	۰/۰۸	۰/۲۵۵	۰/۱۴۳	۰/۰۴۶۵
S	TAW ₁₃₉₈	۰	۲۹۲۹۸	۲۶۵۰/۶۴	۵۵۵۵/۲۹
	GNW ₁₃₉₈	۰	۳۲/۸۷	۳/۹۱۳	۶/۶۷۸
	P ₁₃₉₈	۱۱	۹۶	۴۸/۶۱	۲۱/۸۵۳
	GW ₁₃₉₈	۱۷/۲۴	۷۱۸/۱۳	۱۵۳/۶۸	۱۴۳/۱۴۳
	VDW ₁₃₉₈	۳۵/۷۹	۸۴۱/۹۹	۱۴۷/۷۸۷	۱۵۱/۲۵۷
	TW ₁₃₉₈	۰	۱۶۲۸	۲۷۱/۴۸	۳۴۴/۵۲۳
	TIW ₁₃₉₈	۰	۴۵۰۵	۲۱۳/۸	۷۸۸/۰۸۶
I	DPH ₁₃₉₈	۰/۰۰۲۵۷	۷۸۶/۰۵۵	۱۰۵/۰۸۵	۱۹۳/۳۸

آشکار وابسته است که استفاده از رویکرد معادلات ساختاری را توجیه می‌کند. علاوه بر این طبق نظر محققان، SEM قابلیت آن دارد تا به آزمون هم‌زمان فرضیه‌های اقتصادی از روابط متعدد بین متغیر پنهان و علل و آثار آن با استفاده از یک روش آماری واحد بپردازد (مداح و سینائی، ۱۳۹۹). لذا با توجه به آن که فقر آب یک پدیده چند بعدی است که اندازه آن تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد، از مدل‌سازی معادلات ساختاری برای تحلیل روند آن استفاده شده است.

برآورد مدل و تحلیل تجربی

در این قسمت نتایج برآورد مدل فقر آب به روش PLS-SEM ارائه می‌شود.

۱- برازش مدل‌های اندازه‌گیری و ساختاری

پیش از برآورد مدل، ابتدا متغیرهای پژوهش در جدول (۱) معرفی و سپس آمارهای توصیفی تحقیق در جدول (۲) آورده شده است. در مرحله برآورد مدل فقر آب به روش حداقل مربعات جزئی، اطلاعات متغیرها برای سال ۱۳۹۸ استفاده شدند که در جدول (۲) معرفی شدند.

جدول ۱- معرفی متغیرهای پژوهش

محل اخذ	نام متغیر	^{۱۷} MVs	^{۱۸} LVs
مرکز آمار ایران، سالنامه آماری (۱۳۹۸)	نرخ بیکاری	U ₁₃₉₈	D (نیروی محرک)
	تعداد پزشکان در هر ده هزار نفر	ND ₁₃₉₈	
مرکز آمار ایران، سالنامه آماری (۱۳۹۸)	میانگین سالانه ارتفاع بارندگی	R ₁₃₉₈	P (فشار)
	درصد اراضی زیرکشت آبی از کل زمین‌های زیرکشت	IL ₁₃₉₈	
وزارت جهاد کشاورزی، آمارنامه کشاورزی (۱۳۹۸)	نسبت بارش به هر هکتار زمین کشاورزی	RG ₁₃₉₈	
	مصرف سموم در هر هکتار زمین	CP ₁₃₉₈	
	مصرف کود شیمیایی در هر هکتار سطح زیرکشت	FE ₁₃₉₈	
شرکت مدیریت منابع آب ایران (۱۳۹۸)	مصرف آب کشاورزی کل	TAW ₁₃₉₈	S (وضعیت)
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، صورت‌های مالی (۱۳۹۸)	مصرف آب فضای سبز	GNW ₁₃₉₈	
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، سالنامه آماری آب کشور (۱۳۹۸)	درصد جمعیت تحت پوشش خدمات جمع‌آوری و دفع بهداشتی فاضلاب شهری	P ₁₃₉₈	
	حجم کل آب زیرزمینی	GW ₁₃₉₈	
	حجم کل فروش آب خانگی	VDW ₁₃₉₈	
شرکت مدیریت منابع آب ایران (۱۳۹۸)	آب شرب کل	TW ₁₃₉₈	
	آب صنعتی کل	TIW ₁₃₉₈	
وزارت جهاد کشاورزی، آمارنامه کشاورزی (۱۳۹۸)	پدیده‌های بیابانی	DPH ₁₃₉₈	I (اثر)

طبق تعاریف انجام شده در قسمت قبل، سازه‌های S، P، D و I از نوع انعکاسی هستند (Caizhi Sun و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج به‌دست آمده از برآورد سازه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SmartPLS3 در جدول (۷) ارائه شده است.

حال پس از بیان روش تحقیق، در چارچوب دلایل تجربی و نظری ارائه شده در قسمت ادبیات پژوهش و بر مبنای روش معادلات ساختاری متغیرهای فقر آب در هریک از سازه‌های مدل نهایی، بهترین برازش به‌صورت زیر معرفی می‌شود (جداول ۳ تا ۶).

جدول ۳- متغیرهای مفهومی سازه نیروی محرک (D)

متغیرهای سازه	ضریب عاملی	P-Value
U	۰/۶۲۹	۰/۰۰۰
ND	۰/۹۳۴	۰/۰۰۰

جدول ۴- متغیرهای مفهومی سازه فشار (P)

متغیرهای سازه	ضریب عاملی	P-Value
R	۰/۶۸۶	۰/۰۰۰
IL	۰/۸۹۳	۰/۰۰۰
CP	۰/۴۷۱	۰/۰۰۰
FE	۰/۴۱۰	۰/۰۰۰
RG	۰/۲۱۳	۰/۰۰۰

جدول ۵- متغیرهای مفهومی سازه وضعیت (S)

متغیرهای سازه	ضریب عاملی	P-Value
P	۰/۱۱۹	۰/۰۰۰
GW	۰/۶۸۵	۰/۰۰۰
VDW	۰/۷۴۹	۰/۰۰۰
TAW	۰/۱۲۱	۰/۰۰۰
TW	۰/۸۸۸	۰/۰۰۰
TIW	۰/۴۹۴	۰/۰۰۰
GNW	۰/۷۵۳	۰/۰۰۰

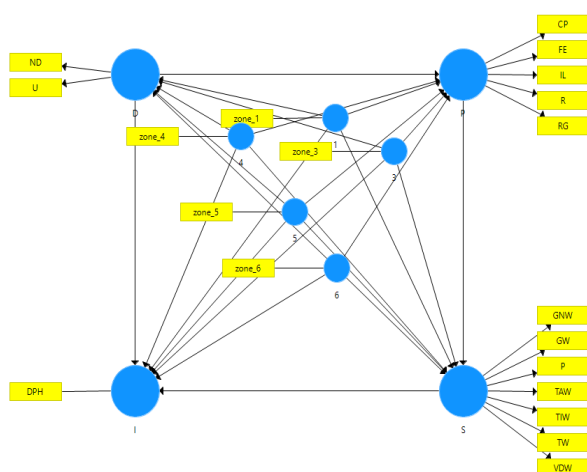
جدول ۶- متغیرهای مفهومی سازه اثر (I)

متغیرهای سازه	ضریب عاملی	P-Value
DPH	۱	۰/۰۰۰

جدول ۷- نتایج پارامترهای CR و AVE در سال ۱۳۹۸

سال		D	P	S	I
۱۳۹۸	CR	۰/۷۶۹	۰/۶۸۴	۰/۷۷۰	۱
	AVE	۰/۶۳۴	۰/۳۴۱	۰/۳۸۰	۱

در زندگی افراد است. تغییر این عوامل، تولید و مصرف جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نهایت فشار (سازه P) بر منابع طبیعی و محیط‌زیستی ایجاد می‌کند. در این شکل فشار شامل متغیرهای میانگین سالانه ارتفاع بارندگی، درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت، نسبت بارش به هر هکتار زمین کشاورزی، مصرف سموم در هر هکتار زمین و مصرف کود شیمیایی در هر هکتار سطح زیر کشت است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم توسط نیروهای محرک و به‌دلیل عوامل بیرونی مرتبط با نیروهای محرک ایجاد می‌شوند که این نیز از پیامدهای فعالیت‌های انسانی است. متغیرهای تشکیل‌دهنده سازه فشار در نهایت وضعیت محیط‌زیستی را در استان‌های کشور تحت تأثیر قرار می‌دهند. سازه وضعیت با متغیرهای مصرف آب کشاورزی کل، مصرف آب فضای سبز، درصد جمعیت تحت پوشش خدمات جمع‌آوری و دفع بهداشتی فاضلاب شهری، حجم کل آب زیرزمینی، حجم کل فروش آب خانگی، آب شرب کل و آب صنعتی کل در شکل مشخص شده است. در نهایت سازه اثر در شکل مشاهده می‌شود که تغییرات آن متأثر از وضعیت محیط‌زیستی و نیروهای محرک است. این سازه با متغیر پدیده‌های بیابانی در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- مسیر مدل فقر آب در سال ۱۳۹۸

یکی دیگر از معیارهای برازش مدل اندازه‌گیری معیار روایی و اگر است که نتایج آن در چارچوب ماتریس فورنل و لارکر در جدول (۸) ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است عناصر روی قطر اصلی از مقادیر زیرین خود بیشتر است که این امر روایی و اگر ای قابل قبول مدل را نشان می‌دهد.

مدل فقر آب از یک مدل ساختاری تشکیل شده است که ارتباط بین سازه‌ها را تبیین می‌کند. در جدول (۹) اطلاعات مربوط به برآورد مدل ساختاری پژوهش ارائه شده است که طبق آن اثر معنی‌دار نیروهای محرک بر فشار و اثر و هم‌چنین اثر معنی‌دار فشار بر وضعیت و نیز اثر معنی‌دار وضعیت بر اثر تأیید می‌شود.

طبق اطلاعات مندرج در جدول متغیرهای مفهومی بار عاملی متغیرها مثبت و معنی‌دار به‌دست آمده است که رابطه مستقیم بین متغیرها و سازه‌ها را تأیید می‌کند. در ادامه برای ارزیابی مدل اندازه‌گیری با شاخص‌های انعکاسی مقدار AVE سازه‌ها در سال ۱۳۹۸ در جدول فوق گزارش شد که اطلاعات مندرج در جدول فوق حاکی از آن است که در مجموع روایی همگرای مناسب در مورد سازه‌ها وجود دارد. نمودار مسیر به‌دست آمده از برآورد فقر آب در سال ۱۳۹۸ در شکل (۲) ارائه شده است. در این شکل نیروهای محرک شامل نرخ بیکاری و تعداد پزشکان در هر ده هزار نفر می‌باشد که نشان‌دهنده تحولات اقتصادی در جامعه، رشد جمعیت و تغییرات

جدول ۸- ماتریس سنجش روایی و اگر به روش فورنل و لارکر در سال ۱۳۹۸

سازه‌ها	D	I	P	S
D	۰/۷۹۶			
I	۰/۱۲۴	۱		
P	-۰/۰۸۲	۰/۶۲۴	۰/۵۸۴	
S	-۰/۱۵۸	-۰/۰۷۴	۰/۱۷۲	۰/۶۱۶

جدول ۹- نتایج برآورد مدل ساختاری در مقاطع زمانی ۱۳۹۰، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸

سال	مسیر	ضریب	p-Value	نتیجه
۱۳۹۸	D → P	۰/۲۲۵	۰/۰۰۰	تأیید معنی‌داری
	P → S	-۰/۵۷۳	۰/۰۰۰	تأیید معنی‌داری
	S → I	-۰/۴۰۶	۰/۰۰۰	تأیید معنی‌داری
	D → I	۰/۲۹۵	۰/۰۰۰	تأیید معنی‌داری

باتوجه به نتایج جدول (۹) علامت ضرایب مسیر در سال ۱۳۹۸ مطابق انتظار بوده و لذا فرضیه‌های تحقیق تأیید می‌شوند. در بررسی برازش مدل ساختاری مقدار R^2 اهمیت دارد که میزان توضیح دهنده متغیر درون‌زا توسط متغیر برون‌زا را نشان می‌دهد. مقادیر R^2 سازه‌ها در جدول (۱۰) نشان داده می‌شود. باتوجه به نتایج به‌دست آمده در جدول (۱۰) می‌توان گفت متغیرهای برون‌زا به خوبی تغییرات متغیر درون‌زا را توضیح می‌دهند. همچنین مقادیر VIF سازه‌ها در جدول (۱۱) گزارش شده است. باتوجه به این که مقادیر VIF برای سازه‌های مدل کوچکتر از ۵ می‌باشد نشان‌دهنده عدم هم‌خطی بوده و لذا سازه‌ها در مدل حفظ می‌شوند (آذر و غلامزاده، ۱۳۹۸).

جدول ۱۰- مقادیر ضریب تعیین سازه‌های تحقیق در سال ۱۳۹۸

LVs	D	P	S	I
R^2	۰/۳۰۰	۰/۷۴۹	۰/۳۷۰	۰/۴۸۶

جدول ۱۱- مقادیر VIF سازه‌های مدل در سال ۱۳۹۸

مسیر	D → P	P → S	S → I	D → I
VIF	۱/۴۲۹	۳/۴۸۸	۱/۴۱۶	۱/۴۶۵

در بین عوامل انعکاس‌دهنده سازه نیروهای محرک، تعداد پزشکان در هر ده هزار نفر با ضریب ۰/۹۳۴ با شدت بیشتری نسبت به نرخ بیکاری با ضریب ۰/۶۲۹ تغییرات نیروهای محرک را نشان می‌دهند^{۱۹} و این نتایج منطبق با یافته‌های Wenxin Liu و همکاران (۲۰۱۸) می‌باشد. همچنین درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیر کشت با ضریب ۰/۸۹۳ مهمترین عامل انعکاس‌دهنده سازه فشار است. علاوه بر آن متغیر مصرف آب شرب کل با ضریب ۰/۸۸۸ مهمترین متغیر توضیح دهنده تغییرات سازه

وضعیت می‌باشد. در این سازه متغیرهای دیگری مثل مصرف آب کشاورزی کل، مصرف آب فضای سبز، درصد جمعیت تحت پوشش خدمات جمع‌آوری و دفع بهداشتی فاضلاب شهری، حجم کل آب زیرزمینی و ... تغییرات وضعیت را تشریح می‌کنند که درجه اهمیت آن‌ها نسبت به مصرف آب شرب کل کمتر است. در مطالعات انجام شده توسط Caizhi Sun و همکاران (۲۰۱۸)، El-Gafy (۲۰۱۵) و سلامی و طاهری ریکنده (۱۳۹۸) درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیرکشت و مصرف آب شرب کل به عنوان متغیرهای نشان دهنده فشار و وضعیت مورد استناد قرار گرفته است.

۲- برازش مدل کلی

پس از بررسی برازش بخش اندازه‌گیری و بخش ساختاری، برازش بخش کلی مدل بررسی شده است که برای این کار از معیار GOF استفاده می‌شود. با استفاده از مقادیر R^2 و $Communalities$ محاسباتی در قسمت‌های قبل، مقدار GOF در سال ۱۳۹۸ به صورت زیر قابل محاسبه است. براین اساس به دست آمدن مقدار ۰/۵۲۹۴ برای GOF نشان از برازش کلی قوی مدل دارد (Wetzels و همکاران، ۲۰۰۹).

در سال ۱۳۹۸:

$$Communality (D) = \frac{0/934^2 + 0/629^2}{2} = 633999/0$$

$$Communality (p) = \frac{0/471^2 + 0/410^2 + 0/893^2 + 0/686^2 + 0/213^2}{5} = 340671/0$$

$$Communality (S) = \frac{0/753^2 + 0/685^2 + 0/119^2 + 0/121^2 + 0/494^2 + 0/888^2 + 0/749^2}{7} = 0/379802$$

$$Communality (I) = 1$$

$$\overline{Communalities} = \frac{0/633999 + 0/340671 + 0/379802 + 1}{4} = 0/588618$$

$$\overline{R^2} = \frac{0/300 + 0/749 + 0/370 + 0/486}{4} = 0/47625$$

$$GOF = \sqrt{\overline{Communalities} * \overline{R^2}} = \sqrt{0/588618 * 0/47625} = \sqrt{0/2803293225} = 0/5294$$

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر بر فقر آب در استان‌های ایران برای سال ۱۳۹۸ است. به این ترتیب با استفاده از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری با رویکرد حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM) فقر آب را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج برآورد اعتبار سازه شامل بار عاملی، AVE، روایی همگرا، روایی و اگر و شاخص‌های CR و GOF بیانگر کیفیت و برازش مناسب مدل اندازه‌گیری فقر آب است. این پژوهش فقر آب را از چشم انداز چهار محرک ارزیابی می‌کند: نیروهای محرک، فشار، وضعیت و اثر. نیروهای محرک، به شکل توسعه اجتماعی، اقتصادی، یا محیط‌زیستی، فشارهایی را روی محیط‌زیست اعمال می‌کنند، در نتیجه، وضعیت محیط‌زیست تغییر می‌کند که می‌تواند شامل کاهش منابع طبیعی، کاهش تنوع زیستی، و تخریب کیفیت محیط‌زیست شود. سپس این تغییرات اثراتی را روی اکوسیستم، سلامت بشر، و سایر مواد دارند. نتایج به‌دست آمده از برآورد مدل نشان می‌دهند ۱- نیروهای محرک

- آذر، عادل، و غلامزاده، رسول. (۱۳۹۸). مدل سازی معادلات ساختاری کمترین مربعات جزئی (PLS-SEM). انتشارات نگاه دانش. چاپ دوم. تهران، ایران.
- جابرزاده، محمد. (۱۳۹۳). برآورد شاخص فقر آبی در استان های کشور. هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، ایران.
- حیدری، حسن، و علیجانی، بهلول. (۱۳۷۸). طبقه بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک های آماری چند متغیره. پژوهش های جغرافیایی، ۳۷، ۵۷-۷۴.
- داوری، علی، و رضازاده، آرش. (۱۳۹۶). مدل سازی معادلات ساختاری با نرم افزار PLS. سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی. چهارم ۱۳۹۶. تهران، ایران.
- سبحانی، رضا، عمادی، علیرضا، فضل اولی، رامین، و زمان زاد قویدل، سروین. (۱۴۰۱). سنجش نوآورانه شاخص فقر آبی بر پایه مدل های ریاضی-تحلیلی مؤثر و داده محور در استان آذربایجان غربی. تحقیقات منابع آب ایران، ۶۵(۲)، ۵۴-۷۰. doi: 20.1001.1.1.7352347.1402.19.2.4.1
- سلامی، حبیب اله، و طاهری ریکنده، عمران. (۱۳۹۸). سنجش وضعیت امنیت آبی در استان های ایران. اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۳(۱)، ۷۵-۹۴. doi: 20.1001.1.20084722.13.98.33.1.6.2
- شریف زادگان، محمدحسین، ندایی طوسی، سحر، و جمالی، فرزاد. (۱۳۹۵). شناسایی موانع توسعه ی منطقه ای با به کارگیری شاخص فقر آبی (نمونه موردی: استان قزوین). جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۶۵(۱)، ۱۷۰-۱۵۱. doi: 10.22108/GEP.2017.98243.0
- طالبی، حسین، و امینی، عباس. (۱۳۹۷). بررسی ابعاد کم آبی با استفاده از روش شاخص فقر آبی (WPI) و تحلیل مقایسه ای آن در بخش های شهرستان قم. آمایش سرزمین، ۱۰(۲)، ۳۴۵-۳۶۶. doi: 10.22059/jtcp.2019.272853.669940
- عباسی اسفنجانی، حسین. (۱۳۹۶). طراحی الگوی تجاری سازی تحقیقات دانشگاهی با روش مدل سازی معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM). فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، ۸۲(۲۱)، ۲۱-۱. doi: 20.1001.1.17350794.1396.21.82.2.6
- کلانتری، خلیل. (۱۳۸۸). مدل سازی معادلات ساختاری در تحقیقات اجتماعی اقتصادی. انتشارات فرهنگ صبا. چاپ اول. تهران، ایران.
- مداح، مجید، و سینائی، مهلا. (۱۳۹۹). تحلیل تجربی روند پولشویی در ایران (رهیافت روش معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی). فصلنامه تحقیقات مدل سازی اقتصادی، ۱۱(۴۰)، ۹۹-۱۲۲. doi: 10.29252/jemr.10.40.99
- مرکز آمار ایران. سالنامه آماری کشور. (۱۳۹۸). اطلاع رسانی به آدرس:

اثر مثبت و معنادار روی سازه های فشار و اثر فقر آبی در سطح استان های کشور دارند، ۲- سازه فشار اثر منفی و معناداری روی وضعیت فقر آبی دارد و ۳- سازه وضعیت که بیان کننده تغییرات محیط زیستی است و اثر منفی و معنادار بر روی اثرات فقر آبی دارد. از طریق نتایج به دست آمده در خصوص عوامل اثرگذار بر فقر آب در سال ۱۳۹۸ می توان گفت که در سازه های نیروهای محرک، فشار، وضعیت و اثر متغیرهای تعداد پزشکان در هر ده هزار نفر، درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین های زیر کشت، مصرف آب شرب کل و پدیده های بیابانی به ترتیب با ضریب اهمیت ۰،۹۳۴، ۰،۸۹۳، ۰،۸۸۸ و ۱ مشخص می شوند. لذا لازم است به جای دید سطحی موجود اقدام به تدوین یک سلسله شاخص های چند بعدی و جامع شود تا یک دید عمیق و وسیع نسبت به وضع موجود و پیش بینی وضعیت آینده ایجاد شود. چنین کاری مستلزم وجود و کسب اطلاعات کامل تر و جامع در زمینه های مختلف مانند حجم منابع، میزان آلودگی، سطح اطلاعات جامعه، فرهنگ مصرف و بسیاری از موارد دیگر می باشد. وجود چنین معیارهایی می تواند کمک قابل توجهی به امر سیاست گذاری در سطح ملی و بین المللی و حتی در سطح محلی و مقیاس های کوچک تر نماید. به بیان دیگر شاخص های جامع و چند بعدی ابزار غیر قابل اجتناب مدیریت به هم پیوسته منابع آب هستند. بر اساس نتایج این مطالعه می توان اظهار داشت صرف وجود منابع آبی کافی در یک استان نمی تواند نشان دهنده وضعیت مناسبی از عدم محدودیت های آبی در آن استان باشد چرا که عوامل دیگری مثل نرخ بیکاری، درصد اراضی زیر کشت، پدیده های بیابانی نیز وضعیت فقر آبی را تحت تأثیر قرار می دهند. براین اساس رفع فقر آبی نیازمند برنامه ریزی در حوزه های مختلف اقتصادی و اجتماعی و محیط زیستی می باشد.

پی نوشت ها

- 1-Third Millennium Development Goals
 - 2-Johannesburg
 - 3-World Water Forum
 - 4-Kyoto
 - 5-Driving Forces
 - 6-Pressure
 - 7-State
 - 8-Impact
 - 9-Partial Least Squares Structural Equation Modeling
 - 10-Composite Reliability
 - 11-Average Variance Extracted
 - 12-Loading
 - 13-Cross Loadings
 - 14-Stone & Geisser Critrion
 - 15-Goodness of Fit
 - 16-Variance Inflation Factor
 - 17-Manifest Variables
 - 18-Latent Variables
- ۱۹- همچنین درصد افراد تحت پوشش سازمان تأمین اجتماعی هم می تواند به عنوان نیروی محرک در فقر آبی مؤثر باشد.

- analysis of 9 provinces in the Yellow River basin of China from 1999 to 2019. *Ecological indicators*, 146(2023), 109860. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109860>
- Lawrence, P., Meigh, J., & Sullivan, C. (2002). The water poverty index: an international comparison. *Keele Economics Research Papers*. Keele University. Keele. Staffordshire, United Kingdom.
- López Álvarez, B., Santacruz de León, G., Ramos Leal, J. A., & Morán Ramírez, J. (2015). Water poverty index in subtropical zones: The case of Huasteca Potosina. Mexico. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(2), 173-184.
- Manandhar, S., Pandey, V. P., & Kazama, F. (2012). Application of water poverty index (WPI) in Nepalese context: A case study of Kali Gandaki River Basin (KGRB). *Water Resources Management*, 26(1), 89-107. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9907-x>
- Namara, R. E., Hanjra, M. A., Castillo, G. E., Ravnborg, H. M., Smith, L., & Van Koppen, B. (2010). Agricultural water management and poverty linkages. *Agricultural water management*, 97(4), 520-527. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.05.007>
- Salameh, E. (2000). Redefining the water poverty index. *Water International*, 25(3), 469-473. <https://doi.org/10.1080/02508060008686855>
- Thakur, J. K., Neupane, M., & Mohanan, A. A. (2017). Water poverty in upper Bagmati River basin in Nepal. *Water Science*, 31(1), 93-108. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2016.12.001>
- Wenxin, L., Minjuan, Zh., & Tao, X. (2018). Water Poverty in Rural Communities of Arid Areas in China. *Water*, 10(4), 505. <https://doi.org/10.3390/w10040505>
- Wetzels, M., Odekerken-Schroder, G., & Van Oppen, C. (2009). Using PLS path modeling for assessing hierarchical construct models: Guidelines and empirical illustration. *MIS Quarterly*, 33(1), 177-195. <https://doi.org/10.2307/20650284>
- Yuan, L., Yang, D., Wu, X., He, W., Kong, Y., Ramsey, T. S., & Degefu, D. M. (2023). Development of multidimensional water poverty in the Yangtze River Economic Belt, China. *Journal of Environmental Management*, 325, 116608. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116608>
- <https://www.amar.org.ir>
وزارت جهاد کشاورزی. آمارنامه کشاورزی. (۱۳۹۸). اطلاع رسانی به آدرس: <https://amar.maj.ir>
- وزارت نیرو. شرکت مدیریت منابع آب ایران. صورت‌های مالی. (۱۳۹۸). اطلاع رسانی به آدرس: <https://www.wrm.ir>
- وزارت نیرو. شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. سالنامه آماری آب کشور. (۱۳۹۸). اطلاع رسانی به آدرس: <https://www.nww.ir>
- Breanna, C., Prince Luke, J., Venkataramana, S., Anamaria, B., & Morgan, C. M. (2020). A statistical and spatial analysis of water poverty using a modified Water Poverty Index. *International Journal of Water Resources Development*, 37(2), 339-356. <https://doi.org/10.1080/0790627.2020.1768829>
- Caizhi, S., Yongjie, W., Wei, Z., Liangshi, Zh., & Wenxin, L. (2018). A Rural Water Poverty Analysis in China Using the DPSIR-PLS Model. *Springer Science. Water Resour Manage*, 32, 1933-1951. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1819-y>
- Chin, W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. In G.A. Marcoulides [Ed.]. *Modern Methods for Business Research*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 295-336.
- El-Gafy, I. K. E. D. (2015). The water poverty index as an assistant tool for drawing strategies of the Egyptian water sector. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(2), 173-186. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2015.09.008>
- Feitelson, E., & Chenoweth, J. (2002). Water poverty: towards a meaningful indicator. *Water Policy*, 4(3), 263-281. [https://doi.org/10.1016/S1366-7017\(02\)00029-6](https://doi.org/10.1016/S1366-7017(02)00029-6)
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of marketing research*, 18(1), 39-50. <https://doi.org/10.1177/0022243781018001>
- Forouzani, M., Karami, E., Zibaei, M., & Zamani, G.H. (2012). Agricultural Water Poverty Index for a Sustainable World. In: Lichtfouse, E. (eds) *Farming for Food and Water Security. Sustainable Agriculture Reviews*. vol 10. Springer, Dordrecht, Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4500-1_6
- Jinlong, Sh., Hanying, Zh., Yekun, Zh., & Jianfeng, S. (2023). An examination of the mitigation effect of vegetation restoration on regional water poverty: Based on panel data

Genetic Programming Method in Urban Water Consumption Prediction (Case Study: Najafabad City)

M. R. Alikhani¹, R. Moeini^{2*}

1, 2- M.Sc. Student and Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

*(Corresponding Author Email: r.moeini@eng.ui.ac.ir)

Received: 20-06-2023

Revised: 27-08-2023

Accepted: 05-09-2023

Available Online: 21-12-2023

روش برنامه نویسی ژنتیک (GP) در پیش بینی میزان مصرف آب شهری (مطالعه موردی: شهر نجف آباد)

محمدرضا علیخانی^۱، رامتین معینی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب و دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی عمران حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

*(نویسنده ی مسئول، E-Mail: r.moeini@eng.ui.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴

Abstract

Improving the lifestyle of city residents is conditional on benefiting from high-quality urban infrastructure to satisfy daily demands. The urban water supply network is one of the most basic urban infrastructures, and its optimal design and service are essential during the planning period. Therefore, it is important to determine the actual amount of consumption and predict it for the future. For this purpose, in this research, a method based on artificial intelligence, i.e., genetic programming (GP), as well as Pearson's correlation coefficient data mining method, is proposed. The data mining method is applied here for the database, including daily data on temperature, precipitation, humidity, and the amount of daily water produced in Najafabad city (presenting the total water consumption) from the beginning of 2014 to the end of 2018, and the best set of input data vectors is selected. The selected data are used as input data vectors for the proposed. The obtained results are compared with the results of models based on artificial neural network (ANN). To investigate the performance of the models, R^2 , RMSE, and NSE statistical indices are calculated. A comparison of the results indicates the acceptable performance of the proposed models based on the GP. In other words, the values of RMSE, NSE, R^2 , and MAPE statistical indices for training data in the best GP model are equal to 3262.59 MCM, 0.80, 0.80, and 5.38%, respectively, and for test data equal to 3507.68 MCM, 0.78, 0.78, and 6.67%.

Keywords: Water Consumption, Prediction, Artificial Intelligence, Genetic Programming, Artificial Neural Network, Najafabad City.

چکیده

ارتقا سطح کیفی زندگی ساکنین شهرها به بهره‌مندی از زیرساخت شهری با کیفیت بالا، به‌منظور برآورده کردن نیازهای روزانه وابسته است. شبکه آبرسانی شهری یکی از اساسی‌ترین زیرساخت‌های شهری است که طراحی و سرویس‌دهی مطلوب آن در طول دوره طرح ضروری است. از این رو تعیین میزان واقعی مصرف و پیش‌بینی آن در آینده اهمیت دارد. به این منظور در این تحقیق، از یک روش بر مبنای هوش مصنوعی، روش برنامه‌نویسی ژنتیک (GP) و همچنین روش داده‌کاوی ضریب هم‌بستگی پیرسون استفاده شده است. روش‌های داده‌کاوی بر روی بانک داده شامل داده‌های روزانه دما، بارش، رطوبت و مقدار آب تولیدی روزانه برای شهر نجف آباد در اصفهان از ابتدای سال ۱۳۹۴ تا انتهای سال ۱۳۹۸ اعمال و بهترین ترکیب از داده‌های ورودی انتخاب شده است. داده‌های منتخب به‌عنوان بردارهای ورودی برای مدل‌های پیشنهادی بر مبنای روش GP اعمال و مقدار آب تولیدی روزانه (نشان‌دهنده آب مصرفی کل) شهر نجف آباد پیش‌بینی شده است. نتایج به‌دست آمده با نتایج مدل‌هایی بر مبنای شبکه عصبی مصنوعی (ANN) مقایسه شده است. برای بررسی عملکرد مدل‌ها، شاخص‌های آماری R^2 ، RMSE و NSE محاسبه شده است. مقایسه نتایج نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول مدل‌های پیشنهادی بر مبنای GP می‌باشد. به عبارت دیگر، مقدار شاخص‌های آماری RMSE، NSE، R^2 و MAPE برای داده‌های آموزش در بهترین مدل GP به ترتیب برابر با ۳۲۶۲/۵۹، ۰/۸۰، ۰/۸۰ و ۵/۳۸ درصد و برای داده‌های آزمایش به ترتیب برابر با ۳۵۰۷/۶۸، ۰/۷۸، ۰/۷۸ و ۶/۶۷ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مصرف آب، پیش‌بینی، هوش مصنوعی، برنامه‌نویسی ژنتیک، شبکه عصبی مصنوعی، شهر نجف آباد.

Suero Francisco و همکاران (۲۰۱۲) مقادیر مصرف، مدت زمان مصرف و زمان مصرف را به صورت جداگانه برای هر وسیله مصرف کننده آب، در مدت زمان ۲ هفته پیش از تعویض و ۴ هفته پس از تعویض بررسی نمودند. در این پژوهش برای هر یک از وسایل مصرف کننده آب، مقادیر ذخیره مشاهده شده با مقادیر ذخیره پیش بینی شده به وسیله مدل های تحلیل ساده، رگرسیون و مدل های تحلیل ترکیبی مقایسه شد. بررسی نتایج بیانگر تاثیر زیاد وسایل کاهنده مصرف (کاهش دبی جریان) و پارامترهای رفتاری مصرف کنندگان (طول زمان استفاده و فرکانس استفاده) بود. Romano و همکاران (۲۰۱۴) عوامل تاثیرگذار بر تقاضای آب در شهرهای بزرگ هر استان ایتالیا را با استفاده از مدل اثر ترکیبی خطی و روش حداکثر احتمال محدود تعیین نمودند. نتایج نشان دهنده تاثیر کاهنده تعرفه های اعمال شده بر مصرف آب بود. همچنین مقدار مصرف با افزایش سطح درآمد هر خانوار یا افزایش جمعیت در شهرهای بزرگ افزایش یافت.

Sebri (۲۰۱۶) با مطالعه بیش از ۶۰۰ مورد پیش بینی مقدار تقاضای آب شهری و تحلیل متارگرسیون^۱ نشان داد دقت پیش بینی در هر روش، به طور چشمگیری به نوع مطالعات از جمله بازه زمانی تقاضا، روش مدل سازی، اندازه نمونه، مشخصات مدل و افق زمانی پیش بینی بستگی دارد.

Brentan و همکاران (۲۰۱۷) از مدل رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)^۲، به عنوان یکی از بهترین روش های یادگیری ماشین، برای پیش بینی کوتاه مدت تقاضای آب شهری استفاده نمودند. در مدل پیشنهادی از یک سری زمانی فوریه^۳ برای بهبود عملکرد مدل پیش بینی تقاضا شهر فرانکا^۴ در کشور برزیل استفاده شد. نتایج نشان داد با استفاده از سری زمانی فوریه، خطاها و آشفتگی های ذاتی مدل رگرسیون ثابت^۵ حذف شد که این کار باعث بهبود عملکرد مدل شد.

Shabani و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل ترکیبی بر مبنای الگوریتم برنامه نویسی بیانی ژنی (GEP) و یادگیری بدون ناظر^۶ را با هدف پیش بینی مقدار تقاضای آب شهر میلان در کشور ایتالیا در کوتاه مدت توسعه دادند. نتایج تحقیق نشان داد زمانی که الگوریتم GEP با روش های یادگیری بدون نظارت ترکیب شود، خوشه بندی داده های ورودی برای افزایش دقت نتایج مدل الزامی است.

Pacchin و همکاران (۲۰۱۹) کارایی و میزان دقت شش مدل مختلف از جمله مدل بر پایه شبکه عصبی، مدل مبتنی بر الگو^۷، دو مدل مبتنی بر تکنیک حرکت پنجره^۸، مدل زنجیره ای احتمالی مارکوف^۹ و مدل معیار ساده^{۱۰} برای پیش بینی کوتاه مدت مقدار تقاضای آب شهری در شهر پادوا^{۱۱} در کشور ایتالیا را مقایسه نمودند. نتایج نشان دهنده بهترین عملکرد از مدل های مبتنی بر تکنیک حرکت پنجره، بود.

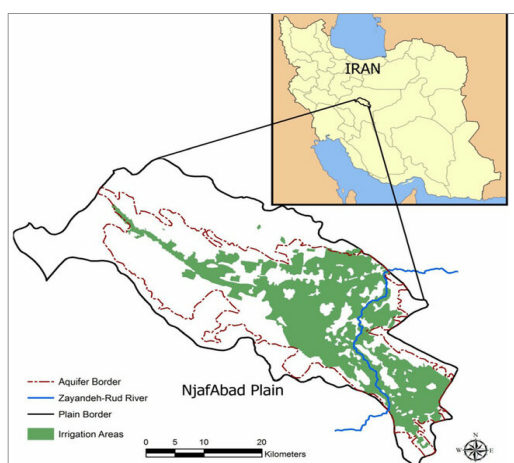
پیش بینی مقدار تقاضای آب یکی از چالش های مهم در مدیریت منابع آب است. آب یک منبع حیاتی و محدود برای انسان ها است که برای نیازهای شخصی، خانگی، صنعتی، کشاورزی و محیط زیستی استفاده می شود. با رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تغییرات اقلیم و تغییر الگوهای مصرف، تقاضای آب در حال افزایش است. در حالی که منابع آب در بسیاری از مناطق دنیا با کمبود، آلودگی و نابرابری مصارف مواجه هستند. بنابراین، پیش بینی مقدار تقاضای آب می تواند به بهبود برنامه ریزی و تخصیص منابع آب کمک کند. به عبارت دیگر، با انجام یک پیش بینی دقیق و قابل اعتماد، مسئولین می توانند تصمیمات بهتر و به هنگام اتخاذ نمایند. از جمله این تصمیمات می توان به اجرای پروژه های ساخت و ساز جدید، اصلاح قوانین و مقررات، تعرفه گذاری و حمایت های مالی، اجرای برنامه های صرفه جویی و کاهش هدر رفت آب اشاره نمود. علاوه بر این، پیش بینی مقدار تقاضای آب نه تنها به بهبود کارآمدی و پایداری سامانه های آبرسانی شهری کمک می کند، بلکه می تواند از بروز بحران ها و فاجعه های اجتماعی جلوگیری نماید. به عبارت دیگر، کمبود آب چالش جدی برای امنیت غذایی، سلامت عمومی، توسعه انسانی و ثبات منطقه ای و جهانی است. از جمله پیامدهای کمبود آب می توان به کاهش محصولات کشاورزی، گسترش بیماری ها، افزایش فقر، مهاجرت، تنش ها و تعارض ها اشاره نمود. لذا، با پیش بینی مقدار تقاضای آب، می توان از رخ دادن این پیامدها جلوگیری و به حفظ منابع آب برای نسل های آینده کمک کرد. یکی از مولفه های آب مصرفی، میزان آب شهری است که پیش بینی میزان تقاضای آب در این بخش لازم و ضروری است. در حالت کلی، روش های مختلفی به منظور پیش بینی مقدار تقاضای آب در مناطق شهری و مدیریت مصرف پیشنهاد شده است که هر یک مزایا، محدودیت ها و فرضیات متفاوت دارند. امروزه استفاده از روش های هوش مصنوعی به دلیل قابلیت های آن بیشتر مورد توجه محققین می باشد. در ادامه به برخی از تحقیقات انجام شده در این حوزه اشاره می شود.

Austin و Richard (۲۰۱۰) مدلهایی براساس رگرسیون به منظور پیش بینی تقاضای آب شهری در یک خانوار در جامعه آماری با اندازه گیری هر دو ماه یکبار در شهر سیاتل در کشور آمریکا پیشنهاد نمودند. به این منظور سه روش رگرسیونی پیشنهاد شد. بررسی نتایج نشان داد عملکرد مدل ها در تخمین مقادیر مصرف در منطقه مورد مطالعه مناسب است.

Lee و همکاران (۲۰۱۱) تاثیرات طرح های تشویقی دولت شامل طرح تخفیف و تعویض ماشین لباسشویی، توالی و سردوش حمام به ساکنین میامی را در طول ۴ سال بررسی نمودند. بررسی نتایج نشان داد استفاده از سردوش ها، سرویس های بهداشتی و ماشین لباسشویی با مصرف بهینه آب، تاثیر زیادی در کاهش

در این تحقیق، شهر نجف آباد واقع در استان اصفهان به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. در این بخش اطلاعات مربوط به شهر نجف آباد، مرکز شهرستان نجف آباد شامل اطلاعات جغرافیایی، هواشناسی و مقدار آب تولیدی روزانه ارائه شده است.

شهر نجف آباد در ۵۱ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۳۸ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی از استوا قرار دارد. این منطقه از ارتفاعات دالان کوه با تراز ارتفاعی ۳۴۵۰ متر واقع در جنوب غربی حوضه که در ۱۰/۲۵ کیلومتری جنوب شرقی دامنه قرار دارد و در جهت شرق به طول ۸۱ کیلومتر تا فاصله ۲۱/۵ کیلومتری غرب شهر اصفهان قرار دارد. در شکل (۱) موقعیت تقریبی این شهر در استان اصفهان و کشور ایران نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت شهرستان نجف آباد در استان اصفهان (Goodarzi) و همکاران، ۲۰۱۶)

در این تحقیق به منظور پیش بینی مقدار نیاز آب شهری شهرستان نجف آباد، از دو دسته داده روزانه شامل داده های هواشناسی و مقدار آب تولیدی ورودی به شهر، از ابتدای سال ۱۳۹۴ تا پایان سال ۱۳۹۸، به عنوان ورودی مدل های پیش بینی استفاده شده است که جزئیات آنها در ادامه ارائه شده است. به دلیل ماهیت سری زمانی مساله مورد بررسی و در دسترس بودن داده های مقدار آب تولیدی از ابتدای سال ۱۳۹۴ تا انتهای سال ۱۳۹۸، برای بررسی تاثیر تاخیرهای زمانی که از یک روز تا ۱ سال (۳۶۵ روز) می باشند، داده های مربوط به سال اول (۱ فروردین ۱۳۹۴ تا پایان ۲۹ اسفند ۱۳۹۴) از مجموعه داده های آموزش و آزمایش حذف شد و داده های باقی مانده به دو گروه آموزش و آزمایش و صحت سنجی تقسیم شدند. داده های آموزش مساله ۷۰ درصد ابتدایی مجموعه داده ها (۱۰۲۲ روز) و داده های آزمایش و صحت سنجی، ۳۰ درصد باقی مانده مجموعه داده ها (۴۳۹ روز)

Kapelan و Xenochristou (۲۰۲۰) برای مقایسه و پیش بینی دقیق تقاضای آب در مقیاس های مختلف از پارامترهایی همچون مقدار مصرف در سطح هر خانوار، مکان سکونت خانوار برای ۱۲۰ خانوار در شهر اکستر^{۱۳} در کشور انگلستان و داده های هواشناسی به عنوان ورودی های مدل ماشین تقویت کننده گرادیان (GBM)^{۱۴} استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد هرچه اندازه جامعه مورد بررسی کوچکتر شود دقت نتایج به دست آمده از مدل، به صورت نمایی کاهش و تاثیر پارامترهای مقدار مصرف در گذشته و ویژگی های هر خانوار مصرف کننده نسبت به پارامترهای هواشناسی افزایش می یابد. Smolak و همکاران (۲۰۲۰) برای پیش بینی کوتاه مدت مقدار مصرف آب از داده های مصرف آب در ۵۱ روز گذشته و همچنین داده های ثبت شده از جابه جایی ساکنین شهری در این بازه زمانی استفاده نمودند. در این تحقیق، برای مقایسه دقت نتایج از مدل کلاسیک و الگوریتم های یادگیری ماشین شامل SVR^{۱۵}، ARIMA^{۱۶}، RF^{۱۷} و ERF^{۱۸} استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از داده های ثبت شده مربوط به جابه جایی جمعیت شامل جمعیت ساکن و شناور بهبود نتایج را به همراه داشت.

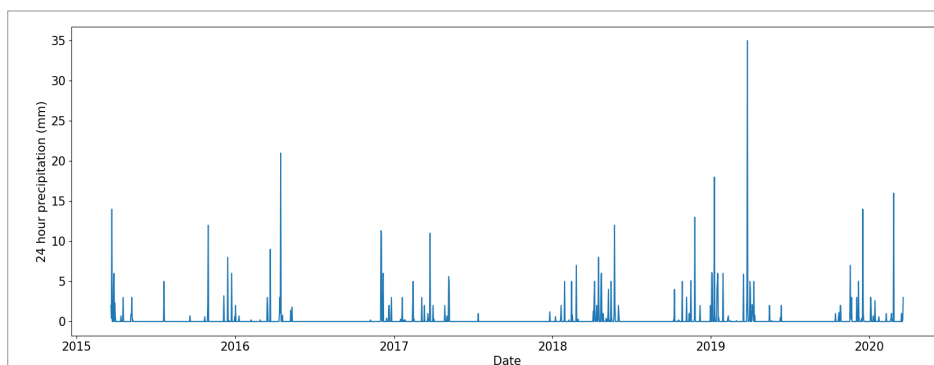
Zhao و Shuang (۲۰۲۱) با استفاده از داده های مربوط به وضعیت اقتصادی، شرایط اجتماعی ساکنین، منابع آب در دسترس و مقدار آب مصرفی عملکرد یازده مدل یادگیری ماشین را برای پیش بینی مقدار آب مصرفی در مناطق پکن، تیانجین و هبی^{۱۹} در کشور چین، بررسی و مقایسه نمودند. بررسی نتایج نشان داد با استفاده از روش GBDT^{۱۹}، نتایج دقیق تری در مقایسه با روش های یادگیری ماشین به دست می آید.

Kühnert و همکاران (۲۰۲۱) به منظور بهبود فرآیند تصمیم گیری تامین آب شرب شهری، عملکرد روش شبکه حافظه کوتاه-بلندمدت (LSTM)^{۲۰} را با سایر روش های پیش بینی مقدار تقاضای آب مصرفی شهری و با استفاده از داده های شبکه تامین آب در یک روستای کوچک در کشور آلمان به عنوان ورودی مدل پیش بینی، مقایسه نمودند. در این تحقیق، بهترین نتایج با استفاده از روش LSTM به دست آمد.

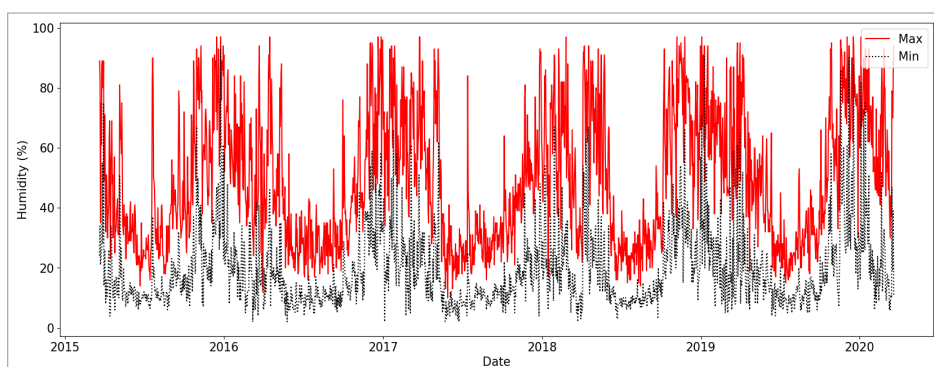
بررسی سوابق تحقیق، نشان دهنده عملکرد مناسب استفاده از روش های هوش مصنوعی به منظور پیش بینی میزان مصرف و تقاضای آب شهری می باشد. مدل برنامه نویسی ژنتیک (GP) یکی از روش های هوش مصنوعی است که در حوزه های مختلف از آن استفاده شده است و عملکرد آن مناسب بوده است (Kazemi و Barati، ۲۰۲۲؛ Barati و همکاران، ۲۰۱۶). مهمترین قابلیت آن ارائه یک رابطه صریح برای میزان پارامتر خروجی بر مبنای پارامترهای ورودی تاثیرگذار می باشد. بنابراین در این تحقیق، این روش در تعیین میزان آب مصرفی شهر نجف آباد استفاده شده و عملکرد آن با مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^{۲۱} مقایسه شده است. بررسی نتایج نشان دهنده عملکرد خوب روش پیشنهادی می باشد.

مقدار آب تولیدی روزانه (میزان آب ورودی شهر که نشان‌دهنده مصارف کل روزانه شهری است) که توسط اداره آب و فاضلاب استان اصفهان ارائه شده است، استفاده شده است. علاوه بر این، از داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک استان اصفهان از جمله دما، بارش و رطوبت نیز استفاده شده است. اطلاعات هواشناسی مورد استفاده از جمله داده‌های مربوط به بارش، دما و رطوبت به ترتیب در شکل (۲)، (۳) و (۴) ارائه شده است.

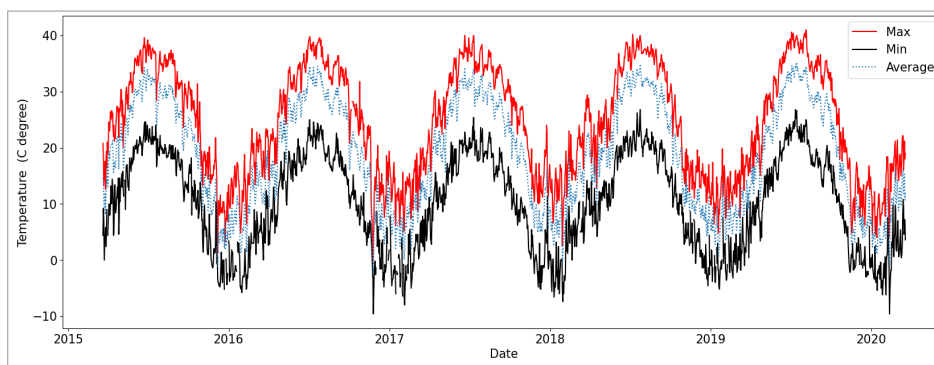
می‌باشند. در مجموع، داده‌های آموزش شامل بازه زمانی از ۱ فروردین ۱۳۹۵ تا پایان روز ۱۵ دی ۱۳۹۷ و داده‌های آزمایش بازه زمانی از ۱۶ دی ۱۳۹۷ تا ۲۹ اسفند ۱۳۹۸ را شامل می‌شوند. باتوجه به رژیم کم‌باران و نبود رودخانه دائم در این منطقه، تامین آب مورد نیاز ساکنین از محل چاه‌ها و قنات‌ها می‌باشد. اما در سال‌های اخیر، تامین آب شهر نجف‌آباد از طریق شهر اصفهان انجام می‌شود. در این تحقیق از داده‌های مربوط به



شکل ۲- میزان بارش روزانه شهر نجف‌آباد در بازه زمانی مورد مطالعه



شکل ۳- رطوبت نسبی شهر نجف‌آباد در بازه زمانی مورد مطالعه



شکل ۴- دمای شهر نجف‌آباد در بازه زمانی مورد مطالعه

زمانی ۵ ساله نشان‌دهنده این است میانگین بارش سالانه در این شهرستان ۲۷۶ میلیمتر است که کمتر از میانگین کشوری ۲۵۰ میلیمتر می‌باشد. علاوه بر این، میانگین دمای سالانه در نجف‌آباد

رطوبت نسبی، دما و بارش روزانه سه پارامتر اصلی هستند که بر وضعیت اقلیمی شهرستان نجف‌آباد تأثیر می‌گذارند. بررسی داده‌های تاریخی ارائه شده در شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) در بازه

۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد است که بیشتر از میانگین کشوری ۱۵/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین، میانگین رطوبت نسبی سالانه در این شهرستان ۳۵ درصد است که کمتر از میانگین کشوری ۴۰ درصد می‌باشد. بررسی نتایج نشان‌دهنده رابطه معکوس دما با رطوبت نسبی و بارش روزانه است. علاوه بر این، آمار نشان دهنده این است که شهرستان نجف آباد در یک اقلیم خشک و گرم قرار دارد.

مواد و روش‌ها

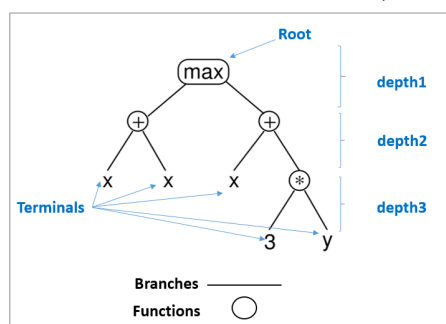
در این تحقیق، ابتدا با استفاده از داده‌های روزانه مقدار آب تولیدی و داده‌های هواشناسی و استفاده از روش برنامه‌نویسی ژنتیک، در طی ۵ سال، مقدار آب تولیدی روزانه که نشان‌دهنده کل آب مصرفی روزانه در شهر نجف‌آباد است، پیش‌بینی شده است. نتایج این روش با نتایج به‌دست آمده از مدل شبکه عصبی مصنوعی مقایسه شده است. در این بخش توضیحاتی در خصوص روش‌های استفاده شده ارائه می‌شود.

۱- برنامه‌نویسی ژنتیک (GP)

روش برنامه‌نویسی ژنتیک یکی از تکنیک‌های یادگیری ماشین است که بدون نیاز به تعریف دقیق ساختار جواب یک مساله توسط کاربر، جواب مساله بر مبنای شبیه‌سازی فرآیند تکامل تعیین می‌شود. در این روش، فرآیند یافتن جواب مسائل به این صورت است که در گام نخست جمعیتی از جواب‌های مساله به‌صورت تصادفی در غالب برنامه‌های کامپیوتری ایجاد می‌شوند. در روش برنامه‌نویسی ژنتیک با اجرای هر یک از این برنامه‌های کامپیوتری و مقایسه خروجی این برنامه‌ها (داده‌های محاسباتی) با داده‌های مشاهداتی، برازندگی هر برنامه کامپیوتری ارزیابی می‌شود. نتایج سنجش برازندگی هر برنامه کامپیوتری به‌صورت کمی و در غالب اعداد با یکدیگر مقایسه می‌شود. برنامه‌های کامپیوتری که در مرحله سنجش برازندگی، نسبت به سایر برنامه‌های هم‌نسل خود جمعیت برتری دارند برای تولید مثل انتخاب می‌شوند و براین اساس نسل بعدی ایجاد می‌شود. عملگرهای ژنتیکی که برای ایجاد نسل جدید برنامه‌های کامپیوتری از نسل فعلی استفاده می‌شوند، جهش و آمیزش هستند که در ادامه به تفصیل بررسی می‌شوند (Almeida and Silva, ۲۰۰۳). ذکر این نکته ضروری است که برنامه‌ریزی ژنتیک شاخه‌ای از الگوریتم ژنتیک (GA)^{۲۲} است و از قوانین تکاملی موجود در طبیعت الهام گرفته است. تفاوت اصلی این روش با الگوریتم ژنتیک در پردازش مساله و نحوه نمایش پاسخ‌ها است. در الگوریتم ژنتیک یک رشته از اعداد به‌عنوان پاسخ نمایش داده می‌شود، در صورتی که در برنامه‌نویسی ژنتیک، برنامه‌های کامپیوتری به‌عنوان پاسخ ارائه می‌شود. به عبارت دیگر،

الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بهینه‌سازی گسسته و غیرخطی مناسب است، درحالی‌که برنامه‌نویسی ژنتیک برای شبیه‌سازی و حل مسائل پیچیده‌تر که نیاز به تولید برنامه‌های کامپیوتری دارد، مناسب‌تر می‌باشد.

در روش برنامه‌نویسی ژنتیک افراد جمعیت (جواب‌ها) به شکل برنامه‌های کامپیوتری (روابط رگرسیونی متغیرهای مستغل و متغیر وابسته) ارائه می‌شوند که به‌صورت درختی^{۲۳} نمایش داده می‌شوند. به‌عنوان نمونه یکی از افراد جمعیت به شکل عبارت $Max[(x+x), (x+3 \times y)]$ ارائه شده که در شکل (۵) نحوه نمایش اجزا تشکیل‌دهنده آن به شکل یک درخت در روش برنامه‌نویسی ژنتیک نمایش شده است. متغیرها (x, y) و اعداد ثابت (عدد ۳) در این برنامه کامپیوتری را می‌توان به برگ‌های این درخت تشبیه کرد که در روش برنامه‌نویسی ژنتیک پایانه^{۲۴} نامیده می‌شود. عملگرهای ریاضی (+ و × و Max) در این برنامه کامپیوتری گره‌های درونی این درخت هستند که در روش برنامه‌نویسی ژنتیک توابع^{۲۵} نامیده می‌شوند. همچنین مفاهیمی از قبیل ریشه، عمق، شاخه و پایانه در این شکل نشان داده شده است.



شکل ۵- نحوه نمایش مساله نمونه در روش برنامه‌نویسی ژنتیک

گام اول در حل مسئله به‌وسیله برنامه‌نویسی ژنتیک، ایجاد جمعیت اولیه است. همانند سایر تکنیک‌های محاسبات تکاملی، در روش برنامه‌نویسی ژنتیک، جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شود. برای ایجاد جمعیت اولیه در روش برنامه‌نویسی ژنتیک از سه روش Full، Grow و Ramped half and half می‌توان استفاده نمود.

در مرحله بعد پس از ایجاد یک نسل از جمعیت، با اجرای هرکدام از برنامه‌های تولیدی (اعضا جمعیت) و مقایسه داده‌های خروجی آن‌ها با داده‌های مشاهداتی، مقدار برازندگی هر عضو به‌صورت کمی تعیین می‌شود. پس از ایجاد جمعیت اولیه، به‌منظور ایجاد نسل بعدی از جمعیت، همانند سایر روش‌های محاسبات تکاملی فرآیند انتخاب انجام می‌شود. در فرآیند انتخاب جواب‌ها با برازندگی بالا، به‌عنوان والدین انتخاب و سپس عملگرهای ژنتیکی بر روی آنها اعمال می‌شوند تا نسل جدیدی از جواب‌ها تولید شود. این روند تا زمانی که شرط توقف روش برآورده شود، ادامه می‌یابد.

در روش برنامه‌نویسی ژنتیک پنج روش متفاوت برای انتخاب والدین پیشنهاد شده است. در فرآیند انتخاب، جواب‌ها با برانزنگی بالا، به‌عنوان والدین انتخاب و سپس عملگرهای ژنتیکی بر روی آنها اعمال می‌شوند تا نسل جدیدی از جواب‌ها تولید شود. این روند تا زمان رسیدن به شرط توقف ادامه می‌یابد. در روش برنامه‌نویسی ژنتیک پنج روش متفاوت برای انتخاب والدین از جمله روش چرخ‌گردان (roulette)، روش sus، روش tournament، روش lexictour و روش doubletour پیشنهاد شده است. به‌عنوان نمونه، در روش چرخ‌گردان اندازه سهم اختصاصی به هر یک از اعضای جمعیت متناسب با مقدار برانزنگی آن‌ها می‌باشد. در ادامه، با چرخش چرخ‌گردان هر کدام از اعضای جمعیت که در مقابل نقطه انتخاب قرار بگیرد، برای تولید مثل انتخاب می‌شود. به‌عنوان نمونه، در روش sus، فرآیند انتخاب براساس چرخش یک چرخ‌گردان که سهمی برابر به هر یک از اعضای جمعیت اختصاص داده، انجام می‌شود. در روش برنامه‌نویسی ژنتیک پس از انتخاب والدین، با هدف ایجاد نسل جدید عملگرهای ژنتیکی بر روی آن‌ها اعمال می‌شود. با انتخاب تصادفی بخشی از یک والد (Parent) و تغییر آن بخش، یک جواب جدید (Child) تولید می‌شود. این فرآیند جهش نامیده می‌شود. بنابراین در فرآیند جهش بخشی از یک جواب به‌صورت تصادفی تغییر می‌یابد تا جواب جدیدی تولید شود و الزاماً نیازی به وجود ۲ والد نمی‌باشد. علاوه بر این، در فرآیند اعمال عملگر ژنتیکی آمیزش، دو جواب انتخاب شده و سپس به‌صورت تصادفی قسمتی از هر یک از آن‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا جواب جدیدی تولید شود. بنابراین در فرآیند آمیزش، با حضور دو جواب به‌عنوان والدین، یک جواب جدید به‌عنوان فرزند ایجاد می‌شود. از دیگر پارامترهای روش GP برای تعیین بهترین جواب مساله، تعیین تعداد فرزند مورد انتظار برای هر والد می‌باشد. این فرآیند در روش برنامه‌نویسی ژنتیک با استفاده از سه روش قدر مطلق، Rank 85 و روش Rank 89 انجام می‌شود.

۲- مدل شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی زیرمجموعه‌ای از علم هوش مصنوعی هستند که براساس ساختار و عملکرد مغز انسان طراحی شده‌اند. این سیستم، یک سیستم داده‌پردازی اطلاعات است که با هدف شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی طبیعی معرفی شده است. این شبکه‌ها توانایی پردازش داده‌های پیچیده و غیرخطی را دارند و در بسیاری از کاربردهای یادگیری ماشین، از جمله تشخیص الگو، تجزیه و تحلیل داده‌ها، تحلیل و پیش‌بینی سری‌های زمانی و موارد فراوان دیگر استفاده می‌شوند. این شبکه‌ها با تحلیل و بررسی داده‌های ثبت‌شده از گذشته، قابلیت یادگیری روابط و الگوهای موجود در این داده‌ها را دارند. در زمینه پیش‌بینی

آب مصرفی و نیاز آبی، شبکه‌های عصبی مصنوعی با بررسی و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده در گذشته به‌عنوان داده‌های آموزش، قابلیت یادگیری الگوهای مرتبط با تقاضای آب را دارند و می‌توانند با استفاده از این الگوهای کشف‌شده، پیش‌بینی دقیق‌تری در آینده ارائه دهند.

در حالت کلی نوروها^{۲۶} واحد سازنده سیستم‌های عصبی هستند که پردازش اطلاعات را انجام می‌دهند. عملکرد یک سیستم عصبی، در نحوه ارتباط نوروها با یکدیگر تعریف می‌شود. دسته‌بندی نوروها براساس تعداد بردار داده‌های ورودی امکان‌پذیر است. همچنین، توابع تبدیل و انتقال از دیگر پارامترهای مهم در مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌باشند که براساس آن خروجی مدل تعیین می‌شود. نوع تابع انتقال، توسط کاربر تعیین می‌شود که از مشهورترین توابع انتقال می‌توان به نوع خطی، آستانه دو مقداری و سیگموئید اشاره نمود.

علاوه بر این، ساختار شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند تک‌لایه و یا چندلایه باشد. در یک شبکه عصبی تک‌لایه، الزامی برای یکسان بودن توابع انتقال در هر نورو وجود ندارد یعنی می‌توان از انواع توابع انتقال به‌صورت ترکیبی استفاده نمود.

۳- ارزیابی مدل‌ها

در این تحقیق به‌منظور ارزیابی مدل‌ها شاخص‌های آماری مشخصی پیشنهاد شده است. در این تحقیق از سه شاخص مهم آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص ننش-ساتکلیف (NSE)، ضریب هم‌بستگی (R^2) و میانگین درصد قدر مطلق خطا (MAPE) به‌این‌منظور استفاده شده است.

نتایج و بحث

در این تحقیق از روش برنامه‌نویسی ژنتیک برای پیش‌بینی مقدار آب تولیدی روزانه (میزان آب ورودی روزانه به شهر نجف‌آباد ابتدای سال ۱۳۹۴ تا انتهای سال ۱۳۹۸ به تعداد ۱۸۲۶ داده روزانه دبی) استفاده شده و نتایج به‌دست آمده با نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی مقایسه شده است. در این بخش نتایج تحقیق ارائه شده است. در ابتدا به‌منظور انتخاب داده‌های مناسب به‌عنوان ورودی برای مدل‌های پیش‌بینی‌کننده، از روش ضریب هم‌بستگی پیرسون استفاده شده است، که نتایج آن یک مقدار کمی بین ۱- تا ۱+ ارائه می‌شود. چنانچه دو بردار از داده‌ها هم‌بستگی در بازه‌های [۱ و ۰/۵] و یا [۰/۵ و -۱] هم‌بستگی داشته باشند، به‌این معنا است که هم‌بستگی این دو بردار بیش از ۵۰ درصد می‌باشد (مقادیر هم‌بستگی منفی نشان‌دهنده وجود رابطه معکوس بین دو بردار از داده‌ها می‌باشد). مقدار

جدول ۱- مقادیر مطلوب پارامترهای روش GP

پارامتر	گزینه‌ها	مقدار مطلوب
انتخاب والدین	Roulette Tournament SUS Lexictour Doubletour (do fitness first) Doubletour (default)	SUS
احتمال وقوع عملگرهای ژنتیک (Crossover, Mutation)	۰/۹۵ ۰/۸ ۰/۷ ۰/۷۵ ۰/۸۵	احتمال آمیزش = ۰/۸ ژنتیک Crossover, (Mutation)
ترتیب‌دهی صف منتخبین	Replace Keepbest Halfelitism Totalelitism	totalelitism
معیار انتخاب از صف منتخبین	Fixedpopsize Resources Pivotfixe	resources
اضافه کردن افراد جدید	M1 M2	M1

در این مدل، داده‌ها به دو دسته داده‌های آموزش و داده‌های آزمایش تقسیم شده است. باتوجه به ماهیت سری زمانی بودن داده‌ها، ۷۰ درصد داده‌های اول از کل داده‌ها (داده‌های ۱۰۲۲ روز) برای آموزش مدل پیش‌بینی کننده و ۳۰ درصد باقی‌مانده (داده‌های ۴۳۹) به عنوان داده‌های آزمایش و صحت‌سنجی استفاده شده است. در این روش، روند مرحله آموزش مشابه الگوریتم تکاملی ژنتیک در تولید نسل جدید می‌باشد. همچنین تمامی داده‌ها نرمال‌سازی شده است. در مدل‌سازی تعداد افراد جمعیت برای هر نسل ۳۰۰ و تعداد نسل‌ها برابر ۱۰۰۰ منظور شده است. با ترکیب حالت‌های مختلف از داده‌های ورودی، مدل‌های متفاوتی پیشنهاد شد که در این تحقیق فقط نتایج بهترین مدل ارائه شده است. باتوجه به توضیحات قبلی، در این مدل‌سازی، داده‌های مساله از جمله داده‌های مقدار آب تولیدی روزانه به همراه تاخیرهای ۱ تا ۷ روز و تاخیر یک ساله، داده‌های بیشینه دما به همراه تاخیرهای ۱ تا ۷ روز و تاخیر یک ساله و داده‌های رطوبت نسبی به همراه تاخیرهای ۱ تا ۷ روز به عنوان ورودی مدل منظور شده است.

هم‌بستگی صفر بیانگر این موضوع است که بین دو دسته داده هیچ‌گونه رابطه‌ای وجود ندارد. در این تحقیق به منظور بهینه‌سازی حجم داده‌های ورودی و در نتیجه صرفه‌جویی در زمان محاسبات، با تعیین ضریب هم‌بستگی پیرسون، از بردارهای ورودی با هم‌بستگی خارج از محدوده مذکور استفاده نشده است.

در این تحقیق، به منظور بررسی اثرات تاخیرهای زمانی بردارهای ورودی بر دقت نتایج مدل پیش‌بینی کننده، اطلاعات مربوط به مقدار آب تولیدی از ۱ تا ۷ روز تاخیر و اطلاعات هواشناسی شامل حداکثر، میانگین و حداقل بارش روزانه (۲۴ ساعته)، حداکثر، میانگین و حداقل رطوبت نسبی روزانه و تبخیر، از ۱ تا ۷ روز تاخیر به علاوه داده‌های مربوط به سال گذشته در روز هدف به عنوان ورودی منظور و ضریب هم‌بستگی پیرسون آن‌ها محاسبه شد. به عبارت دیگر، یک سال از داده‌های مشاهداتی در مدل‌سازی استفاده نشده است. بنابراین، ۷ بردار ورودی برای داده‌های مقدار آب تولیدی، ۸ بردار داده ورودی برای داده‌های بارش روزانه، ۸ بردار ورودی برای داده‌های مربوط به حداکثر رطوبت نسبی، ۸ بردار برای داده‌های مربوط به حداقل رطوبت نسبی، ۸ بردار برای داده‌های میانگین رطوبت نسبی و ۸ بردار داده برای میزان تبخیر برای لحاظ کردن تاثیر تاخیر زمانی این پارامترها، بر مقدار آب تولیدی در افق زمانی پیش‌بینی انتخاب شد. سپس، با هدف بررسی میزان تاثیرات بر متغیر خروجی مساله (مقدار آب تولیدی روزانه) آزمون هم‌بستگی پیرسون برای این داده‌ها انجام شد. بررسی نتایج ضریب هم‌بستگی پیرسون بین داده‌های ورودی و بردار خروجی نشان‌دهنده آن است که پارامترهای مقدار ضریب هم‌بستگی پیرسون داده‌های بارش ۲۴ ساعته و تاخیرهای زمانی آن و داده‌های رطوبت با تاخیر زمانی یک ساله، کمتر از ۰/۵ بوده، بنابراین به عنوان ورودی مدل‌های این تحقیق منظور نشده و سایر داده‌ها به عنوان بردارهای ورودی برای مدل‌های برنامه‌نویسی ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شد.

۱- مدل برنامه‌نویسی ژنتیک (GP)

در حالت کلی، روش GP پارامترهای مختلفی دارد که لازم است مقادیر مطلوب آن‌ها برای هر مدل تعیین شود. مناسب‌ترین مقدار برای هر پارامتر با آنالیز حساسیت و استفاده از روش سعی و خطا تعیین می‌شود. در این تحقیق، ایجاد مدل برنامه‌نویسی ژنتیک در قالب جعبه‌ابزار^{۲۷} مربوط به این روش تحت عنوان gplab.toolbox در نرم‌افزار Matlab انجام شده است (Almeida و Silva, ۲۰۰۳). در جدول (۱) پارامترهای مورد استفاده و مقادیر مطلوب آن‌ها در روش برنامه‌نویسی ژنتیک ارائه شده است.

در مجموع، باتوجه به نتایج آزمون سعی و خطا (آنالیز حساسیت) برای مدل GP، از روش SUS برای انتخاب والد، احتمال آمیزش ۰/۸ و احتمال جهش ۰/۲، روش totalelitism برای ترتیب دهی صف منتخبین، معیار resources برای انتخاب از صف منتخبین و روش M1 برای اضافه کردن افراد جدید، استفاده شده است. در ادامه، در جدول (۲) میانگین نتایج شاخص‌های آماری به دست آمده از این مدل به ازای ۲۰ بار اجرای برنامه با استفاده از روش GP ارائه شده است.

جدول ۲- میانگین نتایج به دست آمده با استفاده از مدل GP در ۲۰ بار اجرای مدل

مدل	نوع داده	NSE	RMSE (MCM)	R ²	MAPE
GP	آموزش	۰/۷۲۹	۳۸۱۶/۴۸۴	۰/۷۴۴۵	۵/۳۸٪
	آزمایش	۰/۶۳۷۵	۴۴۶۱/۳۰۸	۰/۶۷۷	۶/۶۷٪

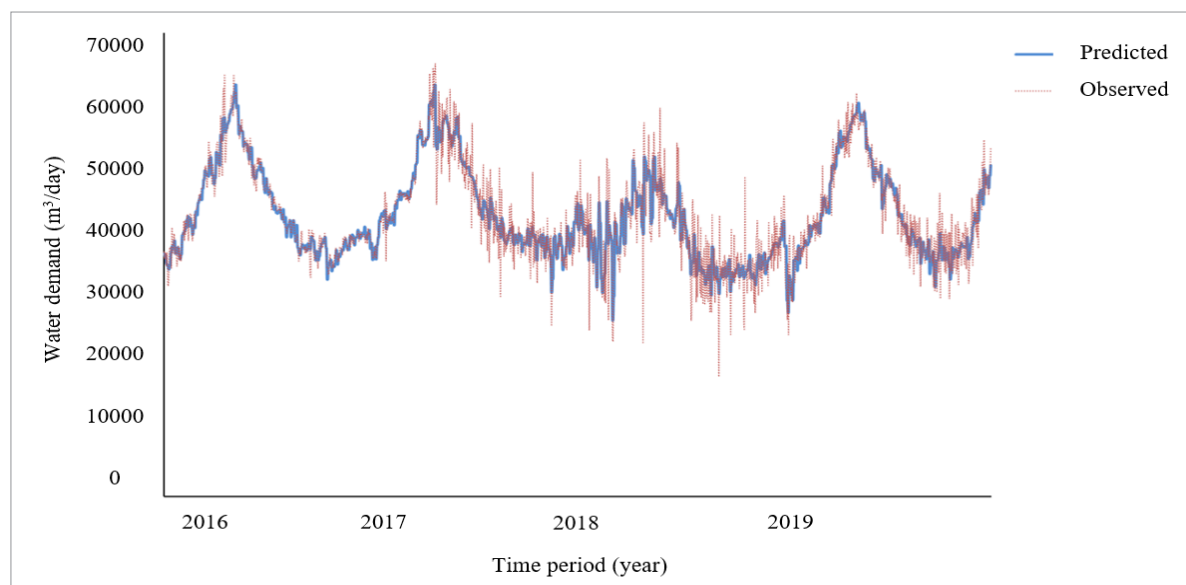
همانطور که توضیح داده شد، روش GP بر خلاف روش شبکه عصبی مصنوعی یک روش جعبه سیاه نبوده و با استفاده از آن، ارائه یک رابطه صریح ریاضی که نشان دهنده رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی مساله است برای کاربر امکان پذیر است. در این تحقیق با هدف دستیابی به دقت مطلوب، پارامترهای روش GP به گونه ای تعیین شدند که رابطه ریاضی طولانی و پیچیده حاصل نشود. در این راستا، عملگرهای ریاضی روش GP نیز با انجام آنالیز حساسیت و روش سعی و خطا تعیین شده است. در ادامه، به عنوان نمونه یکی از این روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی که به صورت یک رابطه رگرسیونی میان متغیرهای ورودی (X1, X2, ..., X7) با متغیر خروجی (Y) است، در رابطه (۱) ارائه شده است. به عبارت دیگر، یکی از روابط پیش بینی مقدار آب تولیدی بر اساس روش GP مطابق رابطه (۱) است. در این رابطه ریاضی، ورودی‌های X1 تا X7 مقدار آب تولیدی و تاخیرهای ۱ تا ۷ روزه آن و Y میزان آب تولیدی می‌باشند. که این رابطه ریاضی به صورت رابطه ساده شده (۲) بازنویسی شده است.

$$Y = \text{plus}(\text{minus}(\text{minus}(\text{plus}(X2, X3), \text{mylog}(\sin(\text{plus}(X3, X7))))), \text{mylog}(\text{mylog}(\sin(\text{plus}(X5, X1))))), X3) \quad (1)$$

$$Y = (X2 + X3) - \log(\sin(X3 + X7)) - \log(\log(\sin(X5 + X1))) + X3 \quad (2)$$

در مجموع، باتوجه به مقادیر به دست آمده برای شاخص‌های آماری نتایج قابل قبول می‌باشد. در حالت کلی نقطه ضعف روش‌های یادگیری ماشین، عملکرد ضعیف آن در پیش بینی مقادیر حدی می‌باشد. علاوه بر این، مقادیر داده‌های مشاهداتی خطا (نویز) دارد و باید این داده‌ها اصلاح شود. همچنین، در مقادیر حدی آب مصرفی روزانه شهری عوامل دیگری از جمله خرابی و شکستگی لوله و هدررفت آب، تغییرات جمعیت در روزهای خاص و تغییرات دمایی، موثر بوده که بر نتایج تاثیرگذار است.

همچنین در شکل (۶)، مقادیر به دست آمده از مدل GP در مقایسه با داده‌های مشاهداتی ارائه شده است. مقایسه نتایج، نشان دهنده عملکرد مناسب روش پیشنهادی در پیش بینی میزان مقدار آب تولیدی شهر نجف آباد (معیاری از مصرف کل روزانه شهر) می‌باشد. به عبارت دیگر بررسی نتایج، نشان دهنده عملکرد خوب روش به ویژه در سال‌های ابتدایی و برای داده‌های آموزش می‌باشد. ولی عملکرد روش برای سال‌های انتهایی و به ویژه در مقادیر حدی مصرف روزانه آب کاهش یافته است که به دلایل آن در ادامه اشاره شده است.



شکل ۶- نتایج به دست آمده برای مقدار آب تولیدی با استفاده از مدل GP در مقایسه با داده‌های مشاهداتی

۲- مدل شبکه عصبی مصنوعی

به منظور مقایسه عملکرد مدل پیشنهادی برنامه نویسی ژنتیک، از مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش بینی مقدار آب تولیدی شهر نجف آباد استفاده شد. در حالت کلی شبکه عصبی یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی دارد. لایه های پنهان در شبکه عصبی توسط نوروها به یکدیگر متصل می شوند. تعداد لایه های پنهان و تعداد نوروهای اتصال دهنده لایه ها در دقت نتایج به دست آمده از مدل شبکه عصبی تاثیرگذار است. پارامترهای مذکور، همچنین در مدت زمان انجام محاسبات و رخ دادن پدیده بیش برآزش^{۲۸} موثر هستند. بنابراین در این تحقیق با استفاده از روش سعی و خطا تعداد لایه های پنهان و تعداد نوروهای اتصال دهنده لایه ها تعیین و به عبارت دیگر آنالیز حساسیت مدل انجام شد. به این منظور در جدول (۳) مقدار مطلوب پارامترهای مدل شبکه عصبی مصنوعی ارئه شده است.

جدول ۳- مقادیر مطلوب پارامترهای روش شبکه عصبی مصنوعی در ۲۰ باز اجرای مدل

پارامتر	مقدار
تعداد لایه پنهان	۵
تعداد نورو	۳
تابع آموزش	Levenberg – Marquardt
تابع انتقال (لایه پنهان ۱ تا ۵)	Tansig
تابع انتقال (لایه پنهان ۵ به لایه خروجی)	Pureline

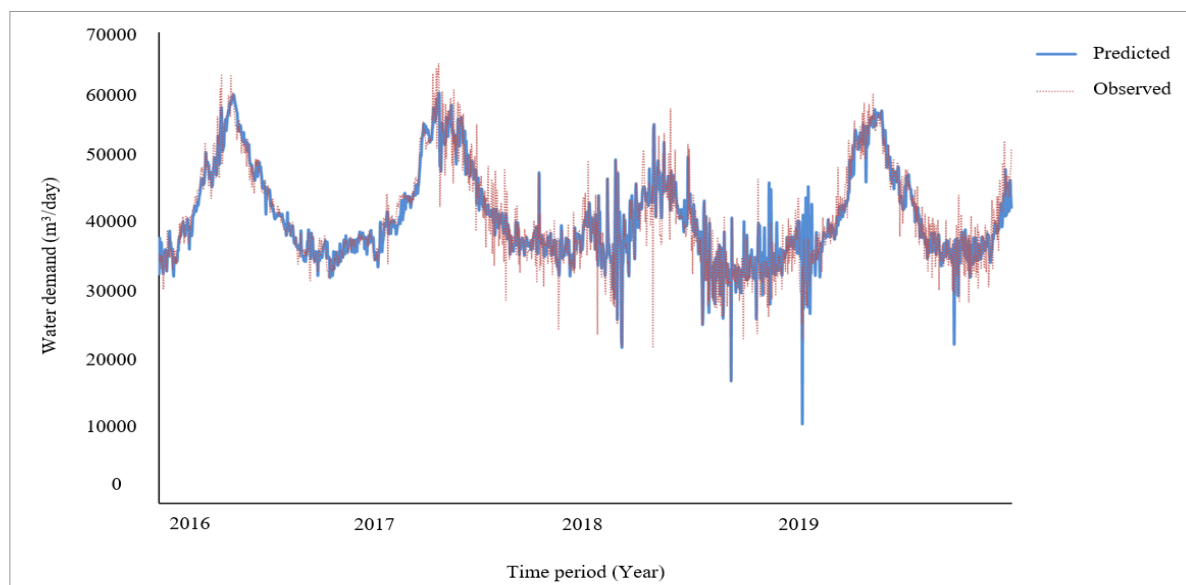
در مدل سازی با مدل شبکه عصبی مصنوعی باتوجه به ماهیت سری زمانی بودن داده ها، ۷۰ درصد داده های اول از کل داده ها (داده های ۱۰۲۲ روز) برای آموزش مدل پیش بینی کننده و ۳۰ درصد باقی مانده (داده های ۴۳۹) به عنوان داده های آزمایش استفاده شده است. با انجام آنالیز حساسیت، از الگوریتم Levenberg – Marquardt در مرحله آموزش استفاده شده است. همچنین همه داده ها نرمال سازی شده است. در این

روش نیز مدل های مختلف با منظور نمودن ترکیب های مختلف از داده های ورودی پیشنهاد شده است که در این تحقیق فقط نتایج بهترین مدل که شامل تمامی ۲۴ داده ورودی می باشد، ارائه شده است. در جدول (۴) میانگین نتایج به دست آمده از ۱۰ مرتبه اجرای مدل شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده است. همچنین، مقادیر آب تولیدی پیش بینی شده با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با داده های مشاهداتی در شکل (۷) نشان داده شده است.

جدول ۴- میانگین نتایج به دست آمده با استفاده از روش ANN

مدل	نوع داده	NSE	RMSE (MCM)	R ²	MAPE
ANN	آموزش	۰/۷۶۷	۳۴۶۳/۶۰۹	۰/۷۶۷	۵/۱۷٪
	آزمایش	۰/۶۶۱	۴۲۷۰/۸۸۸	۰/۶۸۵	۶/۹۶٪

مقایسه نتایج نشان می دهد دقت نتایج به دست آمده از دو روش برنامه نویسی ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی تقریباً مشابه هستند. به عبارت دیگر، با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی، دقت بالاتری برای داده های آموزش (Train) به دست می آید ولی با منظور نمودن کل داده ها، دقت این روش در مقایسه با روش برنامه نویسی ژنتیک کاهش می یابد. مهمترین دلیل کاهش دقت جواب ها این است که مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی مقادیر حدی (حداقل و حداکثر) روزانه مصرف آب شهری توانایی ندارد که به دلایل آن پیش از این اشاره شده است. نکته حائز اهمیت که بیانگر برتری روش برنامه نویسی ژنتیک بر شبکه عصبی مصنوعی است این است که با استفاده از روش GP ارائه یک رابطه ریاضی صریح برای کاربر امکان پذیر است در حالی که روش شبکه عصبی مصنوعی یک روش جعبه سیاه^{۲۹} بوده و تنها یک بردار از داده ها به عنوان خروجی در اختیار کاربر قرار می گیرد.



شکل ۷- نتایج به دست آمده برای مقدار آب تولیدی با استفاده از مدل ANN با داده‌های مشاهداتی

مصرف و نیاز آبی، تکمیل داده‌ها و تغییر بازه زمانی پیش‌بینی مصرف به ماهانه و فصلی پیشنهاد می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Meta Regression
- 2-Support Vector Regression
- 3-Fourier Time Series
- 4-Franca
- 5-Fixed Regression Stricture
- 6-Fixed Regression Stricture
- 7-Pattern-based model
- 8-Moving window technique
- 9-Probabilistic Markov chain-based model
- 10-Naïve
- 11-Padua
- 12-Exter
- 13-Gradient boosting machines
- 14-AutoRegressive Integrated Moving Average
- 15-Support Vector Regression
- 16-Random Forest
- 17-Extremely randomized trees
- 18-Beijing-Tianjin-Hebei Region
- 19-Gradient boosting decision trees
- 20-Long short-term memory networks

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، از مدل یادگیری ماشین برنامه‌نویسی ژنتیک برای پیش‌بینی مقدار آب تولیدی روزانه (آب مصرفی کل شهری) شهر نجف‌آباد در بازه زمانی سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ استفاده شد. در روش پیشنهادی، پارامترهای اندازه‌گیری هواشناسی و داده‌های مقدار آب تولیدی روزانه و تاخیرهای زمانی آنها (۱ تا ۷ روزه و ۳۶۵ روزه) به‌عنوان داده‌های ورودی و میزان کل آب تولیدی در روز هدف به‌عنوان خروجی مدل استفاده شد. با محاسبه ضریب پیرسون داده‌های ورودی موثر تعیین شد. به‌منظور بررسی عملکرد روش برنامه‌نویسی ژنتیک، از مدل شبکه عصبی مصنوعی نیز استفاده شد. مقایسه نتایج نشان داد، روش برنامه‌نویسی ژنتیک توانایی مطلوبی در پیش‌بینی مقدار روزانه آب تولیدی در مقایسه با مدل شبکه عصبی مصنوعی دارد. علاوه‌براین، با استفاده از روش برنامه‌نویسی ژنتیک یک ریاضی صریح بین متغیرهای ورودی و خروجی مساله به‌منظور پیش‌بینی مقادیر روزانه آب مصرفی شهری ارائه شد. این رابطه به مدیران و تصمیم‌گیران حوزه مدیریت شبکه توزیع آب شهری کمک خواهد نمود. مهمترین محدودیت‌های تحقیق حاضر عدم دسترسی به داده‌های مورد نیاز برای برآورد نیاز آبی شهر ازجمله داده‌های مصرف قرائت شده از کنتور مشترکین، هدررفت آب و جمعیت مشترکین در نواحی مختلف شهر و محدودیت مدل‌ها در پیش‌بینی مقادیر حدی مصرف روزانه بود. در ادامه تحقیق حاضر، استفاده از سایر مدل‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در پیش‌بینی

- Resources, Conservation and Recycling, 56(1), 1-6. doi: [10.1016/j.resconrec.2011.08.006](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.08.006)
- Pacchin, E., Gagliardi, F., Alvisi, S., & Franchini, M. (2019). A Comparison of Short-Term Water Demand Forecasting Models. *Water Resources Management*, 33(4), 1481-1497. doi: [10.1007/s11269-019-02213-y](https://doi.org/10.1007/s11269-019-02213-y)
- Polebitski Austin, S., & Palmer Richard, N. (2010). Seasonal Residential Water Demand Forecasting for Census Tracts. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(1), 27-36. doi: [10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000003](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000003)
- Romano, G., Salvati, N., & Guerrini, A. (2014). Estimating the Determinants of Residential Water Demand in Italy. *Water*, 6, 2929-2945. doi: [10.3390/w6102929](https://doi.org/10.3390/w6102929)
- Sebri, M. (2016). Forecasting urban water demand: A meta-regression analysis. *Journal of Environmental Management*, 183, 777-785. doi: [10.1016/j.jenvman.2016.09.032](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.032)
- Shabani, S., Candelieri, A., Archetti, F., & Naser, G. (2018). Gene expression programming coupled with unsupervised learning: a two-stage learning process in multi-scale, short-term water demand forecasts. *Water*, 10(2), 142. doi: [10.3390/w10020142](https://doi.org/10.3390/w10020142)
- Shuang, Q., & Zhao, R. T. (2021). Water Demand Prediction Using Machine Learning Methods: A Case Study of the Beijing-Tianjin-Hebei Region in China. *Water*, 13(3), 310. doi: [10.3390/w13030310](https://doi.org/10.3390/w13030310)
- Silva, S., & Almeida, J. (2003). Gplab-a genetic programming toolbox for matlab. In: *Proceedings of the Nordic MATLAB Conference*. Copenhagen, Denmark.
- Smolak, K., Kasieczka, B., Fialkiewicz, W., Rohm, W., Siła-Nowicka, K., & Kopańczyk, K. (2020). Applying human mobility and water consumption data for short-term water demand forecasting using classical and machine learning models. *Urban Water Journal*, 17(1), 32-42. doi: [10.1080/1573062X.2020.1734947](https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1734947)
- Suero Francisco, J., Mayer Peter, W., & Rosenberg David, E. (2012). Estimating and Verifying United States Households' Potential to Conserve Water. 21-Artificial neural network
- 22-Genetic algorithm
- 23-Syntax tree
- 24-Terminal
- 25-Function
- 26-Neuron
- 27-Toolbox
- 28-Overfitting
- 29-Black box
-
- منابع
-
- Barati, R., Salehi Neyshabouri, S. A. A., & Ahmadi, G. (2014). Development of empirical models with high accuracy for estimation of drag coefficient of flow around a smooth sphere: An evolutionary approach. *Powder Technology*, 257, 11-19. doi: [10.1016/j.powtec.2014.02.045](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.02.045)
- Brentan, B. M., Luvizotto Jr, E., Herrera, M., Izquierdo, J., & Pérez-García, R. (2017). Hybrid regression model for near real-time urban water demand forecasting. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 309, 532-541. doi: [10.1016/j.cam.2016.02.009](https://doi.org/10.1016/j.cam.2016.02.009)
- Goodarzi, M., Abedi-Koupai, J., Heidarpour, M., & Safavi, H. R. (2016). Evaluation of the Effects of Climate Change on Groundwater Recharge Using a Hybrid Method. *Water Resources Management*, 30(1), 133-148. doi: [10.1007/s11269-015-1150-4](https://doi.org/10.1007/s11269-015-1150-4)
- Kazemi, M., & Barati, R. (2022). Application of dimensional analysis and multi-gene genetic programming to predict the performance of tunnel boring machines. *Applied Soft Computing*, 124, 108997. doi: [10.1016/j.asoc.2022.108997](https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.108997)
- Kühnert, C., Gonuguntla, N. M., Krieg, H., Nowak, D., & Thomas, J. A. (2021). Application of LSTM Networks for Water Demand Prediction in Optimal Pump Control. *Water*, 13(5), 644. doi: [10.3390/w13050644](https://doi.org/10.3390/w13050644)
- Lee, M., Tansel, B., & Balbin, M. (2011). Influence of residential water use efficiency measures on household water demand: A four year longitudinal study.

Journal of Water Resources Planning and Management, 138(3), 299-306. doi: [10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000182](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000182)

Xenochristou, M., & Kapelan, Z. (2020). An ensemble stacked model with bias correction for improved water demand forecasting. Urban Water Journal, 17(3), 212-223. doi: [10.1080/1573062X.2020.1758164](https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1758164)

Investigating the Trend of Drought Changes with Temperature-Vegetation Dryness Index (TVDI) and Its Relationship with Atmospheric Factors (Case Study: Siah Kooch Watershed)

A. Safdari Molan¹, A. Mardaneh^{2*}

1- Ph.D. in Geography and Urban Planning, Department of Human Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran. 2- M.Sc. in Remote Sensing and GIS, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: adel.mardaneh@ut.ac.ir)

Received: 18-05-2023

Revised: 01-09-2023

Accepted: 05-09-2023

Available Online: 21-12-2023

بررسی روند تغییرات خشکسالی با شاخص خشکی دمایی- پوشش گیاهی (TVDI) و ارتباط آن با عوامل جوی (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیاه کوه)

امین صفدری مولان^۱، عادل مردانه^{۲*}

۱- دکتری تخصصی جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیا انسانی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ۲- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: adel.mardaneh@ut.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴

Abstract

Statistics show that the occurrence of severe and long-term droughts, especially in sensitive and fragile areas of the country has caused severe economic and social losses, and the occurrence of drought, increased dust, storms, and desertification has caused a decrease in agricultural production. Extensive and dynamic monitoring of dryness by traditional methods is very difficult and costly due to the lack of soil moisture display points. Remote sensing technology is a practical and applied method for large-scale land monitoring. In this study, we tried to identify the drought in the Siah Kooch watershed area with TVDI dryness-temperature indices and the NDVI index resulting from MODIS sensor images and to investigate the relationship between drought and atmospheric elements in the region. The results of correlation as a total showed that the correlation values of TVDI index SPI6 and SPI12 are 0.68 and 0.71, respectively, and the correlation rates of NDVI values with SPI6 and SPI12 are 0.49 and 0.51, respectively. As a result, it can be said that the TVDI index, due to the use of thermal and reflective bands and soil moisture, is more accurate than the NDVI index, which considers only the amount of vegetation in the region. The TVDI index had an inverse correlation with the average of two months of rainfall of 0.54 and a direct correlation of 0.64 with the surface temperature of the earth. In contrast, the NDVI vegetation index with a two-month average rainfall has a direct correlation of 0.54 and an inverse correlation of 0.6 with the temperature. These linkages show that the correlation between vegetation and temperature is inverse (negative) and the correlation between vegetation and rainfall is direct (positive).

Keywords: Drought, Remote Sensing, Vegetation, Temperature and Precipitation, TVDI.

چکیده

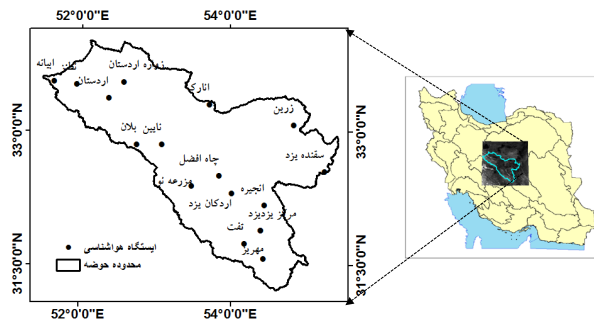
آمارها نشان می‌دهد که وقوع پیاپی خشکسالی‌های شدید و بلندمدت، به ویژه در مناطق حساس و شکننده کشور موجب زیان‌های شدید اقتصادی و اجتماعی شده و بروز پدیده خشکسالی، افزایش ریزگردها، توفان‌ها، بیابان‌زایی و کاهش تولید محصولات کشاورزی را سبب شده است. پایش گسترده و پویای خشکی به وسیله روش‌های سنتی امری بسیار مشکل و هزینه‌بر است و علت آن کم‌بودن نقاط نمایش رطوبت خاک است. تکنولوژی سنجش از دور یک روش عملی و کاربردی برای پایش خشکی در یک مقیاس وسیع است. در این تحقیق سعی شده تا خشکسالی منطقه حوضه آبریز سیاه‌کوه با شاخص‌های خشکی-دمایی TVDI و شاخص NDVI منتج از تصاویر سنجنده MODIS شناسایی و ارتباط خشکسالی با عناصر جوی در منطقه، مورد بررسی قرار داده شود. نتایج همبستگی به صورت میانگین کل، نشان داد که مقدار همبستگی شاخص TVDI با SPI شش و دوازده ماهه به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۷۱ و میزان همبستگی مقادیر NDVI با SPI شش و دوازده ماهه به ترتیب ۰/۴۹ و ۰/۵۱ می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که شاخص TVDI به علت استفاده از باندهای حرارتی و انعکاسی و رطوبت خاک، دقت مناسب‌تری از شاخص NDVI که تنها میزان پوشش گیاهی منطقه را در نظر می‌گیرد، دارد. شاخص TVDI با میانگین بارش دو ماهه، همبستگی معکوس ۰/۵۴ و با حرارت سطح زمین، همبستگی مستقیم ۰/۶۴ داشته است و در مقابل شاخص پوشش گیاهی NDVI با میانگین بارش دو ماهه، همبستگی مستقیم ۰/۵۴ و با دمای هوا نیز همبستگی معکوس ۰/۶ را دارا است. این روابط نشان می‌دهد که ارتباط بین پوشش گیاهی و دما به صورت معکوس (منفی) و ارتباط بین پوشش گیاهی و بارش به صورت مستقیم (مثبت) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، سنجش از دور، پوشش گیاهی، دما و بارش، TVDI.

شمالی طی دو سال خشک (سال آبی ۸۷-۸۶) و نرمال (سال آبی ۸۳-۸۲) پیراوند و کارایی دو روش مذکور را مورد سنجش قرار دهند. نتایج نشان داد که شاخص MTVDI نسبت به شاخص TVDI، دوره‌های خشکی را بهتر پایش می‌کند. Gao و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهش خود از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM استفاده کرده، مقادیر دمای سطح زمین (LST)^۳ و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)^۴ را در مقابل هم رسم کردند. نتایج مقایسه شده با مقادیر بارش نشان داد که شاخص خشکی دما-پوشش گیاهی (TVDI) توانسته است به خوبی شرایط خشکی و کمبود بارش را نشان دهد. Chopra (۲۰۰۶)، در ایالت Gujarat هندوستان با استفاده از تصاویر سنجنده‌های AVHRR و NOAA، اقدام به محاسبه شاخص NDVI نموده و این شاخص را با شاخص SPI^۵ مقایسه کرد. وی نشان داد که این دو شاخص ارتباط نزدیکی نسبت به هم در حالت SPI سه ماهه دارند. Lio و همکاران (۲۰۱۹)، اخیراً خشکسالی را در شمال چین با استفاده از شاخص‌های ترکیبی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که شاخص MSDI-9 شاخص مناسبی برای رصد خشکسالی کشاورزی است و از این شاخص می‌توان برای پایش خشکسالی شمال چین و مناطق مشابه استفاده کرد. Ghulam و همکاران (۲۰۰۷)، با انجام یک تحقیق به این نتیجه رسیدند که یک شاخص خشکسالی زمانی می‌تواند به عنوان یک شاخص خشکسالی مناسب ارائه گردد که تأثیر رطوبت خاک و پوشش گیاهی را لحاظ کند. بنابراین در سال ۲۰۰۷ شاخص عمودی خشکسالی (PDI)^۶ را با عنوان شاخص خشکسالی عمودی اصلاح شده (MPDI)^۷ ارائه دادند. این شاخص علاوه بر رفتار طیفی رطوبت در باند قرمز و مادون قرمز، درصد پوشش گیاهی (FVC)^۸ را نیز در نظر می‌گیرد. نتایج نشان داد که این شاخص نسبت به شاخص PDI از درصد همبستگی بیشتری با شاخص خشکسالی محاسبه شده از طریق داده‌های زمینی برخوردار است. Patel و همکاران (۲۰۰۹)، به بررسی خشکی و وضعیت رطوبت خاک با استفاده از شاخص خشکی درجه حرارت/پوشش گیاهی TVDI در منطقه غربی Uttar Pradesh هند پرداختند. بدین منظور محصولات ۱۶ روزه شاخص پوشش گیاهی MOD13A2 و ۸ روزه درجه حرارت MOD11A2 را مورد استفاده قرار دادند. تجزیه و تحلیل همبستگی و رگرسیون نشانگر ارتباط TVDI در محل اندازه‌گیری رطوبت خاک در ماه آوریل و اکتبر در مراحل اولیه رشد محصول نیشکر است. الگوهای زمانی-مکانی در TVDI نشان داد که مناطق شمالی از سطح رطوبت بیشتری نسبت به مناطق جنوبی برخوردارند و یک رابطه قوی قابل توجه و منفی بین TVDI و محل اندازه‌گیری رطوبت خاک وجود دارد، به خصوص هنگامی که پوشش گیاهی نادر است. Yao و همکاران (۲۰۰۴)، در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی رطوبت خاک با استفاده از شاخص خشکی گیاهی TVDI، از محصولات هشت روزه درجه حرارت سنجنده مودیس MOD11A2 و شانزده روزه پوشش گیاهی

عواملی از قبیل افزایش جمعیت، تغییر الگوی مصرف و سبک زندگی (safdari و همکاران، ۲۰۱۹) و گرمای جهانی (Tamir و William، ۲۰۲۱) در بسیاری از مناطق منجر به افزایش شدت و تعداد خشکسالی‌ها می‌شود (Spinoni و همکاران، ۲۰۲۱). باتوجه به خسارت فوق‌العاده وسیع و زیانبار این پدیده، متأسفانه در کشور ما ایران به جهت کمبودهای موجود در دیده‌بانی، رشد جمعیت در نواحی مستعد خشکسالی، برنامه‌ریزی نامناسب و فقدان مدیریت خشکسالی، آسیب پذیری ناشی از بلایای طبیعی و بروز بحران‌های اقتصادی اجتماعی شدیداً با افزایش روبرو بوده است. از این رو پایش و بررسی خشکسالی مهمترین اقدام در مدیریت ریسک خشکسالی خواهد بود. هرچه این عمل دقیق‌تر صورت بگیرد، میزان خسارت و صدمات ناشی از آن و نهایتاً بررسی راهکارهای جلوگیری از روند آن به صورت صحیح‌تری انجام خواهد شد. داده‌های سنجش از دور می‌توانند به طور منظم و مداوم اطلاعاتی مانند تغییرات دوره‌ای پوشش گیاهی و آب را ارائه دهند، بنابراین شاخص‌های خشکسالی سنجش از دور می‌توانند بر کاستی‌های شاخص‌های خشکسالی سنتی غلبه کنند و برای پایش خشکسالی در فضا به کار گرفته شوند (Xu و همکاران، ۲۰۱۸). پیشینه تحقیق نشانگر آن است که، کویرها و مناطق بیابانی به عنوان یکی از اجزای تشکیل‌دهنده محیط زیست، همواره مورد توجه دانشمندان و محققین بوده و اکثر محققین در پی یافتن راه‌ها و تکنیک‌های نوین جهت مطالعه این نواحی بوده‌اند؛ زیرا دسترسی به این مناطق همواره به علت شرایط خاص آن‌ها، مشکل و محدود بوده است. سنجش از دور در این زمینه نیز توانسته است به عنوان ابزار و تکنیکی کارآمد به خوبی ایفای نقش نموده و مفید واقع شود. در این میان، از مطالعات و بررسی‌های به عمل آمده در کویر سیاه‌کوه و نیز کاربرد سنجش از دور در مطالعات بیابانی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

Alavipanah (۲۰۰۱) در تحقیقی با عنوان ارزیابی باند حرارتی ماهواره لندست در مطالعه کویرهای ایران، به این نتیجه رسید که باند حرارتی، حاوی اطلاعات مهمی درباره خاک‌های شور، گچی و گیاهان می‌باشد، در نتیجه باند حرارتی به عنوان تابعی از حرارت سطحی می‌تواند مکمل باندهای انعکاسی باشد. همچنین Alavipanah و همکاران (۲۰۰۱) به مطالعه خاک‌های منطقه یزد و میزان شوری آنها با داده‌های ماهواره لندست پرداخته و نتیجه گرفتند که باند حرارتی در تفکیک کلاس‌های خاک گچی و شور، سطوح پوسته‌دار خاک و مناطق شهری می‌تواند بسیار مفید باشد. نوری و ثنائی‌نژاد (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای سعی کردند تا با استفاده از دو شاخص خشکی دما-گیاه (TVDI)^۱ و دما-گیاه اصلاح شده (MTVDI)^۲ و همچنین با بکارگیری محصولات دمایی و پوشش گیاهی سنجنده MODIS به بررسی خشکسالی در استان خراسان



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز سیاه کوه در میان حوضه‌های آبریز ایران به همراه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی داخل آن

• داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق تصاویر سنجنده MODIS مستقر بر روی ماهواره TERRA استفاده شد. این تصاویر، محصولات ترکیبی ۸ روزه دمای سطح زمین و ۱۶ روزه شاخص‌های پوشش گیاهی تحت نام‌های MOD11A2 و MOD13A2 با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر می‌باشند. با توجه به اینکه بیشترین میزان پوشش گیاهی در منطقه، در فصل بهار می‌روید، بدین جهت روز ۱۵م ماه اردیبهشت به عنوان ماه مبنا انتخاب گردید و تصاویر این تاریخ برای هر یک از سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ از سایت ماهواره MODIS^۱ اخذ گردید. همچنین به منظور محاسبه شاخص بارش استاندارد (SPI) از داده‌های ایستگاه‌های زمینی شامل ۱۴ ایستگاه هواشناسی متعلق به سازمان هواشناسی کشور که از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۹۲، آمار بارش ماهانه داشتند، استفاده گردید.

• شاخص‌های خشکسالی

- شاخص خشکی دمایی-گیاهی (TVDI):^۱

شاخص خشکی دمایی-گیاهی (TVDI) یکی از شاخص‌های مناسب در تعیین میزان خشکسالی و ترسالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. اصل اولیه آن این است که تبخیر رطوبت خاک از طریق حرارت سطح^{۱۱} کاسته می‌شود (رابطه ۱).

$$TVDI = (T_s - T_{smin}) / (T_{smax} - T_{smin}) \quad (1)$$

که در آن T_s حرارت سطح مشاهده شده در هر سلول از منطقه می‌باشد و T_{smin} کمترین حرارت سطح برای هر سلول NDVI در مثلث تشکیل شده است که لبه خشک را نشان می‌دهد. T_{smax} نیز بیشترین حرارت سطح مشاهده شده در NDVI داده شده می‌باشد و لبه مرطوب را نشان می‌دهد که بدین صورت محاسبه می‌گردد:

$$T_{smax} = a_1 + bNDVI_1 \quad (2)$$

$$T_{smin} = a_2 + bNDVI_2 \quad (3)$$

a و b ضرایب معادلات خطی لبه‌های خشک و مرطوب هستند و با استفاده از لبه‌های خشک و مرطوب، بدین صورت بیان می‌گردد:

$$TVDI = (T_s - (a_2 + bNDVI_2)) / ((a_1 + bNDVI_1) - (a_2 + bNDVI_2)) \quad (4)$$

دمایی - پوشش گیاهی TVDI استفاده کردند. بدین منظور رطوبت خاک ۱۶ روزه در اوت و سپتامبر در Xinjiang با استفاده از TVDI بازیابی شد. آنها متوجه شدند که TVDI و رطوبت خاک به شدت در ارتباط هستند و TVDI می‌تواند وضعیت رطوبت خاک سطحی را منعکس کند، بنابراین بر اساس اطلاعات سنجش از دور، تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک در این منطقه را مورد بررسی قرار دادند. Fensholt و همکاران (۲۰۰۹)، مقایسه‌ای بین شاخص‌های گیاهی NDVI حاصل از MODIS Terra، SPOT VGT و AVHRR با GIMMS با داده‌های مشاهداتی انجام دادند. با توجه به عملکرد بالای هر سه ماهواره در مقایسه با داده‌های مشاهداتی، تنها تفاوت آنها در روند تغییراتی شاخص NDVI در مناطق مرطوب و خشک بود. Yuan و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از محصول LST و شاخص پوشش گیاهی بارز شده EVI به جای شاخص NDVI، مقادیر شاخص خشکی دما- گیاه اصلاح شده (MTVDI) را محاسبه نمودند. نتایج بدست آمده نشان داد که شاخص MTVDI بهتر از شاخص TVDI می‌تواند خشکسالی را پایش کند. Wan و همکاران (۲۰۰۴)، با استفاده از شاخص دمایی- گیاهی (VTCI) و استفاده از تصاویر ماهواره سنجنده مودیس شرایط خشکی در آمریکا را پایش کردند و نتایج را با داده‌های بارندگی ثبت شده در ایستگاه‌های این منطقه، مورد ارزیابی قرار دادند. آنالیز همبستگی بین شاخص (VTCI)، مقادیر تجمعی بارش ماهانه و انحراف از بارش ماهانه نرمال نشان داد که شاخص مذکور نه تنها همبستگی نزدیکی با وقایع بارندگی اخیر دارد، بلکه با مقادیر بارش در گذشته نیز همبستگی دارد.

مواد و روش

• منطقه مورد مطالعه

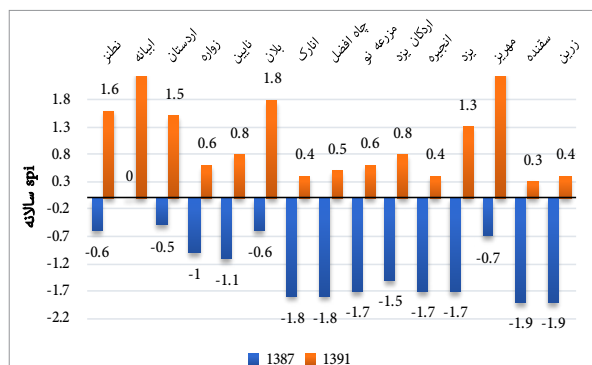
حوضه آبریز سیاه کوه با وسعت حدود ۴۸۴۷۳۲۰ هکتار در قسمت مرکزی ایران واقع شده است و قسمت‌هایی از چندین استان مرکزی ایران را شامل می‌شود (شکل ۱). این حوضه یکی از زیر حوضه‌های آبریز فلات مرکزی می‌باشد و با حوضه‌های دریاچه نمک، گاوخونی، کویر مرکزی، کویر لوت، کویر انجیر و ابرقو، همسایه است. قسمت زیاد کویر سیاه کوه در استان یزد و بقیه در استان اصفهان (شهرستان نائین) قرار دارد. متوسط ارتفاع آن ۹۷۰ متر از سطح دریا و شیب متوسط آن در حدود ۰/۵ درصد می‌باشد. شکل آن نواری با تحدبی به سمت جنوب غربی است و در امتداد شمال غربی به جنوب شرقی کشیده شده است (Mazidi و Yamani، ۲۰۰۸). از نظر اقلیمی جزء مناطق بیابانی با متوسط بارش ۵۰ میلی‌متر در سال و متوسط دمای ۱۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط رطوبت نسبی سالانه حدود ۴۰ درصد بوده که بیشترین آن در دی ماه حدود ۶۰ درصد و کمترین آن در تیر ماه حدود ۲۰ درصد است.

- پیش‌پردازش تصاویر MODIS

تحقیق حاضر از تصاویر سنجنده مودیس مستقر بر ماهواره ترا استفاده شد. دلایل انتخاب سنجنده مودیس، در این تحقیق توان تفکیک طیفی و مکانی متوسط، تکنیک واسنجی مخصوص و باریک بودن اکثر باندهای طیفی این سنجنده است که این ویژگی سبب جلوگیری از جذب بخار آب در باند مادون قرمز شده و در نتیجه خطایی که به واسطه جذب بخار آب ایجاد می‌شود، بسیار کوچک است. بنابراین دقت محاسباتی در تعیین شاخص NDVI و LST افزایش می‌یابد. این تصاویر، محصولات ترکیبی ۸ روزه دمای سطح زمین و ۱۶ روزه شاخص پوشش گیاهی تحت نام‌های MOD11A2 و MOD13A2 با قدرت تفکیک یک کیلومتر می‌باشند. از آنجا که بیشترین میزان رشد پوشش گیاهی در منطقه در ماه‌های اردیبهشت، خرداد و تیر می‌باشد و براساس شواهد موجود، در این منطقه خشک و کویری با پشت سرگذاشتن فصل بهار و اتمام بارندگی‌های سالانه، بسیاری از پوشش‌های گیاهی مرتعی که بیشتر گیاهان یک‌ساله هستند خشک شده و از بین می‌روند، بنابراین روز ۱۵ اردیبهشت هر سال به‌عنوان نماینده تصاویر در نظر گرفته شد. در نتیجه ۱۲ تصویر پوشش گیاهی و حرارتی تصویر سنجنده مودیس مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر اخذ شده در سیستم تصویر سینوسی تهیه شده‌اند و لازم است تا به سیستم تصویر جغرافیایی تبدیل گردند که این کار با افزونه MCTK در نرم افزار ENVI صورت گرفت. همچنین تصحیحات رادیومتریک و هندسی انجام شده و در نهایت منطقه مورد نظر از تصاویر اصلی جدا گردید.

- تعیین سال‌های آبی خشک و مرطوب در منطقه

به منظور تعیین سال‌های آماری پایه، از شاخص SPI استفاده گردید. بدین منظور بارندگی ماهانه در ۱۷ ایستگاه هواشناسی و سینوپتیک منطقه جمع‌آوری گردید و با نرم‌افزار DIC^{۱۳} مقادیر شاخص SPI محاسبه شد. این مقادیر برای ایستگاه‌های مورد نظر در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- توزیع شاخص خشکسالی SPI سالانه در ایستگاه‌های موجود در سال ۱۳۸۷ (خشکسالی) و ۱۳۹۱ (ترسالی)

با توجه به معادله بالا، مقادیر شاخص TVDI بین صفر و یک متغیر خواهد بود که مقدار صفر، معرف شرایط مرطوب، بیشترین میزان تبخیر و تعرق و عدم محدودیت منابع آب و مقدار یک نشانگر نزدیکی به لبه خشک و معرف شرایط خشک می‌باشد. شاخص پوشش گیاه (NDVI)، نیز از رابطه زیر بدست می‌آید و بیشترین رابطه را با حجم زنده گیاهی در میان مشخصه‌های پوشش گیاهی دارد.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (5)$$

که در آن، NIR میزان مادون قرمز نزدیک ثبت شده در هر سلول و RED نیز مقدار باند قرمز برای هر سلول در تصویر می‌باشد. دامنه تغییرات این شاخص بین +۱ و -۱ است. شیب خط خاک یک بوده و از مبدأ می‌گذرد.

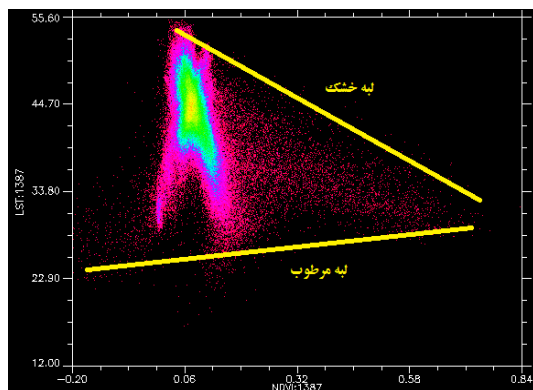
- شاخص SPI:

شاخص SPI بر اساس اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین بارش برای یک بازه زمانی مشخص و تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش پیشنهاد شده است (McKee و همکاران، ۱۹۹۳). اساس این نمایه برآزش استاندارد بر محاسبات احتمالات وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. این نمایه صرفاً از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌کند و برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس‌های زمانی چندگانه (۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماه) طراحی شده است. مقادیر مثبت شاخص، نشان‌دهنده بارندگی‌های بیشتر از میانه و مقادیر منفی، بارندگی زیر میانه را نشان می‌دهد. طبقات این شاخص در جدول (۱) آمده است. شاخص SPI تنها بر مبنای استفاده از داده‌های بارندگی استوار است و از مزایای شاخص SPI این است که برای مقیاس‌های مختلف زمانی (با تعداد مختلف) قابل محاسبه است. از معایب این شاخص این است که بایستی توزیع آمار بارندگی مشاهده‌ای تبدیل به توزیع نرمال شود و برای این منظور به بیش از ۳۰ سال آمار بارندگی نیاز دارد.

جدول ۱- طبقه بندی مقادیر شاخص SPI (محمدی، ۱۳۸۸)

مقادیر SPI	وضعیت رطوبتی
۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۵ تا ۰/۹۹	ترسالی ضعیف
۰/۴۹ تا -۰/۴۹	نرمال
-۰/۵ تا -۰/۹۹	خشکسالی ضعیف
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
کمتر از -۲	خشکسالی بسیار شدید

سطح زمین همبستگی منفی باهم دارند، در نتیجه می‌توان لبه‌های مرطوب و خشک را با استفاده از خط روند یا رگرسیون خطی ساده پارامترهای (شیب و عرض از مبدا) آن دو را بدست آورد. معادله خط رگرسیون مربوط به لبه‌های خشک و مرطوب برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ در شکل (۴) و جدول (۲) نشان داده شده است.



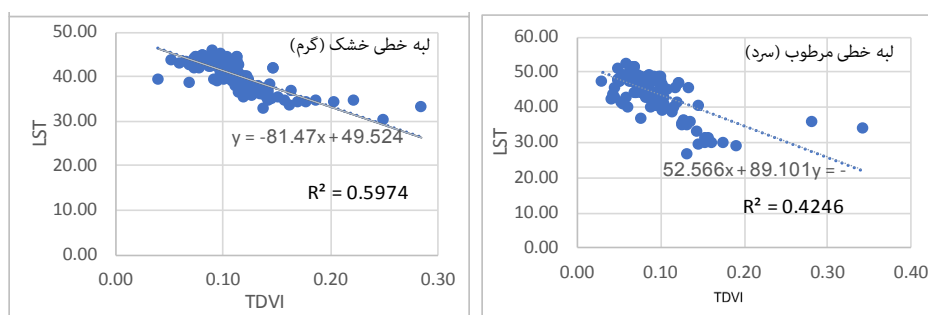
شکل ۳- نمودار پراکنش و فضای NDVI/LST و موقعیت سلول‌های لبه‌های خشک و مرطوب در سال ۱۳۸۷

از میان سال‌هایی که دارای وضعیت بحرانی بوده‌اند، می‌توان به سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۷ اشاره کرد که میزان شاخص SPI در هر یک از آنها برای ۱۷ ایستگاه مورد مطالعه، دچار یک نوع کاهش بخصوصی شده‌اند. از میان سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ با توجه به میزان SPI سالانه و میزان بارندگی سالانه، سال‌های آبی ۱۳۸۷ با مجموع بارش سالانه ۶۱ میلی‌متر به عنوان سال خشک و سال ۱۳۹۱ با مجموع بارش ۱۰۶ میلی‌متر به عنوان سال مرطوب در منطقه انتخاب گردید.

- تحلیل فضای NDVI/LST و محاسبه شاخص TVDI

نمودارهای پراکنش مربوط به فضای پوشش گیاهی و حرارت سطح زمین در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به شکل می‌توان گفت که مقادیر بالا در لبه خشک همان خاک‌های بایر یا فاقد پوشش گیاهی هستند و با افزایش مقادیر پوشش گیاهی (NDVI)، مقادیر بالای لبه خشک به علت تبخیر و تعرق بالای ناشی از گیاهان کاهش می‌یابند.

از آنجا که در این نمودار میزان پوشش گیاهی با میزان حرارت



شکل ۴- رگرسیون خطی لبه مرطوب (سرد) و لبه خشک (گرم) در سال ۱۳۸۷

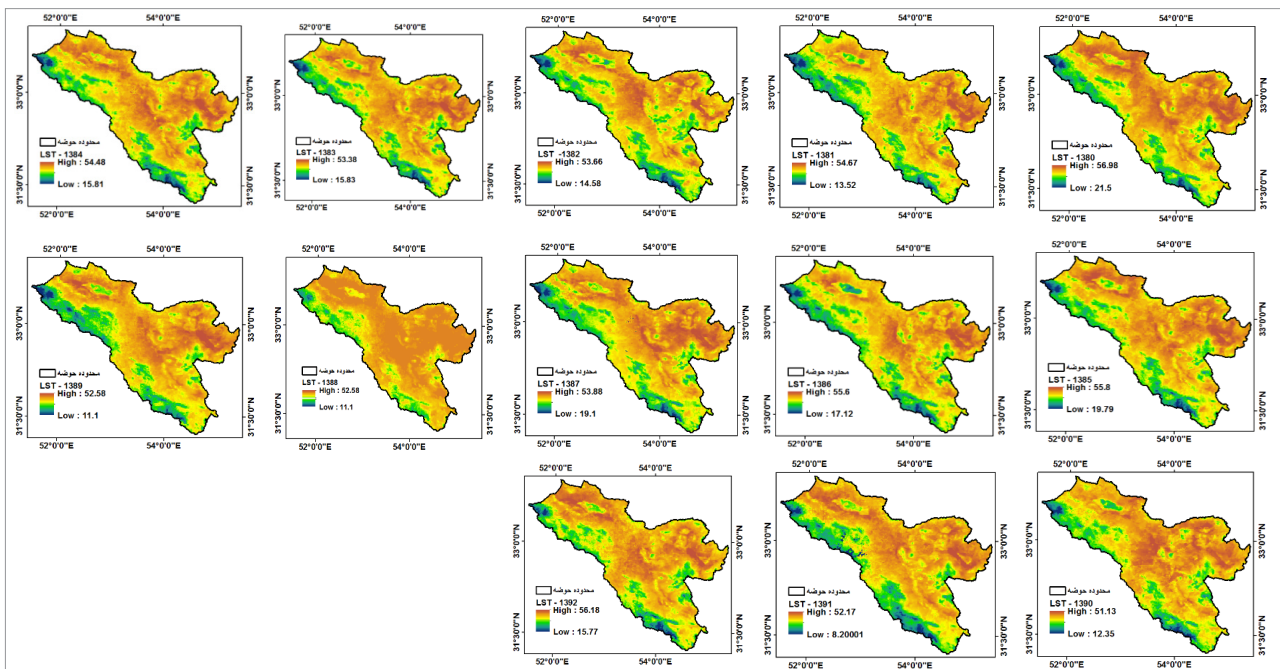
جدول ۲- پارامترهای رگرسیون خطی لبه خشک و لبه مرطوب

تاریخ	لبه خشک	لبه مرطوب
۱۳۸۰	$LST_{Max(NDVI)} = -125/8 NDVI + 55/6$	$LST_{Max(NDVI)} = -39/86 NDVI + 46/24$
۱۳۸۱	$LST_{Max(NDVI)} = -118/19 NDVI + 51/59$	$LST_{Max(NDVI)} = -12/48 NDVI + 38/07$
۱۳۸۲	$LST_{Max(NDVI)} = -109/15 NDVI + 50/98$	$LST_{Max(NDVI)} = -12/07 NDVI + 37/85$
۱۳۸۳	$LST_{Max(NDVI)} = -159/86 NDVI + 58/19$	$LST_{Max(NDVI)} = -45/26 NDVI + 42/1$
۱۳۸۴	$LST_{Max(NDVI)} = -109/15 NDVI + 52/68$	$LST_{Max(NDVI)} = -28/38 NDVI + 45/26$
۱۳۸۵	$LST_{Max(NDVI)} = -87/18 NDVI + 52/74$	$LST_{Max(NDVI)} = -93/45 NDVI + 52/6$
۱۳۸۶	$LST_{Max(NDVI)} = -46/24 NDVI + 45/6$	$LST_{Max(NDVI)} = -47/55 NDVI + 44/19$
۱۳۸۷	$LST_{Max(NDVI)} = -89/1 NDVI + 52/56$	$LST_{Max(NDVI)} = -81/47 NDVI + 49/52$
۱۳۸۸	$LST_{Max(NDVI)} = -21/68 NDVI + 36/04$	$LST_{Max(NDVI)} = -7/16 NDVI + 32/66$
۱۳۸۹	$LST_{Max(NDVI)} = -131/17 NDVI + 51/69$	$LST_{Max(NDVI)} = -98/82 NDVI + 49/52$
۱۳۹۰	$LST_{Max(NDVI)} = -22/39 NDVI + 40/27$	$LST_{Max(NDVI)} = -32/12 NDVI + 43/91$
۱۳۹۱	$LST_{Max(NDVI)} = -140/79 NDVI + 57/9$	$LST_{Max(NDVI)} = -37/17 NDVI + 41/99$
۱۳۹۲	$LST_{Max(NDVI)} = -140/32 NDVI + 54/48$	$LST_{Max(NDVI)} = -42/16 NDVI + 43/19$
۱۳۹۳	$LST_{Max(NDVI)} = -115/08 NDVI + 56/74$	$LST_{Max(NDVI)} = -32/38 NDVI + 46/87$

تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های TVDI و NDVI

تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های خشکسالی NDVI، LST و TVDI در روز ۱۵ اردیبهشت در شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) نشان داده شده است. به طور کلی روند تغییرات شاخص‌ها نشان می‌دهند که نواحی شرقی، مرکزی و جنوب شرقی منطقه، خشک‌ترین مناطق بوده است؛ در حالیکه نواحی غرب و شمال غربی مقدار خشکی کمتری داشته‌اند و مشخص می‌گردد که اکثر مناطق در سال ۱۳۸۷ دچار خشکی شده‌اند که این خشکی در قسمت‌های مرکزی و شرقی قابل توجه‌تر است. در سال ۱۳۹۱ (سال مرطوب) هرچند که قسمت‌های مرکزی و شرقی همچنان نسبت به سایر مناطق، TVDI بیشتر و خشک‌تری را نشان می‌دهند، اما بیشتر مناطق، TVDI کمتر و بدون خشکسالی را نشان می‌دهند. میانگین TVDI کل منطقه در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۴۲ بوده است که نشان

می‌دهد افزایش و کاهش TVDI، روندی منطقی داشته و در سال ۱۳۸۷ (سال خشک) این مقدار به عدد یک نزدیک‌تر شده و بیشتر مناطق دچار خشکسالی شده‌اند. همچنین طبق شاخص NDVI در سال ۱۳۸۷، میزان پوشش گیاهی در منطقه بسیار کاهش داشته و اکثر منطقه به جز در قسمت‌های شمال غربی، دچار خشکسالی شده‌اند. در سال ۱۳۹۱ که میزان بارش نسبت به سال‌های پیشین افزایش داشته، میزان پوشش گیاهی در منطقه نسبت به سال‌های قبل افزایش یافته است؛ اما مناطق مرکزی و شرقی همچنان دچار خشکسالی می‌باشند. میانگین NDVI کل منطقه در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۱ به ترتیب ۰/۰۸ و ۰/۱۳ بوده است که نشان می‌دهد افزایش و کاهش NDVI روندی منطقی داشته و در سال ۱۳۸۶ (سال خشک) این مقدار به عدد صفر نزدیک‌تر شده و بیشتر مناطق دچار خشکسالی و فاقد پوشش گیاهی شده‌اند.

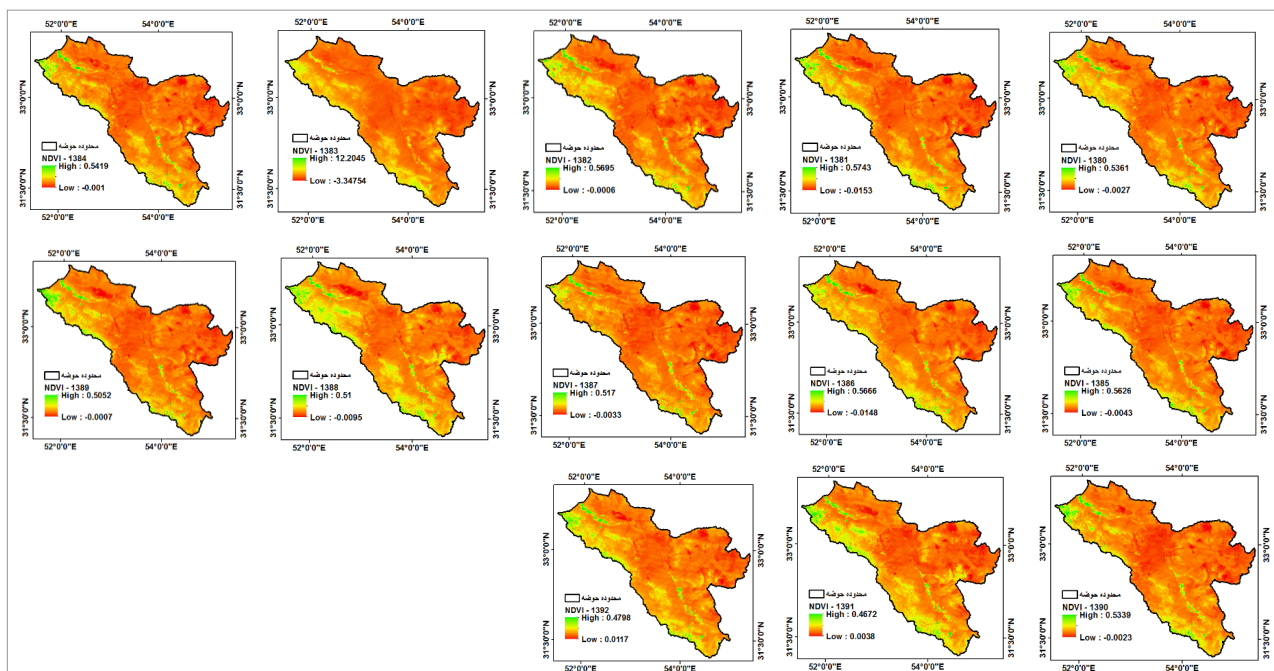


شکل ۵- نقشه توزیع شاخص حرارتی LST منطقه سیاه‌کوه از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲

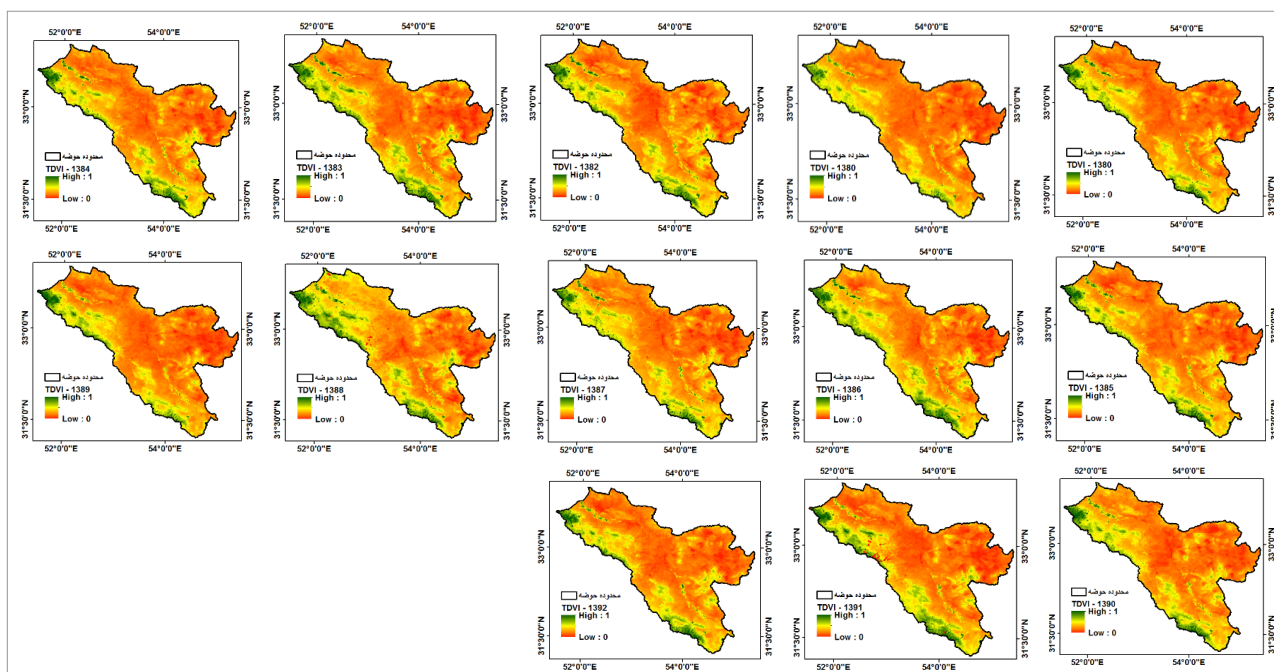
مقایسه میانگین کل شاخص‌های NDVI و TVDI با شاخص SPI

به منظور بررسی دقت شاخص NDVI و TVDI در برآورد خشکسالی در منطقه، از شاخص SPI که روشی مورد پذیرش در تعیین خشکسالی است، استفاده گردید. با استفاده از توابع GIS، مقدار شاخص NDVI و TVDI در هر یک از ۱۷ ایستگاه موجود در منطقه برآورد گردید و ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر آنها با مقدار شاخص SPI محاسبه شد. مقدار همبستگی شاخص TVDI با SPI شش و دوازده ماهه به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۷۱ می‌باشد،

در مقایسه‌های صورت گرفته میان شاخص‌های مورد استفاده، مشخص گردید که بهترین رابطه میان این دو شاخص در حالتی برقرار می‌شود که شاخص SPI به صورت ۱۲ ماهه و بعد از آن در حالت ۶ ماهه^{۱۳} مقایسه گردد (شکل ۸). همچنین با توجه به شکل (۹)، میزان همبستگی مقادیر NDVI با SPI شش و دوازده ماهه به ترتیب ۰/۴۹ و ۰/۵۱ می‌باشد. در نتیجه شاخص TVDI نسبت به NDVI، عملکرد بهتری در پهنه‌بندی خشکسالی داشته است و می‌تواند در کنار شاخص SPI بکار گرفته شود.

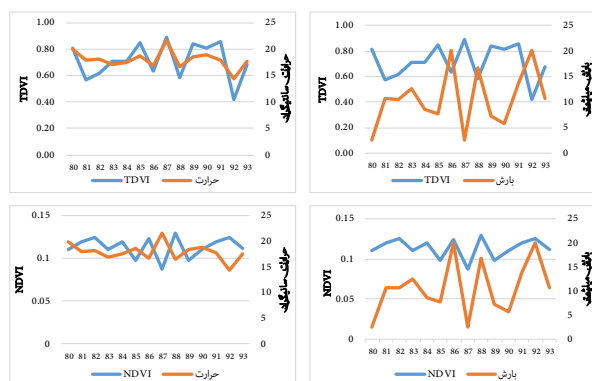


شکل ۶- نقشه توزیع شاخص پوشش گیاهی NDVI منطقه سیاهکوه از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲

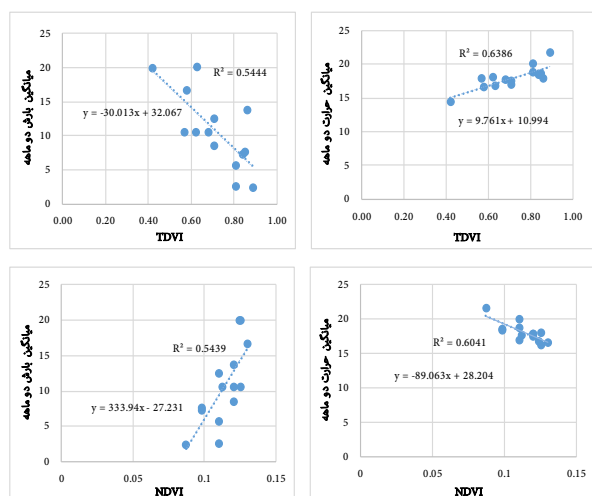


شکل ۷- نقشه توزیع شاخص خشکی دمایی TVDI منطقه سیاهکوه از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲

بنابراین به منظور بررسی ارتباط میان شاخص‌های مورد نظر با بارش و حرارت، میانگین ماه اردیبهشت و ماه فروردین هر یک از سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ را بدست آورده و میزان همبستگی محاسبه گردید (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). نتایج نشان داد که این میزان برای شاخص TVDI برای میانگین بارش، ۰/۵۴ همبستگی معکوس و حرارت با ۰/۶۴ همبستگی مستقیم بوده است و شاخص NDVI با میانگین بارش، همبستگی مستقیم ۰/۵۴ و با حرارت همبستگی معکوس ۰/۶ می‌توان گفت که از نظر ارتباط با عوامل جوی میزان بارش و حرارت در منطقه، هر دو شاخص عملکرد یکسانی دارند.



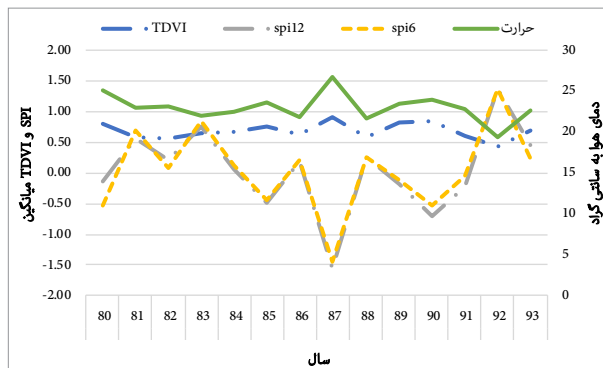
شکل ۱۰- روند تغییرات شاخص‌های TVDI و NDVI با میانگین بارش و حرارت سطح زمین دو ماهه



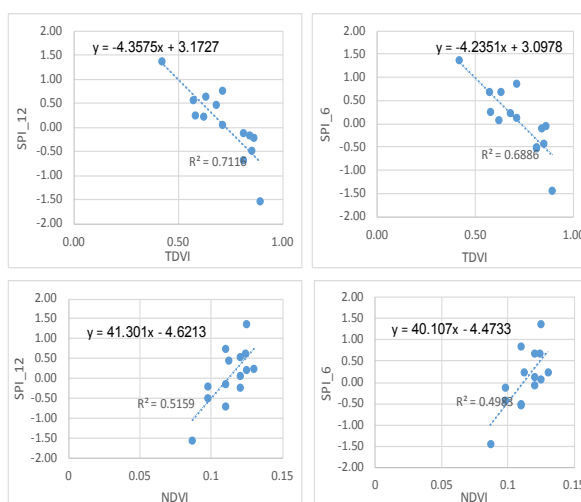
شکل ۱۱- همبستگی میانگین شاخص‌های TVDI و NDVI با میانگین بارش دو ماهه و حرارت از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲

بحث و نتیجه‌گیری

پایش و کنترل خشکسالی، نقش عمده‌ای در کاهش اثرات و خسارات آن دارد. پایش خشکسالی به طور معمول به وسیله پارامترهای



شکل ۸- روند پارامترهای خشکسالی و هواشناسی از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳



شکل ۹- همبستگی میانگین شاخص‌های TVDI و NDVI با شاخص SPI شش ماهه و دوازده ماهه از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲

- ارتباط شاخص‌های خشکسالی با عناصر جوی

یکی از اهداف این پژوهش، بررسی ارتباط شاخص‌های خشکسالی مورد نظر با عناصر اقلیمی بوده است. با توجه به اینکه از نظر اقلیمی، منطقه مطالعاتی به عنوان یک منطقه گرم و خشک طبقه‌بندی می‌شود، بنابراین مهم‌ترین عناصر اقلیمی تأثیرگذار در این منطقه، دما و بارش خواهند بود. این مسأله به کمک ضرایب ارائه شده در ماتریس همبستگی شکل (۱۱) نیز قابل درک است. این ماتریس نشان می‌دهد که ارتباط بین پوشش گیاهی و دما به صورت معکوس (منفی) و ارتباط بین پوشش گیاهی و بارش به صورت مستقیم (مثبت) است. بنابراین منطقی است که نمایان شدن آثار منفی خشکسالی، به عنوان پدیده‌ای تأثیرگذار بر پوشش گیاهی، ارتباط مستقیم با بارش و ارتباط معکوس با دما خواهند داشت. به عبارتی دیگر با افزایش دما و کاهش بارش، باید انتظار تشدید آثار خشکسالی بر پوشش گیاهی منطقه را داشت. با توجه به اینکه اثرات بارش بر خشکسالی و پوشش گیاهی زمان‌بر است،

مربوط به بارش صورت می‌گیرد. در بررسی خشکسالی هواشناسی همواره کمبود ایستگاه‌ها و کوتاه‌بودن دوره آماری آن‌ها، دقت ارزیابی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی داده‌های هواشناسی وضعیت کشاورزی و مرتعی را به خوبی نشان نمی‌دهند. بنابراین استفاده از داده‌های سنجش از دور با دقت مکانی و زمانی بالا، می‌تواند مکمل داده‌های هواشناسی باشد. اضافه بر آن با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌توان وضعیت خشکسالی را برای مناطق و حوضه‌های آبریزی که فاقد آمار هستند، بررسی نمود، در حالی که امکان بررسی مناسب خشکسالی در حوضه‌های آبریز فاقد آمار بارش میسر نیست. بنابراین اطلاعات ماهواره‌ای قابلیت بالایی در پایش و حتی پیش‌بینی خشکسالی در مناطق فاقد آمار دارند. شاخص‌های هواشناسی از قبیل SPI به تنهایی نماینده مناسبی از وضعیت خشکسالی هواشناسی نیستند و با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای می‌توان به برآورد جامع‌تری از وضعیت خشکسالی در مناطق دست یافت. در این تحقیق از محصولات دمایی و پوشش گیاهی سنجنده مودیس به منظور بررسی خشکی با استفاده از شاخص‌های NDVI و TVDI که مبتنی بر سنجش از دور هستند در منطقه سیاه‌کوه که دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک است، استفاده گردید. بررسی زمانی و مکانی شاخص‌های مذکور نشان داد که با تغییر در میزان بارش، مقادیر شاخص‌ها نیز دستخوش تغییر شده و متناسب با کاهش یا افزایش بارش، تغییر می‌کنند. شاخص TVDI به علت همبستگی بالا با شاخص SPI شش و دوازده ماهه، به عنوان شاخصی مناسب جهت پایش و پهنه‌بندی خشکسالی در منطقه معرفی و قابلیت‌های آن اثبات گردید. با توجه به مقالات مرجع، لازمه استفاده از شاخص TVDI در پایش خشکسالی، انتخاب منطقه بزرگی است که کلیه شرایط رطوبتی اعم از شرایط خشک تحت تنش و شرایط مرطوب فاقد تنش را در بر داشته باشد. همچنین اثرات پدیده خشکسالی بر پوشش گیاهی سطح زمین حالت تدریجی دارد، اگر بتوان با الگوریتمی بر میزان پوشش گیاهی از روی تصاویر ماهواره‌ای نظارت و پایش داشته باشیم، با کاهش تدریجی پوشش گیاهی منطقه، پدیده مخرب خشکسالی را هشدار داد. با توجه به نتایج تحقیق پیشنهاد می‌گردد تا شاخص‌های NDVI و TVDI به همراه سایر شاخص‌های خشکسالی که از تصاویر ماهواره‌ای از قبیل شوری خاک استفاده می‌کنند، در مناطق دیگر نیز مورد آزمون قرار گیرد و قابلیت آنها با نتایج این تحقیق مورد مقایسه قرار گیرد. سرمایه‌گذاری در بخش تحقیقات کشاورزی به منظور اصلاح گیاهان و معرفی ارقام مقاوم به خشکسالی و شوری نیز در این منطقه ضروری است. همچنین می‌بایست بین بخش‌های تحقیقاتی و اجرایی کشاورزی، هماهنگی‌های لازمی صورت گیرد تا طرح‌های مذکور در مرحله اجرا با شکست همراه نشوند. همچنین برای پیشگیری از خشکسالی و مشکلات ناشی از آن در منطقه مورد مطالعه (حوضه سیاه‌کوه) توصیه و پیشنهاد به مسئولان با

توجه به افت سطح آب زیرزمینی در منطقه و لزوم حفظ این منابع برای نسل‌های آینده، اصلاح و بهبود آب‌بندان‌ها، می‌بایست از اولویت‌های اصلی مسئولان و سیاست‌گذاران امر قرار گیرد.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Temperature Vegetation Dryness Index
 - 2-Modified Temperature Vegetation Dryness Index
 - 3-Land Surface Temperature
 - 4-Normalized difference vegetation index
 - 5-Standardized precipitation index
 - 6-Perpendicular Drought Index
 - 7-Modified Perpendicular Drought Index
 - 8-Vegetation Fraction, Fractional vegetation cover
 - 9-<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>
 - 10-Temperature Vegetation Dryness Index
 - 11-land surface temperature
 - 12-Drought Indicis Calculator
- ۱۳- شش ماهه اول سال به عنوان مبنا مورد بررسی قرار گرفت (فرودین تا آخر شهریورماه)

منابع

- هارپال اس، ماوی، و گرائم جی، تاپر. (۱۳۸۸). آب و هواشناسی کشاورزی اصول و کاربرد مطالعات آب و هوا در کشاورزی. مترجم: حسین محمدی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول. تهران. ایران.
- نوری، سمیرا، و ثنایی‌نژاد، سیدحسین. (۱۳۹۲). بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکی دما-گیاه (TVDI) و دما-گیاه اصلاح شده (MTVDI) و تصاویر سنجنده مودیس. نشریه آب و خاک، ۲۷(۴)، ۷۵۳-۷۶۲. doi: 10.22067/jsw.v0i0.28135
- Alavipanah, S. K. (2001). Performance evaluation of Landsat TM satellite spectral bands in desert studies in Iran. *Journal of Natural Resources*, 53 (1), 67-78.
- Alavipanah, S. K., De Dapper, M., Goossens, R., & Mas-soudi, M. (2001). The use of TM thermal band for land cover/land use mapping in two different envi-ronmental conditions of Iran. *Journal of Agricul-tural Science and Technology*, 3(1), 27-36. DOR: 20.1001.1.16807073.2001.3.1.2.5
- Chopra, P. (2006). Drought risk assessment using remote sensing and GIS: a case study of Gujarat. ME thesis,

- Study of Tehran). In Computational Science and Its Applications-ICCSA 2019: 19th International Conference, Saint Petersburg, Russia, July 1-4, 2019, Proceedings, Part III 19 (pp. 660-674). https://doi.org/10.1007/978-3-030-24302-9_47
- Spinoni, J., Marinho Ferreira Barbosa, P., Cherlet, M., Forzieri, G., McCormick, N., Naumann, G., Vogt, J. and Dosio, A. (2021). How will the progressive global increase of arid areas affect population and land-use in the 21st century. *Global and Planetary Change*, 205, 103597. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103597>
- Tamir K.; William R. L. A. (2021). A vast increase in heat exposure in the 21st century is driven by global warming and urban population growth. *Sustainable Cities and Society*, 73, 103098. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103098>
- Wan, Z., Wang, P., & Li, X. (2004). Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 25(1), 61-72. <https://doi.org/10.1080/0143116031000115328>
- Xu, P., Zhou, T., Zhao, X., Luo, H., Gao, S., Li, Z., Cao, L. (2018). Diverse responses of different structured forest to drought in Southwest China through remotely sensed data. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 69, 217-225. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.03.009>
- Yamani, M., Mazidi, A. (2008). The Investigation of changes in surface and vegetation of Shaikh desert using remote sensing data. *Quarterly Journal of Geographical Research*, 40(64), 1-12.
- Yao, C., Zhang, Z. and Wang, X. (2004). Evaluating Soil Moisture Status in XinJiang Using the Temperature Vegetation Dryness Index(TVDI). *Remote Sensing Technology and Application*, 6, 473-478.
- Yuan, X. Y., Chao, D. Y., Gao, J. P., Zhu, M. Z., Shi, M., & Lin, H. X. (2009). A previously unknown zinc finger protein, DST, regulates drought and salt tolerance in rice via stomatal aperture control. *Genes & Development*, 23(15), 1805-1817. <https://doi.org/10.1101/gad.1812409>
- Indian Institute of Remote Sensing, Dehradun & International Institute for Geo-information & Earth Observation, the Netherlands.
- Fensholt, R., Rasmussen, K., Nielsen, T. T., & Mbow, C. (2009). Evaluation of earth observation based long term vegetation trends—Intercomparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOT VGT data. *Remote Sensing of Environment*, 113(9), 1886-1898. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.04.004>
- Gao, Z., Gao, W., & Chang, N. B. (2011). Integrating temperature vegetation dryness index (TVDI) and regional water stress index (RWSI) for drought assessment with the aid of LANDSAT TM/ETM+ images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(3), 495-503. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.10.005>
- Ghulam, A., Qin, Q., Teyip, T., & Li, Z. L. (2007). Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(2), 150-164. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.03.002>
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, 17-22 January 1993, 179-184.
- Patel, N. R., Anapashsha, R., Kumar, S., Saha, S. K., & Dadhwal, V. K. (2009). Assessing potential of MODIS derived temperature/vegetation condition index (TVDI) to infer soil moisture status. *International Journal of Remote Sensing*, 30(1), 23-39. <https://doi.org/10.1080/01431160802108497>
- Rahimzadeh, B., P., Omasa, K., & Shimizu, Y. (2012). Comparative evaluation of the Vegetation Dryness Index (VDI), the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) and the improved TVDI (iTVDI) for water stress detection in semi-arid regions of Iran. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.10.009>
- Safdari Molan, A., Ziari, K., Pourahmad, A., & Hataminejad, H. (2019). Providing a Livable Housing Development Model for Increasing Urban Livability (Case

Experimental and Numerical Investigation of the Trajectory of Outlet Jets through the Pressurized Discharge Gates of Reservoir Dams

A. Taheri Aghdam^{1*}, F. Salmasi², A. Hosseinzadeh Dalir², A. Abbaspour³

1,2 & 3- Ph.D. Student, Professor and Associate Professor, Department of Water Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran.

*(Corresponding Author Email: ali.taheri@tabrizu.ac.ir)

Received: 22-01-2023

Revised: 09-04-2023

Accepted: 26-04-2023

Available Online: 21-12-2023

بررسی عددی و آزمایشگاهی مسیر حرکت جت‌های خروجی از دریچه‌های تخلیه تحت فشار سدهای مخزنی

علی طاهری اقدم^{۱*}، فرزین سلماسی^۲، علی حسین زاده دلیر^۲، اکرم عباسپور^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: ali.taheri@tabrizu.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶

Abstract

Accurate knowledge of where jets hit downstream of dams helps designers a lot in locating plunging pools. The purpose of this study is to investigate experimentally and numerically the trajectory of pressurized jets through the gates and to determine their location downstream of the dam. Ansys - Fluent software was used for numerical simulation. The results showed that there is a significant difference between the experimental values and the values extracted from the jet projectile equations for predicting the path of the pressurized jets, and this discrepancy may be due to the effect of air resistance on flow. The existing jet trajectory equations don't consider air resistance. To minimize this difference, the projectile equation was modified. Also, the effect of changing the diameter of the dam gate and the discharge on the point of impact of the pressurized jet on the ground surface was examined. By increasing the diameter of the dam outlet at a constant discharge, the location of impact of the impinging jet to the ground from the dam toe decreases, and with increasing discharge at a constant diameter of outlet, the place of impact of the pressurized jet to the ground from the toe of the dam increases. In addition, the numerical simulation results showed that the dynamic pressure as well as the velocity at the point of impingement of the jets on the river bed have the maximum value that should be considered in designs. The dynamic pressure as well as the velocity of the jet coming out of the gate hit the ground with an average increase of 145% and 242% relative to the end edge of the gate, respectively. In addition, the breaking length of the pressurized jet was investigated in this study, and it was found that the breaking length of the pressurized jet increases with the increase in the initial velocity of the water jet.

Keywords: Pressurized Jet, Plunging Pool, Gate, Dynamic Pressure, Projectile Equation.

چکیده

آگاهی دقیق از محل برخورد جت‌ها در پایاب سدها به طراحان در جاگذاری دقیق و مطمئن حوضچه‌های استغراق کمک شایانی می‌کند. هدف از این پژوهش بررسی دقیق مسیر حرکت جت‌های خروجی از دریچه‌ها و تعیین محل برخورد آن‌ها به پای سد به صورت عددی و آزمایشگاهی می‌باشد. برای شبیه‌سازی عددی از نرم‌افزار آنسیس-فلونت استفاده شد. نتایج نشان داد بین مقادیر آزمایشگاهی و مقادیر استخراج شده از روابط پرتابه جت برای پیش‌بینی مسیر حرکت جت‌های تحت فشار، اختلاف قابل توجهی وجود دارد که این اختلاف می‌تواند ناشی از تاثیر مقاومت هوا در داده‌های استخراجی از کار آزمایشگاهی باشد. برای به حداقل رساندن این اختلاف، معادله پرتابه اصلاح شد. همچنین تاثیر تغییر قطر دریچه سد و دبی جریان بر محل برخورد جت ریزشی تحت فشار به زمین بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش قطر در یک دبی ثابت، محل برخورد جت تحت فشار به زمین از پای سازه کمتر و با افزایش دبی در یک قطر ثابت محل برخورد جت به زمین از پای سازه بیشتر می‌شود. علاوه بر این، نتایج شبیه‌سازی عددی نشان داد فشار دینامیکی و همچنین سرعت جت خروجی از دریچه به طور متوسط و به ترتیب با افزایش ۱۴۵ و ۲۴۲ درصدی نسبت به لبه انتهایی دریچه به زمین برخورد می‌کند که باید در طراحی‌ها مورد توجه قرار داده شود. همچنین طول شکست جت ریزشی تحت فشار در تحقیق حاضر بررسی شد و مشخص شد با افزایش سرعت اولیه جت آب، طول شکست جت ریزشی تحت فشار افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: جت تحت فشار، حوضچه استغراق، دریچه، فشار دینامیکی، معادله پرتابه.

بنابراین معادلات حرکت x و y با انتگرال‌گیری از روابط (۱) و (۲) و همچنین وارد کردن تاثیر ترم شتاب در رابطه (۲) به شکل روابط زیر به دست می‌آید.

$$x = V_0 \cos(\theta) \times t \quad (۳)$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0 \sin(\theta) \times t \quad (۴)$$

با حذف t (زمان) از روابط (۳) و (۴)، معادله مسیر حرکت به

$$y = x \tan \theta_0 - \frac{gx^2}{2V_0^2 \cos^2 \theta_0} \quad (۵)$$

فرم کلی رابطه (۵) نشان می‌دهد پرتابه در طول حرکت خود تحت تاثیر مقاومت هوا قرار نگرفته و یک مسیر سهمی را طی می‌کند. به بیان دیگر رابطه (۵) در شرایط خلا اثبات شده است و از اثر مقاومت هوا صرف نظر شده است. در واقع مقدار واقعی طول افقی پرتابه کوتاه‌تر از مقدار به دست آمده از این رابطه به دلیل مقاومت هوا خواهد بود. طراحان برای راحتی محاسبه مسیر جت جریان ترجیح می‌دهند معادله براساس هد بالادست باشد. در مورد جریانی که از یک دریچه عبور می‌کند، هد جریان به راحتی قابل محاسبه است. سرعت اولیه صرف نظر از تلفات موجود در خروجی به صورت $v_0 = \sqrt{2gH}$ تعریف می‌شود که در آن H ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه است. با وارد کردن رابطه سرعت اولیه خروجی در معادله پرتابه و همچنین در شرایطی که زاویه اولیه پرتابه با افق برابر صفر باشد، می‌توان نوشت:

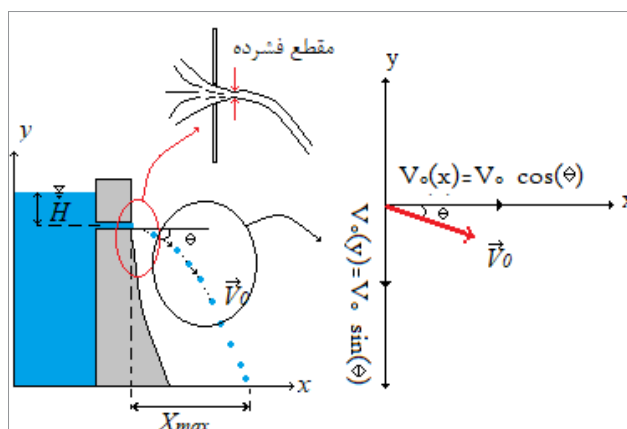
$$y = -\frac{x^2}{4H} \quad (۶)$$

رابطه (۶) برای محاسبه مسیر جت‌های تحت فشار خروجی از سیستم‌های تخلیه کننده سیلاب در شرایطی که زاویه اولیه پرتابه از افق برابر صفر می‌باشد، ارائه شده است (USBR، ۱۹۶۰؛ ۱۹۷۶؛ ۱۹۷۷).

ازجمله پژوهشگرانی که به ارائه رابطه‌ای تئوری برای پیدا کردن طول شکست جت‌ها اقدام کرده‌اند می‌توان به Falavey و Ervine (۱۹۸۷) اشاره نمود. آن‌ها نشان دادند مهمترین پارامتر در مقدار طول شکست جت، ضریب شکست آشفتگی است. آنان نتایج آزمایشگاهی را در مقایسه با مقادیر به دست آمده طول شکست جت از رابطه قرار داده و دریافتند که رابطه به دست آمده دقت قابل قبولی دارد. Eggers (۱۹۹۷) مروری بر پدیده گسستگی جت آب پرتابی انجام داده است. او یک جت افقی را با تحریک سینوسی سرعت آن بررسی کرد. قطر نازل خروجی جت آب در تحقیق ایشان بین ۱/۱ تا ۲ میلی‌متر متغیر بود. در محفظه پشت نازل خروجی جت، یک مبدل نوسانات فشار ایجاد می‌کند که به اغتشاشات سینوسی سرعت جت در خروجی نازل تبدیل می‌شود. نتایج او نشان داد با افزایش اغتشاشات در سرعت جت، گسستگی زودتر اتفاق می‌افتد.

تاثیر خصوصیات هیدرولیکی جت بر ژئومتری منحنی پایین افتادگی در جت‌های دایره‌ای مستغرق با استفاده از تحلیل‌های آزمایشگاهی

سیستم‌های تخلیه کننده سیلاب، به عنوان یکی از سازه‌های هیدرولیکی سد برای کنترل آبیگری مخزن، تخلیه مخزن در مواقع ضروری و تخلیه رسوبات ورودی به مخزن استفاده می‌شوند. این سیستم‌ها نیازمند طراحی دقیق و شناسایی عوامل آسیب رسان هستند (Salazar و همکاران، ۲۰۱۶). جت‌های آبی خروجی از سیستم‌های تخلیه کننده سیلاب‌ها یکی از موضوعات بسیار مهم در سدها هستند. غالباً این جت‌ها به حوضچه‌های استغراق وارد شده و انرژی خود را به تدریج از دست می‌دهند. حوضچه استغراق، حوضچه‌ای با عمق مشخص است که پدیده پخش و استهلاك جت داخل آن اتفاق می‌افتد (Kamoi و Tanaka، ۱۹۷۲). در صورت پیش‌بینی ضعیف و یا نادرست مسیر حرکت جت‌های آبی خروجی از سدها و به خصوص محل برخورد جت تحت فشار در پایین دست سدها، ممکن است سازه‌های موجود در پایین دست سدها، حوضچه استغراق و کانال پایین دست دچار تخریب شوند (Salmasi و Abraham، ۲۰۲۲). شکل (۱) مسیر حرکت بردار پرتابه از خروجی یک سد را نشان می‌دهد.



شکل ۱- مسیر حرکت بردار پرتابه روی صفحه مختصات دو بعدی

در شکل (۱)، x و y مختصات مسیر حرکت پرتابه، V_0 سرعت اولیه پرتابه، H ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه، بیشترین طول افقی جت ریزشی تحت فشار و θ زاویه اولیه پرتابه از خط افقی است. باتوجه به شکل (۱)، مولفه‌های سرعت اولیه بردار پرتابه در راستای محور x و y برابر با روابط زیر خواهند بود.

$$V_0(x) = V_0 \cos(\theta) \quad (۱)$$

$$V_0(y) = V_0 \sin(\theta) \quad (۲)$$

در روابط (۱) و (۲)، $V_0(x)$ و $V_0(y)$ به ترتیب سرعت در راستای محور x و y می‌باشند. باتوجه به روابط فوق و همچنین شکل (۱) می‌توان گفت شتاب در راستای محور x برابر با صفر بوده و در راستای محور y برابر با $-g$ (شتاب ناشی از گرانش) می‌باشد.

توسط Musavi Jahromi و Ahadiyan (۲۰۰۹) بررسی شد. یافته‌ها نشان داد میزان تغییر طول منحنی پایین افتادگی به قطر نازل وابسته است. همچنین Zhang و Zhu (۲۰۱۴) با تزریق مخلوط آب و هوا از طریق یک نازل منحنی پایین افتادگی جت جوشان^۲ (جریان جت دارای حباب هوا) در جریان‌های متقاطع را بررسی کردند. سپس با تحلیل خط مرکزی منحنی پایین افتادگی برای هر دو فاز آب و هوا در جت جوشان به این نتیجه رسیدند بعد از جدایی سیال از تخلیه کننده، خط مرکزی آب و هوا می‌تواند به صورت مستقیم حرکت کند و جریان جت بعد از طی کردن مسیر افقی و مستقیم، منحنی پایین افتادگی را ایجاد و به پایین سقوط می‌کند.

پراکنش حدی جریان جت خروجی در محیط هم فاز و غیرهم فاز توسط سلمان زاده و احدیان (۱۳۹۵) بررسی شد. لازم به توضیح است که منظور از پراکنش حدی جریان جت خروجی در محیط هم فاز و غیر هم فاز این است که جریان جت خروجی در محیط هم فاز، وارد آب و در محیط غیر هم فاز، وارد هوا می‌شود. در آن پژوهش، مطابق با کلیه برداشت‌های انجام شده، معادله حاکم بر نحوه توزیع حرکتی جت خروجی به دست آمد (رابطه ۷). نکته مهم در رابطه (۷)، در نظر گرفته نشدن نیروی اصطکاکی هوا می‌باشد. در پژوهش سلمان زاده و احدیان (۱۳۹۵) رابطه زیر برای محاسبه مسیر جت ریزشی در حالت تحت فشار ارائه شده است:

$$\frac{y}{h_0} = -0.162\left(\frac{x}{h_0}\right)^2 - 0.415\left(\frac{x}{h_0}\right) + 6.68 \quad (V)$$

در رابطه (۷) h_0 بار سرعت اولیه پرتابه و x و y مختصات مسیر حرکت پرتابه هستند. وجود عدد ثابت در رابطه ارائه شده توسط سلمان زاده و احدیان (۱۳۹۵) باعث ایجاد خطای زیادی در پیش‌بینی مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار می‌شود که این خطا باید در مطالعات آینده بررسی شود و از بین برود.

در پژوهش‌های صورت گرفته بر روی مدل‌های فیزیکی، مطالعات قابل توجه در مورد مسیر حرکت جت‌های خروجی از دریچه‌ها صورت نگرفته است ولی روند تغییرات ضریب آبگذری در بازشدگی‌های مختلف از دریچه‌های تخلیه کننده تحتانی سد البرز (مرکز تحقیقات آب، ۱۳۸۱) و سد گاوشان (مرکز تحقیقات آب، ۱۳۸۲) در داخل کشور و همچنین سدهای ایسلند و سد فالسیم توسط USACE (۱۹۸۰) در خارج از کشور مورد بررسی و ارزیابی آزمایشگاهی قرار گرفته است.

نرم افزار انسیس فلوئنت یکی از کاملترین، قویترین و کاربردی‌ترین نرم افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) بوده و برای مدل کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه‌های پیچیده به کار می‌رود. این نرم افزار امکان تغییر شبکه، به صورت کامل و تحلیل جریان با شبکه‌های غیرساخت یافته (بی‌سازمان) برای هندسه‌های پیچیده را فراهم می‌سازد. لازم به توضیح است که در مش (شبکه) سازمان یافته، هر المان را می‌توان با شماره سطر و ستون آدرس دهی

کرد. زیرا در شبکه‌بندی سازمان یافته شبکه به صورت کاملاً منظم تولید می‌شود. در صورتی که در شبکه بی‌سازمان، عملاً این کار به دلیل عدم نظم در ایجاد شبکه امکان پذیر نیست (Ansys Fluent، ۲۰۱۵). از جمله پژوهش‌های کار شده بانرم افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی می‌توان به بررسی عددی آثار ارتفاع تاج روزنه جانبی مستطیلی بر الگو و مشخصات جریان در اطراف روزنه (غفاری و همکاران، ۱۳۹۵)، بررسی آزمایشگاهی رابطه دبی- اشل برای سرریز کلید پیاپایی دریچه دار (Akbari و همکاران، ۲۰۱۹)، مطالعه عددی و آزمایشگاهی ترکیب سرریز کنگره‌ای با روزنه و تأثیر آن بر ضریب دبی جریان (بهره بر و همکاران، ۱۴۰۰)، بررسی رابطه دبی- اشل و ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی (سلماسی و همکاران، ۱۴۰۰)، بررسی ضریب دبی سرریزهای لبه پهن با وجه شیبدار در بالادست و پایین دست (Nourani و همکاران، ۲۰۲۱ و Malekzadeh و همکاران، ۲۰۲۲) اشاره کرد. با مروری کلی بر منابع و تحقیقات محققین مختلف می‌توان گفت که تحقیق قابل توجهی با استفاده از نرم افزار فلوئنت بر مسیر حرکت جت‌های خروجی از دریچه‌ها (جت‌های تحت فشار) انجام نگرفته است.

در تحقیق حاضر مسیر حرکت جت‌های خروجی از دریچه‌های تخلیه تحت فشار سدهای مخزنی به صورت عددی و آزمایشگاهی بررسی شد. باتوجه به این نکته که مطالعات انجام شده در برآورد مسیر حرکت جت‌های تحت فشار از مقاومت هوا صرف نظر کرده‌اند، لذا در تحقیق حاضر تأثیر مقاومت هوا در برآورد مسیر حرکت جت‌های تحت فشار بررسی شد. همچنین توانایی مدل عددی استفاده شده در این تحقیق (نرم افزار انسیس فلوئنت) در برآورد مسیر حرکت جت‌های تحت فشار بررسی و نمودارهای توزیع فشار و سرعت در پایاب سدها رسم شد. علاوه بر آن تأثیر قطر دریچه خروج جریان و ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه بر طول افقی جت تحت فشار بررسی شد. همچنین در تحقیق حاضر طول شکست جت‌های ریزشی تحت فشار مورد بحث قرار داده شد. در نهایت برای اصلاح مسیر حرکت جت تحت فشار، با استفاده از اعمال ضریب اصلاح و برازش یک رابطه (با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی) اقدام شد.

مواد و روش‌ها

• آنالیز ابعادی

جریان خروجی از جت ریزشی تحت فشار تابعی از خصوصیات سیال، مشخصات هندسی سازه و شرایط هیدرولیکی جریان می‌باشد. لذا می‌توان نوشت:

$$f(x, y, \sigma, g, \rho, \mu, \theta_0, V_0, P, d, H) = 0 \quad (A)$$

در رابطه (A)، H ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه، d قطر روزنه خروجی تحت فشار، P ارتفاع دریچه از سطح زمین، V_0

در شکل (۲) x و y مختصات لبه پایین جت تحت فشار، H ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه، d قطر دریچه و X_{max} بیشترین طول افقی جت ریزشی تحت فشار می باشد.

بعد از ساخت مدل آزمایشگاهی، آزمایشات در طی شش مرحله انجام شد. در مرحله اول جریان آب به وسیله پمپ موجود در آزمایشگاه به داخل برج آب انتقال داده شد. در مرحله دوم جریان آب به مخزن مکعبی شکل انتقال داده شد. در مرحله سوم بعد از ثابت شدن ارتفاع آب در داخل مخزن در یک تراز مشخص، میزان دبی خروجی از روزنه اندازه گیری شد (لازم به توضیح است که زمان ثابت شدن ارتفاع آب در داخل مخزن مکعبی شکل در هر سری آزمایش حدوداً ۲۰ دقیقه به طول می انجامید). در مرحله چهارم عکس برداری از مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار انجام شد. در مرحله پنجم با تغییر بازشدگی شیرفلکه، میزان دبی را تغییر داده و مرحله دوم تا چهارم تکرار شد. در مرحله ششم با تغییر قطر دریچه، مراحل اول تا چهارم تکرار شد. در نهایت حدود ۳۵۰ مختصات مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار از روی عکس ها برداشته شد. با تغییر پارامترهای موثر در مسیر جت پرتابی (پارامترهای جدول ۱) آزمایشات انجام شدند.

برای برداشت داده های مسیر سقوط جت تحت فشار از یک دوربین استفاده شد. به این ترتیب بعد از برقراری جریان جت از دریچه سد (دریچه دایره ای نصب شده بر روی مخزن)، عکس هایی از مسیر حرکت جت ها گرفته می شدند. سپس داده های مسیر حرکت جت های تحت فشار موجود در این عکس ها با استفاده از نرم افزار Plot Digitizer برداشت می شدند. لازم به ذکر است در نرم افزار Plot Digitizer ابتدا چهار نقطه مشخص روی عکس که مقادیر x و y آن ها معلوم باشد به نرم افزار وارد می شود. سپس با کلیک بر روی هر نقطه از عکس، مختصات آن نقطه وارد می شود. با انتخاب مسیر حرکت جت های ریزشی تحت فشار در این نرم افزار، مختصات مسیر حرکت جت به دست می آید (در استخراج داده های مسیر حرکت جت تحت فشار، هسته مرکزی جت به عنوان مسیر حرکت جت تحت فشار در نظر گرفته شد و همچنین سطح آب داخل مخزن در هر آزمایش در یک تراز ثابت، قرار گرفت و سپس عکس برداری و اندازه گیری دبی صورت گرفت). لازم به توضیح است دبی جریان جت به صورت حجمی در کل آزمایشات اندازه گیری شد. در اندازه گیری دبی به صورت حجمی از یک مخزن کوچک مکعبی شکل به ابعاد $۰/۶ \times ۰/۶ \times ۰/۵$ متر استفاده شد و همچنین زمانی که برای ریخته شدن جریان داخل مکعب در هر آزمایش در نظر گرفته می شد بالای ۴۰ ثانیه در کل آزمایشات بود. علاوه بر آن، سطح آب در فلوم پایین دست در طول آزمایشات ثابت و در حدود ۱۵ سانتی متر بود که تاثیری بر مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار نداشت.

در این پژوهش، ابتدا جریان جت ریزشی تحت فشار به صورت

سرعت اولیه جت پرتابی، θ_0 زاویه اولیه جت از افق، ρ جرم مخصوص سیال، μ لزجت دینامیکی، x و y مختصات لبه پایین جت ریزشی، g شتاب ثقل و σ کشش سطحی می باشند.

با انتخاب پارامترهای ρ و d به عنوان پارامترهای تکرارشونده، پارامترهای بدون بعد برای جت ریزشی تحت فشار به صورت رابطه (۹) به دست می آید.

$$f'(\frac{\mu}{\rho V_0 d}, \frac{\sigma}{\rho V_0^2 d}, \frac{dg}{V_0^2}, \frac{x}{d}, \frac{y}{d}, \frac{P}{d}, \frac{H}{d}, \theta_0) = 0 \quad (9)$$

$$\frac{y}{d} = f'(\frac{\mu}{\rho V_0 d}, \frac{\sigma}{\rho V_0^2 d}, \frac{dg}{V_0^2}, \frac{x}{d}, \frac{P}{d}, \frac{H}{d}, \theta_0) \quad (10)$$

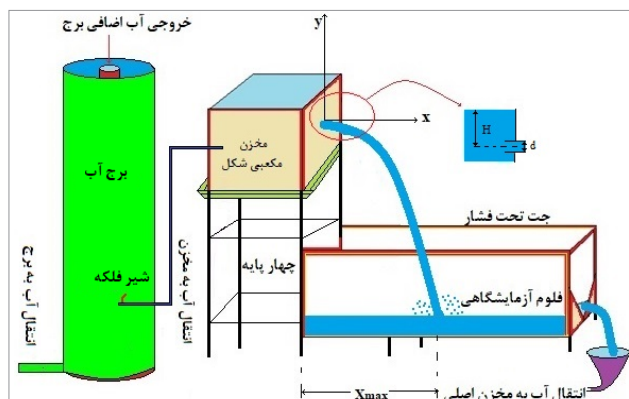
از آنجایی که پارامتر بدون بعد θ_0 (زاویه اولیه جت از افق) در تحقیق حاضر ثابت گرفته شده است، با توجه به عوامل متغیر در این تحقیق، معادله نهایی به فرم روابط (۱۱) و (۱۲) ارائه می شود.

$$\frac{y}{d} = f'(\frac{\mu}{\rho V_0 d}, \frac{\sigma}{\rho V_0^2 d}, \frac{dg}{V_0^2}, \frac{x}{d}, \frac{P}{d}, \frac{H}{d}) \quad (11)$$

$$\frac{y}{d} = f'(\frac{1}{Re}, \frac{1}{We}, \frac{1}{Fr^2}, \frac{x}{d}, \frac{P}{d}, \frac{H}{d}) \quad (12)$$

• مشخصات هندسی مدل آزمایشگاهی

آزمایشات این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز در یک مخزن مکعبی به طول ۲، عرض ۱/۲ و ارتفاع ۱/۵ متر انجام گرفت. بر روی این مخزن یک دریچه دایره ای شکل برای عبور آب نصب شد. همچنین در پایین دست آن یک فلوم شیشه ای فلزی برای انتقال آب به مخزن اصلی و در بالادست آن یک برج آب برای تامین آب مورد نیاز برای شبیه سازی هد بالادست جت ریزشی تحت فشار تعبیه شد. لازم به ذکر است برای تامین ارتفاع مورد نیاز برای سقوط جت ریزشی تحت فشار، مخزن آب روی یک چهارپایه به ارتفاع ۲ متر قرار داده شد. در شکل (۲)، شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی برای اندازه گیری های مسیر حرکت جت تحت فشار نشان داده شده است.



شکل ۲- شماتیک فلوم آزمایشگاهی تحقیق حاضر در حالت ریزش تحت فشار

آزمایشگاهی بررسی شد و سپس با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، نرم‌افزار مورد استفاده در تحقیق حاضر کالیبره شد و شبیه‌سازی عددی نیز برای مدل‌های مورد نظر انجام گرفت. در جدول (۱) محدوده تغییر پارامترها در تحقیق حاضر نشان داده شده است.

جدول ۱- محدوده تغییرات پارامترهای موثر بر جت ریزشی تحت فشار

	x/d	y/d	P/d	H/d
Min	۰	۲۷۰/۳۹۹	۱۰۰	۱/۱۶
Max	۹۴/۴۹	۰	۴۲۵	۱۳/۷۵
Mean	۳۰/۶۳	۵۹/۸۱	۱۷۰/۲۳	۶/۲۳
Std Dev	۲۱/۲۳	۴۸/۰۵۸	۱۰۵/۷۳۵	۴/۰۲

H ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه، P ارتفاع دریچه از سطح زمین، d قطر دریچه و x و y مختصات لبه پایین جت ریزشی

• شبیه‌سازی عددی با نرم‌افزار فلوئنت

- معادلات حاکم بر جریان:

پایه و اساس تمام روش‌های عددی در رشته مهندسی هیدرولیک حل معادلات حاکم بر جریان شامل معادلات پیوستگی و اندازه حرکت است که اصطلاحاً به معادلات ناویر-استوکس معروف می‌باشند. برای یک جریان تراکم ناپذیر با ویسکوزیته ثابت، معادلات مذکور به ترتیب به فرم رابطه (۱۳) و (۱۴) نوشته می‌شوند (Ansys Fluent، ۲۰۱۵).

$$\frac{\partial}{\partial X_j}(\overline{U_i}) = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial X_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial X_j} (-P \delta_{ij} - \rho \overline{U_i U_j}) \quad (14)$$

که در رابطه فوق U_i و U_j مولفه‌های بردار سرعت در راستای فضایی i و j ، فشار P ، چگالی سیال و δ_{ij} دلتای کرونکر است (در صورتی که $i=j$ باشد، مقدار آن یک و در غیر این صورت مقدار آن صفر است). عبارت اول در سمت چپ رابطه (۱۴) عبارت غیرماندگاری و عبارت دوم انتقال^۲ است. عبارت اول سمت راست رابطه (۱۴) عبارت فشار و عبارت دوم تنش رینولدزی است. برای حل معادله حاکم بر جریان می‌توان از یکی از نرم‌افزارهای CFD بهره برد. در تحقیق حاضر از نرم‌افزار Ansys-Fluent که به روش حجم محدود به شبیه‌سازی عددی جریان می‌پردازد، استفاده شد.

- مدل عددی:

در شبیه‌سازی جریان عبوری از دریچه به روش حجم محدود، برای حل معادلات آشفتگی از مدل اغتشاش (RNG) $k-\epsilon$ ، برای حل معادلات سطح آزاد جریان از روش حجم سیال (VOF^۳)، برای گسسته‌سازی عبارت فشار از روش (PISO^۴) و برای

گسسته‌سازی عبارت اندازه حرکت از روش مرتبه دوم بالادست (SOU^۵) استفاده شد.

از انواع مدل‌های آشفتگی موجود در نرم‌افزار انسیس فلوئنت می‌توان به مدل Spalart-Allmaras، مدل‌های $k-\epsilon$ ، مدل $k-\omega$ ، مدل‌های تنش رینولدز^۶، مدل شبیه‌سازی گرداب منفصل^۷ و مدل شبیه‌سازی گرداب بزرگ^۸ اشاره نمود. متأسفانه تاکنون مدل آشفتگی واحدی به‌عنوان مدل آشفتگی عمومی برای حل همه مسائل پذیرفته نشده است. انتخاب مدل آشفتگی به شرایط موجود مانند فیزیک در برگیرنده جریان، میزان دقت مورد نیاز، منابع محاسباتی موجود و زمان در نظر گرفته شده جهت شبیه‌سازی بستگی دارد. مدل $k-\epsilon$ در واقع مشتق شده از مدل RSM می‌باشد، که خود بر سه نوع Standard، RNG و Realizable تقسیم می‌شود (Ansys Fluent، ۲۰۱۵).

در تحقیق حاضر برای یک شرایط هیدرولیکی و هندسی ثابت از هر سه نوع مدل $k-\epsilon$ فوق و همچنین (Standard) $K-\omega$ و (SST) $K-\omega$ استفاده شد ولی تفاوت چشمگیری در پیش‌بینی مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار وجود نداشت و به همین خاطر در تمامی مدل‌ها از مدل (RNG) $K-\epsilon$ استفاده شد.

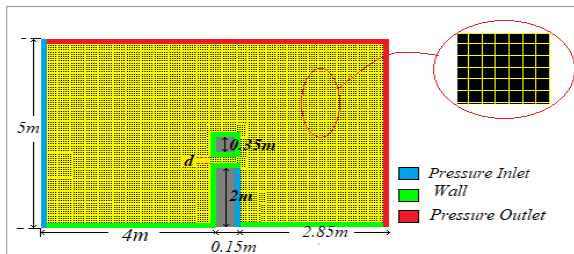
شبیه‌سازی عددی جریان عبوری از دریچه در یک کانال روباز، یک جریان دو فازی و متلاطم می‌باشد. همانطور که اشاره شد در تحقیق حاضر از روش VOF که توسط Hirt و Nichols (۱۹۸۱) ارائه شده است استفاده شد. که رابطه انتقالی کسر سیال در آن با رابطه (۱۵) بیان می‌شود.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial U_i F}{\partial X_i} = 0 \quad (15)$$

این روش بر این اساس استوار است که دو یا چند سیال با هم ترکیب نمی‌شوند. پس مختصات و مقادیر هر سلول به طور خاص نشان دهنده یکی از فازها است که بسته به مقادیر نسبی حجمی بین صفر و یک متغیر است. در شبیه‌سازی جریان دو فازی شامل آب و هوا، در صورتی که سلولی پر از هوا باشد، مقدار نسبت حجمی صفر ($F=0$)، در صورتی که کاملاً پر از آب باشد، مقدار یک ($F=1$) و در صورتی که سلول هر دو سیال را داشته باشد، مقدار عددی بین صفر و یک ($0 < F < 1$) را به خود اختصاص می‌دهد که تحت این شرایط المان سطح سیال آزاد دارد (Ansys Fluent، ۲۰۱۵).

- شبکه‌بندی و شرایط مرزی:

از آنجایی که در مدل‌سازی باروش‌های عددی، شبکه‌بندی محاسباتی می‌تواند روی نتایج مدل تأثیر بگذارد، در این قسمت تأثیر شبکه‌بندی بر نتایج مدل‌سازی بررسی شد. برای ایجاد شبکه قابل فراخوانی در نرم‌افزار انسیس فلوئنت، ابتدا در نرم‌افزار GAMBIT هندسه دو بعدی مدل طراحی و سپس از قسمت Meshing محدوده مسئله شبکه‌بندی شد. برای این منظور در تحقیق حاضر



شکل ۴- شماتیک شبکه بندی و اعمال شرایط مرزی در شبیه سازی عددی

نتایج و بحث

بعد از برقراری جریان در مدل ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک، حدود ۳۵۰ سری مختصات x و y از روی مسیرهای حرکتی جت های ریزشی تحت فشار (جت های خروجی از دریچه دایره ای شکل) که تحت تاثیر مقاومت هوا قرار گرفته اند استخراج شد. زمانی که جت های ریزشی تحت فشار به صورت افقی خارج می شوند معادله حرکت رابطه (۶) به صورت رابطه (۱۶) ساده می شود.

$$y = -\frac{x^2}{4H} \rightarrow x = 2\sqrt{(-y)H} \quad (16)$$

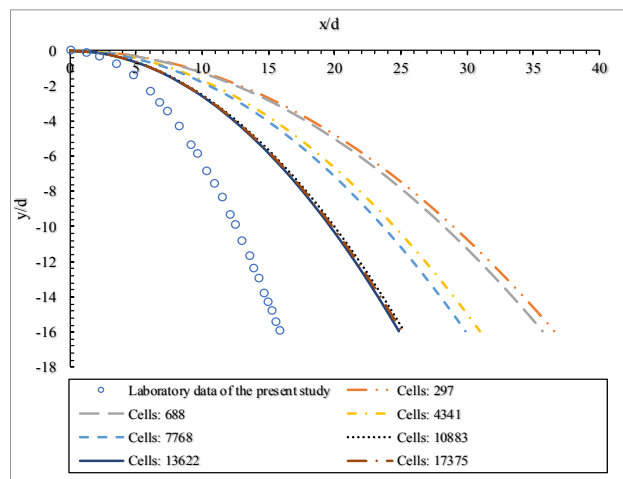
معادله (۱۶) حرکت یک جت خروجی تحت فشار که تحت تاثیر مقاومت هوا قرار نگرفته است را توصیف می کند. در واقع طول افقی جت تحت فشار محاسبه شده با استفاده از این رابطه بیشتر از مقدار واقعی آن به خاطر اثر مقاومت هوا می باشد. با استفاده از داده های آزمایشگاهی تحقیق حاضر نسبت به تعدیل و اصلاح رابطه (۱۶) به فرم روابط (۱۷) و (۱۸) اقدام شد. لازم به توضیح است در تحقیق حاضر به دو روش نسبت به اصلاح رابطه (۱۶) اقدام شد که در روش اول با استفاده از ضریب تعدیل، رابطه (۱۶) به فرم رابطه (۱۷) اصلاح و در روش دوم با برازش یک رابطه برای اختلاف بین مقادیر استخراجی از معادله پرتابه و نتایج آزمایشگاهی اقدام شد و در رابطه (۱۶) به فرم رابطه (۱۸) اعمال شد.

$$x = 2\sqrt{\lambda(-y)H} \quad (17)$$

$$x = 2\sqrt{(-y)H} - \Delta \quad (18)$$

در رابطه (۱۷)، λ ضریبی برای اصلاح مسیر حرکت جت تحت فشار می باشد که تاثیر مقاومت هوا را در معادله پرتابه وارد می کند. همچنین در رابطه (۱۸)، Δ رابطه ای برای اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی متاثر از مقاومت هوا و مقادیر متناظر استخراج شده آن ها با استفاده از معادله پرتابه می باشد. در تحقیق حاضر با استفاده از ۷۵ درصد داده ها نسبت به استخراج ضریب اصلاح به روش سعی و خطا اقدام شد و با استفاده از ۲۵ درصد داده ها ضریب به دست آمده مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد ضریب اصلاح ۰/۶۵ می تواند بهترین مسیر جت را ارائه دهد. همچنین با استفاده از ۷۵ درصد داده های آزمایشگاهی تحقیق حاضر نسبت به برازش یک رابطه برای اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی متاثر از مقاومت هوا و

از المان های مربعی شکل استفاده شده است. در تحقیق حاضر برای جلوگیری از تاثیر اندازه شبکه ها در حل معادلات حاکم، آزمون مستقل از شبکه صورت گرفت و تعداد شبکه مناسب انتخاب شد. آنالیز حساسیت برای شبکه بندی نشان داد که با افزایش تعداد شبکه ها از ۲۹۷ به ۱۷۳۷۵ اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی و عددی کمتر می شود. به طوری که از تعداد شبکه ۱۰۸۸۳ به بالا، اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی و عددی تقریباً ثابت می ماند. این نشان می دهد که کوچکتر کردن ابعاد شبکه به بیش از مقدار بیان شده، تاثیری در دقت نتایج ندارد. به همین خاطر در این شبیه سازی، تعداد شبکه مناسب در حدود ۱۰۸۸۳ انتخاب شد. لازم به ذکر است تعداد گره ها در این حالت ۱۱۱۸۲ به دست می آید. در شکل (۳) آزمون مستقل از شبکه برای یک مشخصات هیدرولیکی و هندسی ثابت از جت ریزشی نشان داده شده است.

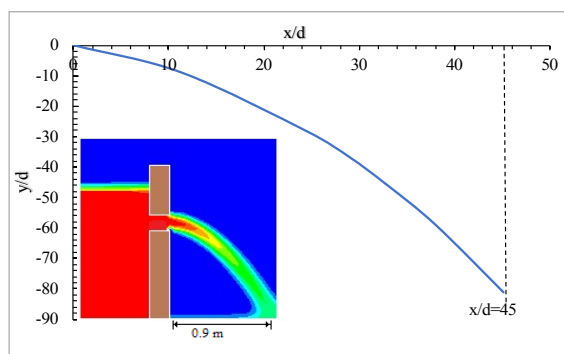


شکل ۳- آزمون مستقل از شبکه در تحقیق حاضر

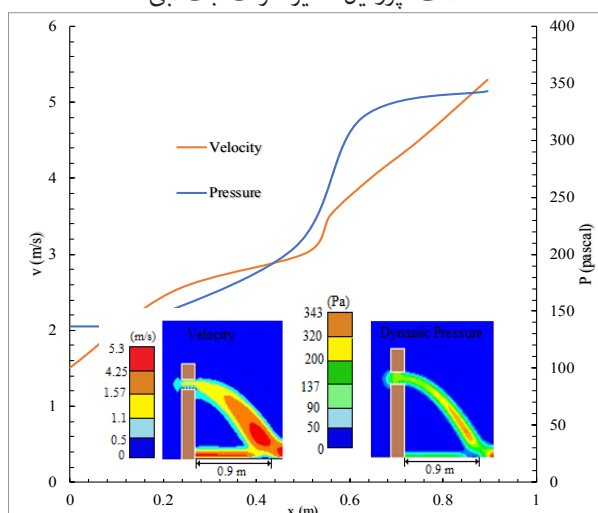
یکی از مهمترین مسائل در شبیه سازی عددی، تعریف مناسب شرایط مرزی^{۱۱} است که در تحقیق حاضر شرایط مرزی برای جریان ورودی به صورت فشار جریان آب^{۱۲}، برای جریان خروجی به صورت فشار خروجی صفر^{۱۳}، برای وجه پایین دست سازه (برای هوادهی وجه پایین دست سازه و جلوگیری از چسبیدن جت آب به بدنه سازه) از شرط مرزی فشار جریان آب، برای کف و خود سازه داخل کانال شرط مرزی دیواره^{۱۴} با زبری ۰/۰۰۰۱ و برای بالای کانال شرط مرزی فشار خروجی صفر معرفی شد. همچنین لازم به توضیح است در شرط مرزی فشار آب، پارامترهای عمق، سرعت جریان، شعاع هیدرولیکی و شدت آشفتگی^{۱۵} در بالادست کانال به نرم افزار وارد شده و روباز بودن کانال بالادست مشخص می شود. شبکه بندی تحقیق حاضر و شرایط مرزی در شکل (۴) نشان داده شده است. شبیه سازی عددی جریان در تحقیق حاضر به صورت غیردائمی و با گام زمانی ۰/۱۶۰۰۱ ثانیه انجام شد و تا رسیدن به حالت دائمی (مستقل از زمان) ادامه یافت.

این خطا به طور متوسط حدود ۷۰ درصد کمتر می‌شود. به بیان دیگر، متوسط خطای رابطه (۱۹) با ضریب اصلاح ۰/۶۵ به حدود ۸ درصد می‌رسد که نشانگر دقت بالای معادله در محاسبه مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار است. همچنین رابطه (۲۰) نیز مسیر حرکت جت ریزشی را با خطای ۹ درصدی محاسبه می‌کند که خطای معادله پرتابه را حدود ۶۶ درصد کاهش می‌دهد. با استفاده از رابطه (۱۹) و (۲۰)، و با در دست داشتن قطر دریچه و ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه می‌توان مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار را با خطای خیلی کمتری محاسبه نمود. همچنین این معادلات می‌توانند محل برخورد جت تحت فشار به زمین را دقیقتر از معادله پرتابه ارائه دهند که در طراحی حوضچه‌های آرامش و محل جامایی سازه‌های پایاب سدها اهمیت دارد.

در شکل (۶ الف، ب) به ترتیب نمودار مسیر حرکت جت، نمودار تغییرات سرعت جریان عبوری از دریچه به همراه تغییرات فشار بعد از شبیه‌سازی عددی به روش حجم محدود با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت در شرایطی که قطر دریچه ۲ سانتی‌متر، ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه برابر ۱۴/۵ سانتی‌متر و سرعت در محل خروج جریان از دریچه برابر ۱/۶۵ متر بر ثانیه باشد، نشان داده شده است.



الف- پروفیل مسیر حرکت جت آبی



ب- تغییرات سرعت و فشار دینامیکی جریان

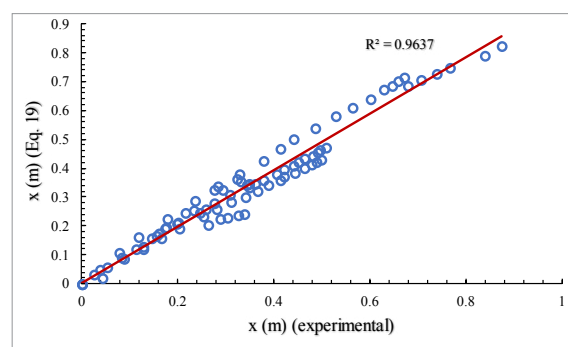
شکل ۶- نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی جریان عبوری از دریچه

مقادیر استخراج شده آن‌ها با استفاده از معادله پرتابه اقدام شد. روابط (۱۹) و (۲۰) به ترتیب ضریب اصلاح اعمال شده در رابطه (۱۷) و معادله برازش داده شده برای رابطه (۱۸) را نشان می‌دهند.

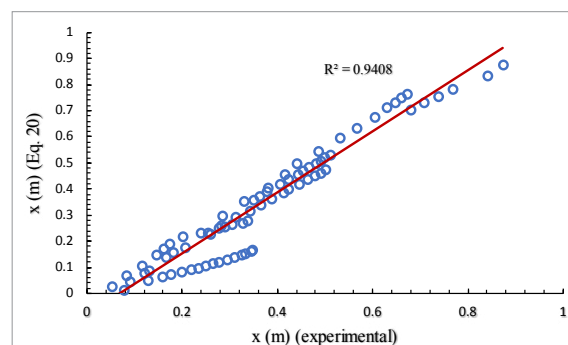
$$x = 2\sqrt{-0.65 \times H \times y} \quad (19)$$

$$x = 2\sqrt{-y \times H} - (0.517d + 0.827H) \quad (20)$$

در روابط فوق، x و y مختصات خط مرکزی (هسته) جت تحت فشار، H ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه و d قطر دریچه دایره‌ای شکل می‌باشند. در شکل (۵ الف و ب) نمودار پراکندگی داده‌ها برای ۲۵ درصد داده‌ها برای روابط (۱۹) و (۲۰) نشان داده شده است.



الف- پراکندگی داده‌های رابطه (۱۹) با استفاده از داده‌های آزمون (۲۵٪ داده‌ها)



ب- پراکندگی داده‌های رابطه (۲۰) با استفاده از داده‌های آزمون (۲۵٪ داده‌ها)

شکل ۵- نمودار پراکندگی نقاط برای داده‌های آزمون

باتوجه به شکل (۵ الف و ب) مشاهده می‌شود اکثر داده‌ها در نزدیکی نیمساز ناحیه اول واقع شده‌اند که نشانگر دقت بالای روابط ارائه شده برای محاسبه مسیر حرکت جت تحت فشار می‌باشند. همچنین مقدار بالای ضریب همبستگی این نمودارها دقت بالای این روابط را در پیش‌بینی مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار نشان می‌دهد. با تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی و مقایسه آن با نتایج حاصل از روابط پرتابه، مشخص شد مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار مستخرج از روابط، در مقایسه با مقدار واقعی آن (داده‌های آزمایشگاهی) به طور متوسط حدود ۲۶ درصد خطا دارد. با گنجاندن ضریب اصلاح ۰/۶۵ در معادله پرتابه

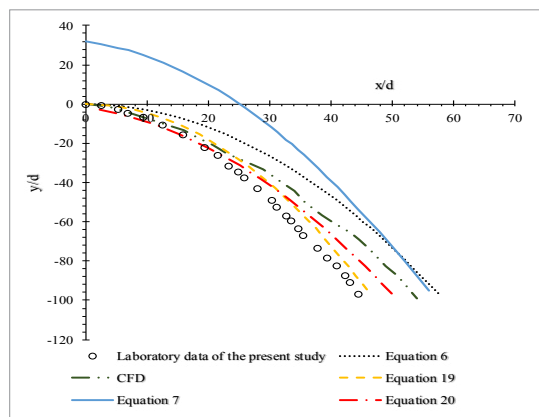
باتوجه به شکل (۶ الف) مشاهده می شود جت تحت فشار بعد از به حالت پایدار رسیدن در $x/d=45$ به زمین برخورد می کند که با در نظر گرفتن قطر دریچه (قطر دریچه برابر ۲ سانتیمتر)، مشخص می شود که جت ریزشی در فاصله ۰/۹ متری از بدنه سازه به زمین برخورد می کند. باتوجه به شکل (۶ ب) و مقایسه آن ها، می توان بیان کرد بیشترین فشار دینامیکی در محل برخورد جت ریزشی به زمین اتفاق می افتد که در این نقطه سرعت جریان نیز بیشینه است. به بیان دیگر، در این مدل، مقدار فشار دینامیکی در محل برخورد جت ریزشی به زمین به ۳۴۳ پاسگال می رسد که نسبت به لبه دریچه ۱۵۰ درصد افزایش می یابد. همچنین میزان سرعت در محل برخورد جت ریزشی تحت فشار به زمین به مقدار ۵/۳ متر بر ثانیه می رسد که با افزایش ۲۵۰ درصدی نسبت به لبه دریچه، به زمین برخورد می کند. به طور کلی باتوجه به شکل (۶) و مقایسه قسمت های الف و ب در این شکل مشاهده می شود بعد از به حالت تعادل رسیدن حل عددی در نرم افزار انسیس فلوئنت، در طول مسیر حرکت جت ریزشی سرعت و فشار افزایش می یابد و در محل برخورد به زمین به بیشترین مقدار خود می رسند. لازم به توضیح است نمودارهای شکل (۶) برای گونه ارائه شده است. روند تغییر سرعت و فشار دینامیکی در مدل های مختلف مشابه شکل (۶ ب) بوده ولی مقادیر متفاوتی دارند. به طور کلی نتایج شبیه سازی های عددی در نرم افزار انسیس فلوئنت و در محدوده شبیه سازی تحقیق حاضر، نشان داد به طور متوسط سرعت جریان با افزایش ۲۴۲ درصدی و همچنین فشار دینامیکی با افزایش ۱۴۵ درصدی نسبت به لبه دریچه به زمین برخورد می کند. این نتایج نشان می دهد در طراحی حوضچه های آرامش در پایاب سدها باید توجه ویژه ای به مقدار سرعت و فشار ناشی از آن در محل برخورد جت ریزشی تحت فشار به زمین شود. در صورت عدم توجه به این موضوع و همچنین در صورت پیش بینی اشتباه محل برخورد جت ریزشی تحت فشار به زمین، حوضچه آرامش و همچنین پایاب سدها می تواند دستخوش تغییرات زیاد و فرسایش شود.

- مقایسه معادله مسیر:

در این قسمت از تحقیق به بررسی و مقایسه مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار با استفاده از نتایج حاصل از کار آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی و همچنین معادلات پرتابه ارائه شده توسط سایر محققین انجام می شود. در شکل (۷) مقایسه ای بین مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار با استفاده از روابط مختلف ارائه شده است.

باتوجه به شکل (۷) ملاحظه می شود رابطه (۷) (رابطه ارائه شده توسط سلمان زاده و احدیان، ۱۳۹۵) در ابتدا خطای زیادی دارد، این رابطه نسبت به نتایج آزمایشگاهی ۲۵ درصد خطا نشان

می دهد. این خطای زیاد در ابتدای حرکت جت ریزشی تحت فشار، ناشی از وجود عدد ثابت در رابطه ارائه شده توسط سلمان زاده و احدیان (۱۳۹۵) است، همچنین چون ارتفاع ریزش در کار تحقیقاتی آن ها کم است مقاومت هوا نتوانسته است تاثیر خودش را بر مسیر حرکت جت ریزشی بگذارد. باتوجه به شکل (۷) اگر داده های آزمایشگاهی به عنوان مبنا در نظر گرفته شوند، بیشترین خطا مربوط به معادله پرتابه (رابطه ۶) و کمترین خطا مربوط به معادلات ارائه شده در تحقیق حاضر (معادله پرتابه که با ضریب ۰/۶۵ اصلاح شده است و همچنین رابطه (۲۰)) می باشد. همچنین مسیر شبیه سازی شده در نرم افزار انسیس فلوئنت بهتر از معادله پرتابه نسبت به ارائه مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار اقدام می کند. به بیان دیگر مسیر حرکت جت تحت فشار استخراج شده از روابط (۶)، (۷)، (۱۹)، (۲۰) و مسیر حرکت استخراج شده از نرم افزار انسیس فلوئنت نسبت به داده های آزمایشگاهی به طور متوسط و به ترتیب خطای ۲۶، ۲۵، ۸، ۹ و ۲۳ درصدی دارد که رابطه ارائه شده در این تحقیق دقت بیشتری دارد (قابل ذکر است این خطاها متوسط بوده و در بعضی شرایط ممکن است بیشتر و در بعضی شرایط کمتر از این اعداد باشند). در حالت کلی می توان بیان کرد مقاومت هوا تاثیر زیادی بر مسیر حرکت جت ریزشی عبوری از دریچه داشته که به وسیله ضریبی در رابطه پرتابه می توان آن را اصلاح نمود و ضروری می باشد که مقاومت هوا در طراحی ها مورد توجه قرار گیرد.



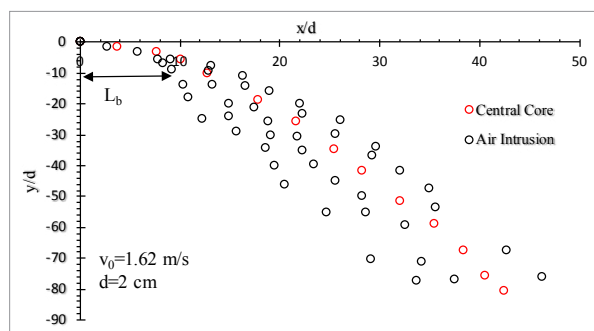
شکل ۷- مقایسه معادله مسیر روابط مختلف با نتایج آزمایشگاهی

- تاثیر قطر دریچه و ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه بر طول افقی جت ریزشی:

در تحقیق حاضر به بررسی آزمایشگاهی تاثیر قطر دریچه و ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه بر طول افقی جت ریزشی تحت فشار پرداخته شد. در شکل (۸ الف و ب) تاثیر این دو پارامتر بر طول افقی جت ریزشی تحت فشار نشان داده شده است.

- گسستگی جت ریزشی تحت فشار:

یکی از مهمترین پارامترهای جت‌های ریزشی، طول شکست آن‌ها (L_b) می‌باشد که این طول از هنگام خروج جت از نازل آغاز شده و تا لحظه کاملاً توسعه یافتگی جت به صورت یک هسته متراکم از آب که در مقابل ورود هوا به درون خود مقاومت می‌کند ادامه می‌یابد. در شکل (۹) هسته مرکزی و نقطه گسستگی جت ریزشی تحت فشار با شرایط سرعت اولیه جت برابر $1/62$ متر بر ثانیه و قطر خروجی جت برابر 2 سانتی‌متر ارائه شده است.



الف- طول شکست جت ریزشی

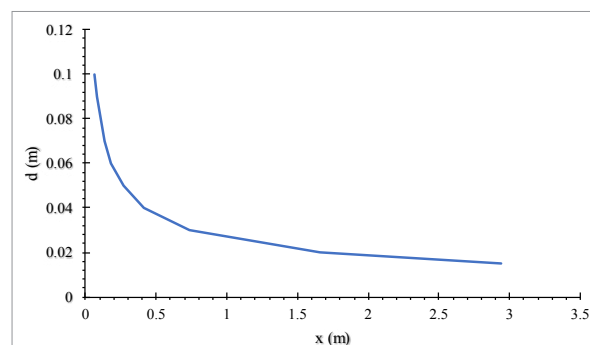


ب- تشخیص نقطه ورود هوا توسط عکس‌برداری در آزمایشگاه گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز

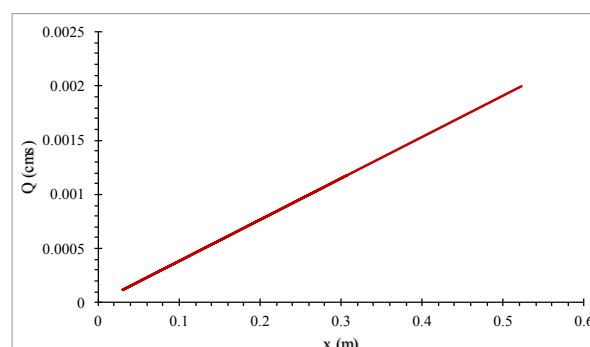
شکل ۹- نقطه ورود هوا به جت ریزشی تحت فشار و طول شکست آن

باتوجه به شکل (۹) مشاهده می‌شود در شرایط یاد شده در روی نمودار، نقطه ورود هوا در جت ریزشی تحت فشار در حدود 18 سانتی‌متری در امتداد افق اتفاق می‌افتد. لذا در این شرایط، طول شکست جت ریزشی برابر 18 سانتی‌متر است ($x/d=9$ و $d=2$ cm).

لازم به توضیح است شکل (۹) با استفاده از تصویر دوربین عکاسی مستقر در آزمایشگاه و استفاده از نرم‌افزار Plot Digitizer در دو حالت رسم شده است. در حالت اول مسیر حرکت هسته مرکزی جت ریزشی تحت فشار از روی عکس‌ها استخراج شده و در حالت دوم قطرات سقوط جت ریزشی گسسته شده انتخاب و مختصات نقاط آن‌ها استخراج شد و در نهایت شکل (۹) رسم شد.



الف- تاثیر قطر دریچه بر طول افقی جت ریزشی تحت فشار (برای دبی ثابت یک لیتر بر ثانیه)



ب- تاثیر ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه بر طول افقی جت ریزشی تحت فشار (برای قطر ثابت 5 سانتی‌متر)

شکل ۸- تاثیر قطر دریچه و ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه بر طول افقی جت ریزشی تحت فشار

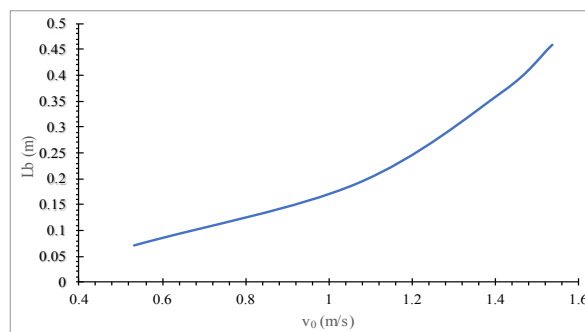
شکل (۸-الف) نشان می‌دهد برای یک قطر ثابت (قطر دریچه برابر 5 سانتی‌متر با افزایش دبی جریان (افزایش ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه) و به دنبال آن با افزایش سرعت جریان خروجی از دریچه، طول افقی جت ریزشی بیشتر می‌شود. همچنین باتوجه به شکل (۸-ب) با افزایش قطر دریچه در یک دبی ثابت، طول افقی جت ریزشی کمتر می‌شود. به عبارت دیگر، با افزایش قطر دریچه عبور جریان در یک دبی ثابت بالادست و باتوجه به معادله پیوستگی و معادله پرتابه، جریان بیشتری از دریچه خارج می‌شود و سرعت جریان خروجی از دریچه کمتر می‌شود و به دنبال آن، طول افقی جت ریزشی تحت فشار کمتر می‌شود. همچنین باتوجه به معادله پرتابه و مشاهدات آزمایشگاهی می‌توان اظهار کرد با افزایش بار آبی و به دنبال آن با افزایش دبی جریان عبوری از دریچه، زاویه بردار سرعت اولیه از افق کمتر و مسیر طی شده توسط جت تحت فشار بیشتر می‌شود. لازم به توضیح است شکل (۸) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی رسم شده است.

نتیجه گیری

با پیشرفت تکنولوژی سدسازی ارتفاع سدها در سال‌های اخیر افزایش یافته است، افزایش ارتفاع سد علاوه بر مزایا، سبب بروز مشکلاتی می‌شود که می‌توان به افزایش سرعت جریان آب در سازه‌های هیدرولیکی چون تخلیه‌کننده‌های تحت فشار اشاره کرد. با افزایش سرعت جریان در مقطع خروجی جت‌های ریزشی تحت فشار، جت آبی می‌تواند خسارات جبران ناپذیری به سازه‌های پایین‌دست سدها وارد نماید. در مورد جت‌های پرتابی مطالعات اندکی صورت گرفته است. در تحقیق حاضر به بررسی عددی و آزمایشگاهی مسیر حرکت جت‌های تحت فشار پرداخته شد. ارتفاع جت پرتابی از دریچه سد در مدل آزمایشگاهی برابر ۲ متر بود. نتایج نشان داد مسیر حرکت این جت‌ها متأثر از مقاومت هوا بوده و فاصله محل برخورد جت ریزشی به زمین از پای سازه (طول افقی جت ریزشی) در کار آزمایشگاهی کمتر از مقدار محاسبه شده آن با استفاده از روابط پرتابه می‌باشد. به عبارت دیگر رابطه پرتابه حدود ۲۶ درصد خطا دارد که در تحقیق حاضر نسبت به اصلاح و تعدیل آن اقدام شد. همچنین تأثیر ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه و قطر مقطع خروجی جریان بر طول افقی جت تحت فشار بررسی شد و نتایج نشان داد با افزایش ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه (زمانی که قطر مقطع خروجی ثابت است) و همچنین با کاهش قطر دریچه (زمانی که دبی ثابت است)، برد جت ریزشی بیشتر می‌شود. همچنین رابطه (۶) که در چندین منابع مختلف برای پیش‌بینی مسیر حرکت جت ریزشی ارائه شده است نباید برای تعیین مسیر جت‌های تحت فشار استفاده شود. علاوه بر این، نتایج شبیه‌سازی عددی نشان داد سرعت و فشار در محل برخورد جت ریزشی به زمین در پای سازه بیشترین مقدار خود را دارد که در یک نمونه خاص فشار دینامیکی با افزایش ۱۵۰ درصدی و سرعت با افزایش ۲۵۰ درصدی نسبت به لبه دریچه به زمین می‌رسند که باید در طراحی‌ها مد نظر قرار داده شود. همچنین طول شکست جت ریزشی تحت فشار در تحقیق حاضر مورد بحث و بررسی قرار گرفت و مشخص شد با افزایش سرعت، ورود هوا به جت ریزشی در فاصله دورتری نسبت به افق صورت می‌گیرد و طول شکست جت ریزشی بیشتر می‌شود. به طور کلی در صورت پیش‌بینی ضعیف و یا نادرست مسیر حرکت جت‌های آبی خروجی از سدها و به خصوص محل برخورد جت تحت فشار در پایین‌دست سدها، ممکن است سازه‌های موجود در پایین‌دست سدها، حوضچه استغراق و کانال پایین‌دست دچار تخریب شوند. نتایج تحقیق حاضر می‌تواند در جامه‌ای دقیق حوضچه‌های آرامش در پایاب سدها موثر واقع شوند. با در دست داشتن قطر دریچه و ارتفاع آب مخزن سد از مرکز دریچه می‌توان مسیر حرکت جت ریزشی تحت فشار را با خطای خیلی کمتری محاسبه نمود.

پس از خروج آب از دهانه نازل، قطرات منحصربه‌فرد آب، تحت تأثیر وزن ذره، به تدریج سرعتشان به سرعت حد می‌رسد. در نتیجه، ورود هوا به درون جت هنگامی رخ می‌دهد که نیروی مقاوم (دراگ) ناشی از هوا دقیقاً برابر با وزن همان قطره منحصربه‌فرد شود. سرعت نسبتاً زیاد جت مایع باعث ایجاد ناپایداری‌هایی روی سطح آن می‌شود که خود را به صورت امواج سطحی نشان می‌دهند. حال هرگاه جت پر سرعتی از مایع در هوا رها شود، این امواج سطحی رشد کرده و سطحی موجدار برای جت ایجاد می‌کند، ولی کشش سطحی نمی‌خواهد که سطح آزاد مایع این چنین دستخوش تغییرات شود. جدال بین امواج سطحی و کشش سطحی در نهایت منجر به پیروزی کشش سطحی می‌شود. کشش سطحی برای نشان دادن حاکمیت خود به مساحت بیشتری نیاز دارد. این موضوع باعث از هم گسیختگی و تکه تکه شدن جت مایع شده و قطرات مایع ایجاد می‌شوند. بنابراین، نخست گسستگی جت مایع رخ می‌دهد و سپس قطرات بزرگ ایجاد شده به قطرات ریز تقسیم می‌شوند.

طول شکست جت‌های ریزشی به عوامل مختلفی از جمله سرعت اولیه جت، قطر جت، جرم مخصوص سیال، لزجت دینامیکی، کشش سطحی، شتاب ثقل و... بستگی دارد. در شکل (۱۰) روند تغییر طول شکست نسبت به سرعت نشان داده شده است.



شکل ۱۰- روند تغییر طول شکست نسبت به سرعت

باتوجه به شکل (۱۰) مشاهده می‌شود با افزایش سرعت اولیه جت ریزشی تحت فشار، طول شکست جت در راستای افق بیشتر می‌شود. دو عدد خیلی مهم نیز در پدیده گسستگی کاربرد دارند که یکی عدد رینولدز و دیگری عدد وبر است. بزرگ بودن عدد رینولدز نشان دهنده قدرتمند بودن اغتشاشات درون جریان و کوچک بودن عدد وبر به معنی قدرتمند بودن نیروهای کشش سطحی است. با افزایش سرعت، مقدار عددی عدد وبر بیشتر شده ولی نیروهای کشش سطحی کمتر می‌شوند. با کمتر شدن نیروهای کشش سطحی، طول شکست بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر، در این شرایط، نیروهای کشش سطحی به مسافت بیشتری برای غلبه به نیروهای امواج سطحی نیاز دارند و لذا طول شکست بیشتر می‌شود.

- Ahadiyan, J., & Musavi Jahromi, S.H. (2009). Effects of jet hydraulic properties on geometry of trajectory in circular buoyant jets in the static ambient flow. *Journal of Applied Sciences*, 9(21), 3843-3849. DOI: [10.3923/jas.2009.3843.3849](https://doi.org/10.3923/jas.2009.3843.3849)
- Ansys Fluent. (2015). *Ansys Fluent Tutorial Guide*, South pointe, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317, USA.
- Akbari, M., Salmasi, F., Arvanaghi, H., Karbasi, M., & Farsadizadeh, D. (2019). Application of Gaussian Process Regression Model to Predict Discharge Coefficient of Gated Piano Key Weir. *Water Resources Management*, 33(11), 3929-3947. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02343-3>
- Ervine, D.A., & Falavey, H.T. (1987). Behavior of Turbulent Jets in Atmosphere and in Plunge Pools. *Proceeding of The Institution of the Civil Engineering*, Part 2, 83(1), 295-314. DOI: [10.1680/iicep.1987.353](https://doi.org/10.1680/iicep.1987.353)
- Eggers, J. (1997). Nonlinear Dynamics and Breakup of Free Surface Flows. *Reviews of Modern Physics*, 69(3), 865-929. DOI: [10.1103/REVMODPHYS.69.865](https://doi.org/10.1103/REVMODPHYS.69.865)
- Hirt, W., & Nichols, B.D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries, *Journal of Computational Physics*, 39, 201-225. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(81\)90145-5](https://doi.org/10.1016/0021-9991(81)90145-5)
- Kamoi, A., & Tanaka, H. (1972). Measurements of wall share stress, wall pressure and fluctuations in the stagnation region produced by oblique jet impingement, *Fluid dynamic measurements conference*. University of Leicester, United Kingdom.
- Malekzadeh, F., Salmasi, F., Abraham, J., & Arvanaghi, H. (2022). Numerical investigation of the effect of geometric parameters on discharge coefficients for broad-crested weirs with sloped upstream and downstream faces. *Applied Water Science*, 12, 1-15, <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01631-5>
- Nourani, B., Arvanaghi, H., & Salmasi, F. (2021). Effects of different configurations of sloping crests and upstream and downstream ramps on the discharge coefficient for broad-crested weirs. *Journal of Hydrology*, 603(B), 126940. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126940>

- 1-Plunging pool
- 2-Air-Water Bubbly Jets
- 3-Computational fluid dynamics
- 4-Convective
- 5-Volume of Fluid (VOF) Model
- 6-Pressure-Implicit with Splitting of Operator
- 7-Second Order Upwards
- 8-Reynolds Stress Model
- 9-Detached Eddy Simulation
- 10-Large Eddy Simulation
- 11-Boundary Conditions
- 12-Pressure Inlet
- 13-Pressure Outlet (Zero Pressure)
- 14-Wall
- 15-Turbulent Intensity
- 16-Time step

منابع

- بهره‌بر، امیررضا، حیدرنژاد، محمد، مسجیدی، علی رضا، و بردبار، امین. (۱۴۰۰). مطالعه عددی و آزمایشگاهی ترکیب سرریز کنگره‌ای با روزنه و تأثیر آن بر ضریب دبی جریان. *مجله علوم آب و خاک*، ۲۵(۲)، ۹۱-۱۰۵. DOI: [10.47176/jwss.25.2.38095](https://doi.org/10.47176/jwss.25.2.38095)
- سلمانزاده، سمیرا، و احدیان، جواد. (۱۳۹۵). پراکنش حدی جریان جت خروجی در محیط هم‌فاز و غیر هم‌فاز، *فصلنامه علوم و مهندسی آبیاری*، ۳۹(۱)، ۹۳-۱۰۷. DOI: [10.22055/JISE.2016.12015](https://doi.org/10.22055/JISE.2016.12015)
- سلماسی، فرزین، نورانی، بهرام، نوروزی، رضا، و رضایی، فائزه. (۱۴۰۰). بررسی رابطه دبی-اشل و ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی. *نشریه مهندسی عمران امیرکبیر*، ۵۳(۵)، ۱۶۸۹-۱۷۰۴. DOI: [10.22060/ceej.2019.16931.6399](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.16931.6399)
- غفاری، سعید، اقبالزاده، افشین، و جوان، میترا. (۱۳۹۵). بررسی عددی اثرات ارتفاع تاج روزنه‌ی جانبی مستطیلی لبه تیز بر الگو و مشخصات جریان در اطراف روزنه جانبی. *مهندسی عمران مدرس*؛ ۱۶(۲۰)، ۱۲۹-۱۳۹. URL: <http://mcej.moc.ac.ir/article-16-1034-fa.html>
- مرکز تحقیقات آب. (۱۳۸۱). *مدل هیدرولیکی تخلیه کننده تحتانی سد البرز*. گزارش نهایی. وزارت نیرو. تهران، ایران.
- مرکز تحقیقات آب. (۱۳۸۲). *مدل هیدرولیکی تخلیه کننده تحتانی سد گاوشان*. گزارش نهایی. وزارت نیرو. تهران، ایران.

- Salmasi, F., & Abraham, J. 2022. Multivariate Nonlinear Regression for Predicting Free Falling Jet Scouring: An Experimental Study. Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Civil Engineering, 46, 3859–3870. <https://doi.org/10.1007/s40996-022-00817-w>
- Salazar, F., San-Mauro, J., Celigueta, M., & Onate, E. (2016). Air demand estimation in bottom outlets with the particle finite element method. Journal of Computational Particle Mechanics, 4(3), 345-356. DOI: [10.1007/s40571-016-0117-4](https://doi.org/10.1007/s40571-016-0117-4)
- USBR, US Bureau of Reclamation. (1960). Design of small dams. United States Department of the Interior. United States Government Printing Office, Denver, USA. pp: 282–291.
- USBR, US Bureau of Reclamation. (1976). Design of gravity dams. United States Department of the Interior. United States Government Printing Office. Denver, USA. pp: 198–199.
- USBR, US Bureau of Reclamation. (1977). Design of arch dams. United States Department of the Interior. United States Government Printing Office. Denver, USA. pp: 312–313.
- USACE, U.S. Army Corps of Engineers. (1980). Hydraulic design criteria. Coastal and Hydraulics Laboratory. Engineer Research and Development Center. Waterways Experiment Station. Vicksburg, USA. pp: 8-12.
- Zhang, W., & Zhu, D. (2014). Trajectories of air-water bubbly jets in cross flows. Journal of Hydraulic Engineering. American Society of Civil Engineers 140(7), 06014011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.000088](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.000088)

Preparation of an Optimized Model of Water Transmission Lines Route Using Meta-Heuristic Algorithm

A. Taheri¹, A. Khashei Siuki^{2*}, M. Pourreza Bilandi³,
S.R. Hashemi³

1, 2, 3 – MSc in Water Resources Engineering, Professor and Associate Professor, Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

* (Corresponding Author Email: abbaskhashei@birjand.ac.ir)

Received: 21-05-2023 Revised: 19-07-2023

Accepted: 22-08-2023 Available Online: 21-12-2023

تهیه مدل بهینه‌یاب مسیر خطوط انتقال آب با استفاده از الگوریتم فرا اکتشافی

آرزو طاهری^۱، عباس خاشعی سیوکی^{۲*}، محسن پوررضا بیلندی^۳،
سید رضا هاشمی^۳

۱ و ۲ و ۳ به ترتیب دانش‌آموخته کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، استاد و دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: abbaskhashei@birjand.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۳۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۳۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

Abstract

Nowadays, due to the expansion of cities as well as the increase in the urban population, the lack of drinking water of good quality is always one of the most important issues for the country's water and sewage authorities, especially the people. Delivering water for consumption is one of the important activities of water transmission lines. In this context, optimizing the route of transmission lines is important. In this research, the plan to transfer water from the balance tank near Khoshab's agricultural and industrial lands and Roza Dam in Madhim City to the cities of Tabas Messina, Asadiyeh, and Gazik, has been obtained as the optimal route in terms of technical and engineering, economic and passive defense, and environment. In this regard, the required information maps, such as topography, land use, rivers and roads, infrastructure, faults, geology, and population centers, were prepared in the form of raster maps in the GIS environment to obtain a cost map. Then, based on the Analytical Hierarchy Process (AHP), these maps were weighted and integrated, and the cost map was obtained. Finally, from the cost map, five routes were determined as the best routes, and to optimize hydraulically, these routes were entered into the EPANET software. The hydraulic design of the routes was done in this software by linking it with the multi-objective particle swarm algorithm. Two technical and economic objective functions of Pareto curves for these routes were obtained in a MATLAB environment. By analyzing these curves, route 2 out of these 5 routes has a more appropriate drop and cost and has been obtained as the optimal route for this water transfer, and this route has a length of 112 km.

Keywords: Water Transmission Lines, Optimal Routing, GIS, EPANET, Multipurpose Particle Swarm Algorithm.

چکیده

امروزه به دلیل گسترش شهرها و همچنین افزایش جمعیت شهری، کمبود آب شرب با کیفیت مناسب همواره از مسائل مهم مسئولین آب و فاضلاب کشور و به خصوص مردم است. رساندن آب برای مصرف از جمله فعالیت‌های مهم خطوط انتقال آب است که در این زمینه بهینه‌سازی مسیر خطوط انتقال اهمیت دارد. در این تحقیق برای طرح انتقال آب از مخزن تعادلی نزدیک اراضی کشت و صنعت خوشاب و سد رزه در شهرستان درمیان به شهرهای طیس مسینا، اسدییه و گزیک مسیری به‌عنوان مسیر بهینه از لحاظ فنی و مهندسی، اقتصادی و پدافند غیرعامل و محیط‌زیستی به‌دست آمده است. در این راستا، نقشه‌های اطلاعاتی مورد نیاز از جمله وضعیت توپوگرافی، کاربری اراضی، رودخانه و جاده، زیرساخت‌ها، گسل، زمین‌شناسی و مراکز جمعیتی را به شکل نقشه‌های رستری در محیط GIS برای به‌دست آوردن نقشه هزینه آماده شدند. سپس براساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) این نقشه‌ها وزن‌دهی و ادغام شدند و نقشه هزینه به‌دست آمد. در آخر از روی نقشه هزینه ۵ مسیر به‌عنوان بهترین مسیرها تعیین شدند و برای بهینه کردن از لحاظ هیدرولیکی این مسیرها وارد نرم‌افزار EPANET شدند و طراحی هیدرولیکی مسیرها در این نرم‌افزار انجام شد و با لینک کردن این نرم‌افزار با الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه با دو تابع هدف فنی و اقتصادی منحنی‌های پارتو برای این مسیرها در محیط متلب به‌دست آمدند. با تحلیل این منحنی‌ها مسیر ۲ از بین این ۵ مسیر افت و هزینه مناسب‌تری دارد و به‌عنوان مسیر بهینه برای این انتقال آب به دست آمده است و این مسیر ۱۱۲ کیلومتر طول دارد.

واژه‌های کلیدی: خطوط انتقال آب، مسیریابی بهینه، GIS، EPANET، الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه.

این موقعیت موجب استفاده از GIS^۱ برای مدیریت اطلاعات شده است. همچنین، می‌توان عوامل مختلف فنی و مهندسی، اقتصادی و محیط‌زیستی مؤثر در طراحی مسیر را مدل‌سازی کرد و با استفاده از الگوریتم‌های مختلف مسیر بهینه را تعیین کرد. الگوریتم تجمع ذرات چندهدفه (MOPSO)^۲ به مسائل بهینه‌سازی بیشتر اعمال می‌شود که برگرفته از روش نگهداری تجمع حل نمودار پارتو است و بر مبنای حداقل و حداکثرسازی تابع چگالی عمل می‌کند. این الگوریتم هم‌گرایی خوبی برای جواب مسأله فراهم نموده و گوناگونی جواب‌ها را به خوبی تخمین می‌زند (zhang و همکاران، ۲۰۱۰).

تاکنون تحقیقات محدودی در رابطه با بهینه‌سازی خطوط انتقال آب انجام شده است. از این مطالعات می‌توان اشاره کرد به: نقیبی (۱۳۸۲) در تحقیقی در دانشگاه تهران تحت عنوان مسیریابی بهینه خطوط لوله نفت و گاز به کمک سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) در زمینه بررسی امکان استفاده از قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی شبکه‌ای در پیدا کردن بهترین مسیر انجام داد به این نتیجه رسید امکان استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی شبکه‌ای و مدل‌سازی کارتو گرافیکی در مطالعات فاز صفر خط لوله و تعیین مسیرهای اولیه وجود دارد. مقایسه بخشی از مسیر خط لوله انتقال گاز اهواز-مارون با مسیر بهینه تعیین شده توسط GIS نشان داد مسیر تعیین شده نسبت به مسیر احداث شده با در نظر گرفتن ملاحظات فنی و مهندسی و محیط‌زیستی حدود ۲۹ درصد هزینه کمتر دارد.

شوبیری و همکاران (۱۳۹۴) به مسیریابی بهینه خطوط انتقال آب با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی و ابزار پرداختند. مسیر پیشنهادی در تحقیق حاضر ارزش مهندسی بالاتر و طول خط لوله کوتاه‌تر نسبت به مسیر مورد استفاده برای خط لوله در منطقه مورد مطالعه دارد.

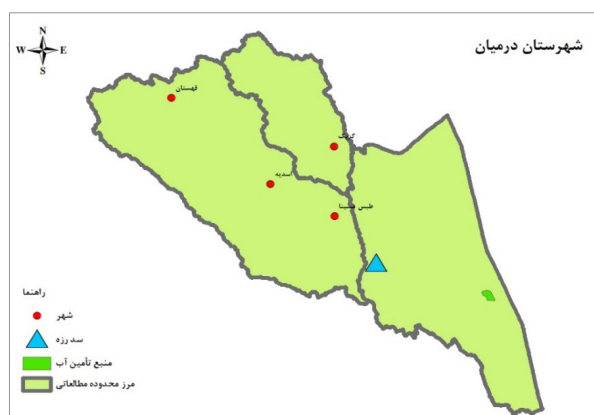
ابراهیمی‌پور (۱۳۸۴) پژوهشی با عنوان مسیریابی خطوط انتقال آب با استفاده از GIS انجام داد. در این تحقیق پانزده پارامتر تأثیرگذار شناسایی و برای تولید نقشه هزینه ارزش‌گذاری شد. سپس با استفاده از الگوریتم کمترین هزینه در محیط GIS، مسیر تعیین شد و به این نتیجه رسید که هزینه مسیر تعیین شده نسبت به مسیر احداث شده با در نظر گرفتن ملاحظات محیط‌زیستی، ۲۹ درصد کمتر است.

بهشتی‌فر و همکاران (۱۳۹۰) با رویکرد بهینه‌سازی چند هدفه و با استفاده از دو تابع هدف اقتصادی و کاهش تأثیرات منفی محیط‌زیستی به مسیریابی خط انتقال نیرو اقدام کردند. در این پژوهش، مسیرهای مختلف به‌دست آمده از لحاظ طول و میزان ارزش توابع هدف بایکدیگر مقایسه شده و به این نتیجه دست یافته‌اند که سیستم اطلاعات مکانی می‌تواند به گونه

وجود منابع آب محدود کمبود بارش و توزیع بیشتر این منابع در بخش‌های شمالی و غربی کشور سبب بروز مشکلات کم‌آبی در بخش‌های مرکزی و شرقی کشور شده است. در سالیان اخیر این مشکل به‌خصوص با افزایش جمعیت و کاهش منابع آب در دسترس در کشور تشدید پیدا کرده است (لکزایی، ۱۳۹۴). در نتیجه برای مواجهه با این بحران کم‌آبی در سالیان اخیر طرح‌هایی جهت انتقال آب بین حوضه‌ای پیشنهاد شده است. طرح انتقال آب بین حوضه‌ای همواره با واکنش‌های اجتماعی و اقتصادی فراوانی همراه بوده است (بخشی زاده، ۱۳۹۱). انتقال آب به‌صورت صحیح چه از نظر تکنیکی و چه از نظر اقتصادی اهمیت فراوان دارد. در سیستم‌های انتقال، آب از منابع مطمئن و دارای کیفیت مناسب مانند رودخانه‌ها، مخازن سدها، قنات‌ها و غیره به محل مصرف حمل شده و با استفاده از شبکه‌های توزیع بین مصرف‌کنندگان تقسیم می‌شود. با توجه به هزینه‌های بسیار بالا در احداث این خطوط انتقال و تأسیسات وابسته به آن حفاظت از این تأسیسات اهمیت بسیار بالایی دارد (عطاری و همکاران، ۱۳۹۹). بنابراین، ضروری است قبل از اجرای عملیات لوله‌گذاری خطوط انتقال آب در تعیین مسیر بهینه که تمام ملاحظات فنی، اقتصادی و محیط‌زیستی در آن لحاظ شده باشد دقت ویژه‌ای لحاظ کرد. در نتیجه نخستین گام جهت حفاظت از این تأسیسات مسیریابی بهینه خطوط انتقال آب است (نگاهداری و همکاران، ۱۳۹۱). تعیین مسیر بهینه خط لوله با در نظر گرفتن ملاحظات مهندسی پدافند غیرعامل و محیط‌زیستی باعث کاهش آسیب‌پذیری و تداوم فعالیت‌ها در شرایط بحران خواهد شد. مکان‌یابی (مسیریابی) انتخاب بهترین و مطلوب‌ترین نقطه و محل استقرار است به‌طوری‌که پنهان و مخفی نمودن نیروی انسانی، وسایل و تجهیزات و فعالیت‌ها را به بهترین وجه امکان‌پذیر سازد (نباتی، ۱۳۸۹). مسیریابی بهینه خط لوله بر پایه روش‌های سنتی نسبتاً پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد. به‌علاوه این روش‌ها دقیق نبوده و نمی‌توان در آن‌ها دخالت همه عوامل مؤثر را به راحتی و به‌طورتوأم اعمال نمود. بنابراین، در اغلب مسیرهای طراحی شده تمام ملاحظات فنی مهندسی، اقتصادی و ... لحاظ نشده و به‌کارگیری تکنیک‌های نوین برای رسیدن به این هدف ضروری به نظر می‌رسد (ابراهیمی‌پور، ۱۳۸۴). طراحی خطوط انتقال آب مستلزم انجام مطالعات وسیعی می‌باشند. سازه‌های مهندسی خطی از قبیل جاده، خطوط انتقال گاز، نفت، آب، نیرو، راه‌آهن و ... فضای بیشتری را نسبت به سایر زیرساخت‌ها پوشش می‌دهند. عملیات انتخاب مسیر بهینه، بستگی به جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده‌های مکانی از قبیل توپوگرافی، زمین‌شناسی، جنس خاک، کاربری زمین و ... دارد.

۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه طرح انتقال آب از مخزن تعادلی نزدیک اراضی کشت و صنعت خوشاب و سد رزه در شهرستان درمیان به شهرهای طبس مسینا، اسدیه و گزیک می‌باشد. شهرستان درمیان در استان خراسان جنوبی می‌باشد. شهرستان درمیان ۵۸۶۱ کیلومتر مربع مساحت دارد و در موقعیت ۳۲ درجه و ۵۴ دقیقه و ۴۹ ثانیه عرض شمالی و ۶۰ درجه و ۱ دقیقه و ۴۵ ثانیه طول شرقی قرار دارد. محدوده مطالعاتی با مساحت تقریبی ۲۷۹۱ کیلومتر مربع در منتهی الیه جنوب شرقی حوضه آبریز نمکزار خواف-دق پترگان قرار دارد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲- روش تحقیق

طراحی خطوط انتقال آب مستلزم انجام مطالعات وسیعی می‌باشند. سازه‌های مهندسی خطی از قبیل جاده، خطوط انتقال گاز، نفت، آب، نیرو، راه آهن و... فضای بیشتری را نسبت به سایر زیرساخت‌ها پوشش می‌دهند. عملیات انتخاب مسیر بهینه، بستگی به جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده‌های مکانی از قبیل توپوگرافی، زمین‌شناسی، جنس خاک، کاربری زمین و... دارد. این موقعیت موجب استفاده از GIS برای مدیریت اطلاعات شده است. در طول سالیان اخیر جهت کاهش میزان خطا استفاده از روش‌های مبتنی بر Arc GIS مورد توجه محققین قرار گرفته است. مزیت این روش‌ها ارائه نقشه‌ها پهنه‌بندی و کاهش اثر نظرات کارشناسان در نتایج خروجی می‌باشد (ابراهیمی پور، ۱۳۸۴). همچنین، می‌توان عوامل مختلف فنی و مهندسی، اقتصادی و محیط‌زیستی مؤثر در طراحی مسیر را مدل‌سازی کرد و با استفاده از الگوریتم‌های مختلف مسیر بهینه را تعیین نمود. تاکنون الگوریتم‌های مختلفی برای مسیریابی بهینه

مناسبی با الگوریتم NSGA-II^۲ تلفیق شده و برای بهینه‌سازی مسیر مورد استفاده قرار گیرد.

عطاری و همکاران (۱۳۹۹) به مکان‌یابی خطوط بزرگ انتقال آب با استفاده از نرم‌افزار Arc-GIS پرداختند و دریافتند که مکان‌یابی تأسیسات از دیدگاه پدافند غیر عامل اهمیت بالایی دارد. اما، این موضوع در مورد خطوط انتقال بزرگ آبرسانی بین حوضه‌ای به دلیل هزینه بسیار بالای احداث و وجود تنش‌های بالا در منطقه طرح اهمیت بیشتری دارد.

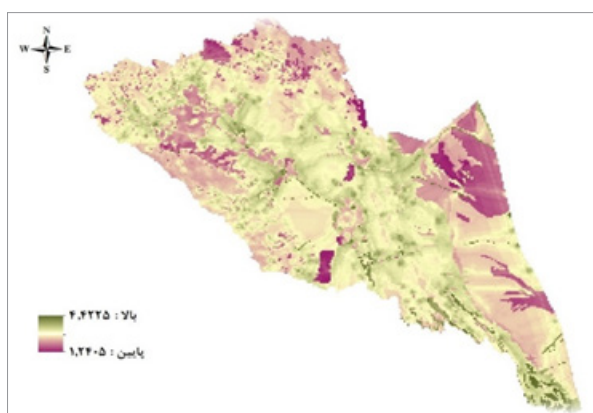
موسوی و همکاران (۱۳۹۳) خطوط انتقال نیرو را با استفاده از الگوریتم ژنتیک مسیریابی کردند. ازجمله روش‌های بهینه‌سازی می‌توان به این الگوریتم اشاره کرد که الهامی از علم ژنتیک و نظریه تکاملی داروین بوده و براساس بقای برترین‌ها یا انتخاب طبیعی استوار است. در این مقاله تابع چند هدفه‌ای برای مسیریابی بهینه خطوط انتقال نیرو با به‌کارگیری این نوع الگوریتم در نرم‌افزار MATLAB شبیه‌سازی می‌شود. برای بررسی صحت این برنامه خط انتقال ۱۳۲ کیلو ولت در ۲ مدار پست قائن- گناباد به‌عنوان مسیر مورد آزمایش انتخاب شده است و با توجه به محدودیت‌هایی که برای ساده‌سازی تابع هدف صورت گرفته، مسیر پیشنهادی برنامه با خطای نسبتاً کمی نسبت به مسیر موجود به‌دست می‌آید (موسوی و همکاران، ۱۳۹۳).

نوبخت و اخلاقی (۱۳۹۳) به مسیریابی بهینه خطوط انتقال و فوق توزیع با استفاده از روش PSO پرداختند. استفاده از روش ترکیبی بازبیدیهای میدانی و مجازی، نقشه‌های هوایی موجود در Google Earth و الگوریتم‌های تکاملی، امکان بهینه‌سازی مسیریابی خطوط را فراهم می‌کند.

Luettinger و Clark (۲۰۰۵) برای تعیین مسیر خطوط لوله آب به شهرهای سالت لیک و سندی از GIS استفاده کردند. مسیر انتقال به طول ۹ کیلومتر و قطر ۶۰ اینچ بود که برای وزن‌دهی به فاکتورهای مؤثر در انتخاب مسیر از طول معادل استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده از تحقیقات نشان داد، تاکنون تحقیقات محدودی در مورد بهینه‌سازی خطوط انتقال آب انجام شده است. در بیشتر تحقیقات، تابع هدف، رسیدن به شرایط مناسب هیدرولیکی می‌باشد و در تحقیقات محدودی، تابع هدف کمترین هزینه اقتصادی می‌باشد و در این زمینه پژوهشی با در نظر گرفتن مسائل پدافند غیر عامل انجام نشده است.

در این مطالعه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی بر الگوریتم فراابتکاری ازدحام ذرات چندهدفه در محیط برنامه‌نویسی توسعه داده شد که تمامی این عوامل در نظر گرفته شده است. مدل توسعه داده شده با در نظر گرفتن مسائل محیط‌زیستی، پدافند غیرعامل، فنی و مهندسی و اقتصادی با توابع هدف کمینه کردن هزینه‌های خط انتقال مجموع افت در خط انتقال برای تعیین مسیر بهینه خط انتقال ارزیابی شد.

هم ادغام شدند و خروجی آن نقشه تأثیرات پدافند غیرعامل بر مسیریابی می‌باشد. نقشه محیط‌زیستی نیز باتوجه به اهمیت آن از دید محیط‌زیستی ارزش‌گذاری شد و به نقشه رستری تبدیل شد. در نهایت با ادغام نقشه تأثیرات پدافند غیرعامل و نقشه محیط‌زیستی نقشه تأثیرات محیط‌زیستی و پدافند غیرعامل یا نقشه هزینه به‌دست می‌آید که در این نقشه هر پیکسل ارزشی عددی برای مسیریابی از لحاظ پدافند غیرعامل و محیط‌زیستی دارد و هرچه ارزش پیکسل بیشتر باشد مکان مناسب‌تری برای مسیریابی می‌باشد. شکل (۲) نقشه هزینه تأثیرات پدافند غیرعامل و محیط‌زیستی می‌باشد.



شکل ۲- نقشه هزینه عامل پدافند غیرعامل و محیط‌زیستی

بعد از تعیین نقشه ادغام شده عامل محیط‌زیستی و پدافند غیرعامل یا در واقع همان نقشه هزینه شروع به مسیریابی خط انتقال می‌شود. در نقشه هزینه که به‌صورت شبکه‌ای می‌باشد هر سلول ارزشی دارد. هر چه ارزش سلول بیشتر باشد اهمیت آن سلول بیشتر و برای مسیریابی از لحاظ پدافند غیرعامل و محیط‌زیستی بهتر هستند. بنابراین، از نقطه شروع به سمت هر کدام از سلول‌های اطراف که ارزش بیشتری دارد حرکت کرده و از آن سلول نیز به سمت سلولی در اطراف آن که بیشترین ارزش را دارد و تا انتهای مسیر همین روند ادامه دارد و اولین مسیر خط انتقال مشخص می‌شود. برای تعیین مسیر ۲ دوباره از نقطه ابتدا حرکت شروع می‌شود و پیکسلی در اطراف این نقطه که بیشترین ارزش مکانی را دارد، به جزء نقطه‌ای که در مسیر یک انتخاب شده است، برگزیده می‌شود و از آنجا پیکسلی در اطراف که بیشترین ارزش را دارد انتخاب می‌شود، به این ترتیب تا نقطه انتهایی این روند ادامه دارد و مسیر ۲ مشخص می‌شود. در اطراف نقطه شروع چون ۵ نقطه بیشترین ارزش مکانی را دارد، پس ۵ مسیر می‌تواند انتخاب شود. بقیه مسیرها هم به این ترتیب به‌دست می‌آیند. و به این صورت ۵ مسیر به‌عنوان مناسب‌ترین مسیرها تعیین می‌شوند. این مسیرها در شکل (۲) آمده است.

باتوجه به پارامترهای مؤثر و خصوصیات مختلف آنها ارائه شده است. الگوریتم تجمع ذرات چند هدفه به مسائل بهینه‌سازی بیشتر اعمال می‌شود که برگرفته از روش نگهداری تجمع حل نمودار پارتو^۴ است و بر مبنای حداقل و حداکثرسازی تابع چگالی عمل می‌کند. این الگوریتم هم‌گرایی خوبی برای جواب مسأله فراهم می‌کند و گوناگونی جواب‌ها را به خوبی تخمین می‌زند (zhang و همکاران، ۲۰۱۰). اساس کار الگوریتم تجمع ذرات بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو باتوجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است و بهترین مکانی که در کل همسایگی اش وجود دارد تنظیم می‌کند. امروزه مسائل زیادی در زمینه‌های مختلف علوم ریاضیات و مهندسی به‌صورت مسائل چند هدفه مطرح می‌شوند. در این مسائل چندین تابع هدف و قیدهای احتمالاتی وجود دارند که مستقل از یکدیگر هستند و باید بهینه شوند. استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مرسوم و تک هدفه برای حل مسائل چندهدفه با تقریب‌های بسیاری همراه است که منجر به بروز خطا در جواب‌های بهینه نهایی خواهد شد. بنابراین، بهتر است بهینه‌سازی این دسته از مسائل با یک الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه نظیر ازدحام ذرات صورت گیرد (فتحی ساسانرا و فلاح چولابی، ۱۳۹۵). به این ترتیب در این تحقیق ابتدا تمام عوامل تأثیرگذار بر مسیریابی شناسی شده که شامل عوامل فنی، اقتصادی، محیط‌زیستی و پدافند غیرعامل می‌باشد. سپس وزن هر کدام از لایه‌های مؤثر بر دو عامل محیط‌زیستی و پدافند غیرعامل با AHP^۵ محاسبه می‌شود و باتوجه به وزن به‌دست آمده نقشه رستری هر کدام از این دو عامل به‌دست می‌آید و با تلفیق این دو نقشه، نقشه هزینه به‌دست می‌آید و از روی نقشه هزینه بهترین مسیرها برای خط انتقال تعیین می‌شوند. و طراحی هیدرولیکی مسیرها در نرم‌افزار EPANET انجام می‌شود. در آخر با استفاده از الگوریتم ازدحام چند هدفه با دو هدف فنی و اقتصادی مسیر بهینه از بین این مسیرها برای خط انتقال آب شهرستان درمیان تعیین می‌شود.

۳- مسیریابی خط انتقال با دو عامل محیط‌زیست و پدافند غیرعامل در محیط GIS

نقشه‌های مورد نیاز عامل پدافند غیرعامل شامل شهرها، روستاها، خطوط راه و جاده، توپوگرافی، کاربر اراضی، رودخانه‌ها، گسل، زمین‌شناسی، زیرساخت‌ها و کوه و دشت می‌باشد. عامل محیط‌زیستی هم شامل یک نقشه محیط‌زیستی می‌باشد. نقشه‌های عامل پدافند غیرعامل باتوجه به اهمیتی که نسبت به این عامل دارند ارزش‌گذاری شده و به نقشه‌های رستری تبدیل شده و پس از وزن‌دهی این نقشه‌ها با روش AHP هر کدام از این نقشه‌های رستری باتوجه به وزن آن‌ها در محیط GIS با

این تابع در رابطه (۶) آمده است. این تابع هزینه لوله‌ها می‌باشد. مطلوب ما کمینه کردن هزینه می‌باشد. در این تابع Diameter قطر لوله می‌باشد. Function ($F_1 = \text{Pipes cost}$): minimize

$$\text{Diameter} * 269779 + 3000 \quad (6)$$

- عوامل فنی و مهندسی:

رعایت این عوامل باعث افزایش قابلیت اعتماد به خط و امکان پذیر بودن اجرای آن می‌شود. در طراحی این عوامل مشخصات فنی خط مانند قطر لوله خط انتقال، طول خط، فشار و افت در لوله می‌باشد. برای مدل‌سازی این عامل از روی نقشه هزینه (که از تلفیق نقشه‌ها به‌دست می‌آید)، چند مسیر به‌عنوان بهترین و ایمن‌ترین مسیرها انتخاب می‌شوند و این مسیرها وارد نرم‌افزار طراحی شبکه EPANET می‌شوند و کار طراحی مسیرهای آبرسانی در این برنامه انجام داده می‌شود. در جداول (۱) و (۲) اطلاعات هیدرولیکی و هندسی وارد شده در این نرم‌افزار آمده است.

جدول ۱- داده گره‌ها در خط انتقال

ارتفاع (متر)	مصرف (لیتر بر ثانیه)	شماره گره
۷۰۰	۲۱۱۶۸	مخزن
۱۲۰۰	۲۷۳۶/۶	۱ (سد)
۱۳۰۰	۱۲۵۲/۰۸	۲ (شهر ۱)
۱۴۰۰	۸۱۸/۶۴	۳ (شهر ۲)
۱۵۰۰	۱۰۱۱/۷	۴ (شهر ۳)

تابع هدف فنی و مهندسی: از لحاظ فنی و هیدرولیکی مسیرهای تعیین شده باید بهینه شوند و هدف این تابع کمینه کردن میزان افت می‌باشد و افت زمانی کمینه می‌شود که بهترین قطر لوله را داشته باشد. بنابراین ابتدا تابع هدف معرفی می‌شود. این تابع (رابطه ۷) برای بهینه کردن قطر می‌باشد.

Function (F_2): minimize

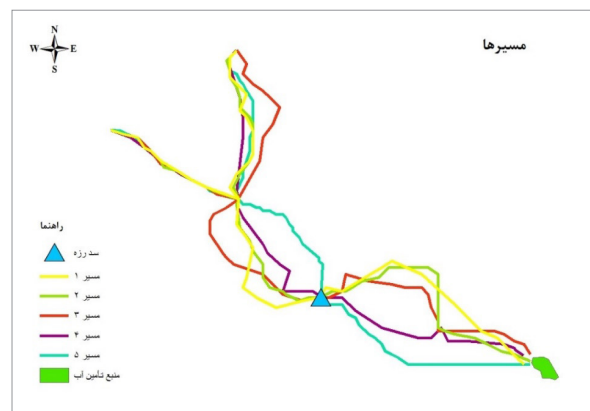
$$\sum_{i=1}^n \text{Headloss}_i \quad (7)$$

در این رابطه Headloss میزان افت در لوله‌ها است.

قیود مسئله: قید مسئله بهینه‌سازی در رابطه (۸) آمده است. محدوده قطر لوله‌های موجود در بازار می‌باشد.

$$d_i \in d \quad i=1, \dots, N \quad (8)$$

d_i قطر لوله i ام و d لیست قطر لوله‌های موجود در بازار می‌باشد.

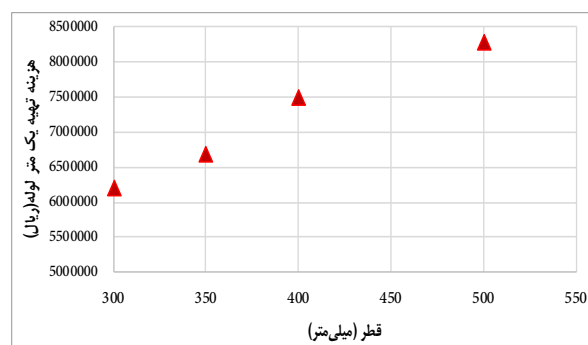


شکل ۳- تصویر تمام مسیرها

۴- تعیین مسیر بهینه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه

-عوامل اقتصادی:

تابع هدف اقتصادی: باتوجه به اینکه یکی از مهمترین عوامل در مسیریابی مسیر با هزینه کمتر می‌باشد، رابطه (۶) ایجاد شده است. این تابع هزینه تهیه هر متر لوله فایبرگلاس برای قطرهای مختلف بر اساس نرخ سال ۱۳۹۹ می‌باشد. برای تهیه هر یک متر لوله فایبرگلاس و قطر مشخص یک مقدار هزینه مشخص باید پرداخته شود که این مقادیر برای قطرهای مختلف متفاوت می‌باشد. این مقادیر در نرم‌افزار Excel برازش داده شده است و نمودار آن در شکل (۴) آمده است. رابطه مربوط به قطر و هزینه لوله‌ها نیز در این نرم‌افزار به‌دست آمده است و این رابطه به‌عنوان تابع هدف اقتصادی در خط انتقال در نظر گرفته شده است.



شکل ۴- نمودار برآورد اقتصاد هزینه تهیه یک متر لوله فایبرگلاس

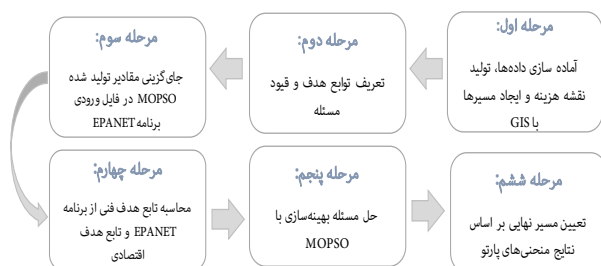
جدول ۲- اطلاعات هیدرولیکی و هندسی خط انتقال

شماره لوله	طول لوله مسیر (۱) (متر)	طول لوله مسیر (۲) (متر)	طول لوله مسیر (۳) (متر)	طول لوله مسیر (۴) (متر)	طول لوله مسیر (۵) (متر)	ضریب اصطحاک
۱	۳۸۵۳۲/۸	۴۲۲۷۱/۵	۴۰۱۷۵/۱	۳۴۷۱۵/۵	۳۵۹۳۸/۵	۱۱۰
۲	۲۶۷۴۵/۳	۲۲۷۳۰/۳	۲۷۷۹۳/۶	۲۲۶۲۵/۲	۲۲۶۶۴/۵	۱۱۰
۳	۲۴۳۲۸/۶	۲۳۴۳۲/۷	۲۳۳۱۹/۷	۲۳۱۰۴/۷	۲۳۷۷۰/۲	۱۱۰
۴	۲۶۴۰۸/۶	۲۳۷۵۰/۸	۲۷۴۲۷/۵	۲۲۲۹۲/۵	۲۳۳۱۶/۴	۱۱۰

- تعیین خط انتقال بهینه:

در ابتدا توابع هدف بررسی می‌شود. ورودی تابع هدف اقتصادی قطرها است و میزان هزینه برای تهیه این قطر لوله به دست می‌آید و هدف کمینه شدن این هزینه می‌باشد. در تابع هدف فنی و مهندسی، پارامترها (قطر) دریافت می‌شود و این قطرها در فایل ورودی برنامه EPANET قرار می‌گیرد تا افت در لوله‌ها محاسبه شود. چون هدف کم کردن مقادیر افت می‌باشد، مقدار این تابع برابر با مجموع قدرمطلق آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. مقدار مینیمم این تابع به شرطی اتفاق می‌افتد که تمام مقادیر افت، کمینه شوند. و یک کد دیگر برای جایگزینی مقادیر قطر در فایل ورودی برنامه EPANET با کد توابع هدف لینک شده است. در ادامه از کد توابع هدف در الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات استفاده می‌شود. ابتدا برای الگوریتم MOPSO توابع هدف، تعداد پارامترها و بازه تغییرات متغیرها (قطرها) تعیین می‌شوند. در ادامه حداکثر تعداد تلاش الگوریتم MOPSO و تعداد نقاطی که در هر تکرار تولید می‌کند، اندازه آرشیو و ضرایب تنظیم الگوریتم و در نهایت سرعت تغییرات حول نقطه بهینه‌ای که تاکنون پیدا شده است مشخص می‌شوند. سپس، به منظور مقادیر اولیه به الگوریتم MOPSO داده‌هایی را به صورت اتفاقی تولید می‌کند و بهترین آن‌ها (کمترین مقدار توابع هدف) به عنوان پاسخ مقادیر اولیه انتخاب می‌شوند. در ادامه به تعداد حداکثر تکرار مجاز، هر بار نقاط جدید را براساس الگوریتم MOPSO تولید می‌شوند و جواب‌های تولید شده چنانچه بهترین جواب بوده باشند، آن‌ها را ذخیره می‌کند. و در نهایت مقادیر بهینه پارتو رسم می‌شود. بهترین قطرها، قطرهای است که کمترین میزان افت و کمترین میزان هزینه را داشته باشد. بهینه پارتو مجموعه جواب‌های بهینه را ارائه می‌دهد که این جواب‌ها در مجموعه جواب‌های نامغلوب می‌باشند. در هر نسل آرشیو یا همان بایگانی با استفاده از جواب‌های غیر غالب موجود در جمعیت به روز می‌شود. اگر اندازه آرشیو از اندازه بیشینه آن تجاوز کند، جواب‌های موجود در آرشیو به صورت نزولی و مطابق با کارایی آن‌ها مرتب می‌شوند. جواب‌ها با درجه کارایی پایین از انتهای آرشیو حذف می‌شود. هنگامی که تعداد تکرارهای الگوریتم به مقدار بیشینه آن برسد خاتمه می‌یابد و در این صورت

جواب‌های غیر غالب نهایی در آرشیو بیرونی موجود می‌باشد. در شکل (۵) مراحل انجام کار آمده است.



شکل ۵- فلوچارت مراحل انجام کار

نتایج و بحث

- نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

نتایج حاصل از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی که در جدول (۳) آمده است، نشان می‌دهد که لایه شهر و روستا بیشترین وزن را دارد؛ زیرا از لحاظ پدافند غیرعامل هر چه خط انتقال به شهر یا روستاها نزدیکتر باشد امنیت خط بیشتر و باعث کنترل نگهداری و تعمیرات و رفع سریع خرابی می‌شود. در ادامه لایه راه و جاده ارزش بالایی دارد و صدق کننده این است که هر چه خط انتقال به جاده‌های دسترسی موجود نزدیکتر باشد، علاوه بر استفاده از جاده دسترسی موجود، باعث کاهش تغییرات محیط‌زیستی می‌شود و لایه رودخانه‌ها و گسل‌ها کمترین وزن را دارد و این بیانگر دوری خط انتقال از این لایه‌ها می‌باشد و باعث کاهش تأثیرات منفی رودخانه و گسل‌ها و کاهش تأثیرات مخرب و خرابی شبکه می‌شود. در نهایت وزن‌های به دست آمده برای تمامی لایه‌ها اهمیت لایه‌ها از لحاظ پدافند غیرعامل در مسیریابی خط انتقال است و هر چه وزن لایه بیشتر باشد، اهمیت آن لایه بیشتر و گذر از آن مناطق بهتر و امن تر است. هر چه وزن لایه کمتر باشد اهمیت آن لایه کمتر و گذر از آن مناطق آثار مخرب و تأثیرات منفی برای خط انتقال دارد.

وزن هر کدام از این لایه‌ها در مسیریابی بسیار مؤثر است. بنابراین، مشکلات و خرابی‌هایی که در خط به وجود می‌آید تا حدود زیادی به عوامل مکانی و مسیریابی انجام شده بستگی

دارد و داشتن اطلاعات مکانی مربوط به خط در رفع سریع خرابی‌ها مؤثر است. در صورت دقیق نبودن یا اشتباه محاسبه شدن وزن لایه‌ها باعث بالا رفتن هزینه‌ها و ایجاد مشکلات و خرابی‌های زیادی در خط انتقال می‌گردد. وزن لایه‌ها در نهایت برای ارزیابی تأثیرات زیست محیطی و اجتماعی مسیر می‌باشد و همچنین در عامل پدافند غیرعامل بسیار مهم و ارزشمند می‌باشد. هدف از این کار کمینه کردن تأثیرات زیست محیطی و کنترل نگهداری و تعمیرات و رفع سریع خرابی است.

جدول ۳- وزن لایه‌ها در مسیریابی

عنوان لایه	وزن لایه
شهر	۰/۱۶۶
روستا	۰/۱۶۶
کاربری اراضی (جنگل، کشاورزی...)	۰/۱۲۹
DEM	۰/۰۸۳
شیب	۰/۰۸۳
خطوط راه و جاده	۰/۱۲۹
رودخانه	۰/۰۱۸
گسل	۰/۰۱۸
خطوط انتقال نیرو	۰/۰۹۲
زمین شناسی	۰/۰۵۳
کوه و دشت	۰/۰۵۹

- نقشه هزینه:

نقشه هزینه شکل (۲) در واقع یک تصویر با ابعاد منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این تصویر حاصل کار تجزیه و تحلیل‌های مختلف بر روی لایه‌های اطلاعاتی شامل توپوگرافی، زمین شناسی، کاربری اراضی و... می‌باشد. تجزیه و تحلیل‌های انجام شده شامل تبدیل مدل وکتوری به رستری، وزن‌دهی هر یک از لایه‌های اطلاعاتی و کلاس‌های مربوط به آن و در نهایت همپوشی و روی هم گذاشتن لایه‌های اطلاعاتی می‌باشد. نتیجه این تجزیه تحلیل‌ها تولید یک نقشه رستری یا شبکه‌ای است. در این نقشه هر سلول ارزش عددی دارد و مکان‌های مناسب برای مسیریابی مکان‌های ارزش بالاتر دارد. در این تحقیق مسیرها از مکان‌هایی که اهمیت بالاتری دارند گذر شده است و مسیر مشخص شده است و براین اساس ۵ مسیر نهایی (شکل ۳) برای انتقال آب به دست آمده است.

- مسیرهای تعیین شده:

همانطور که در شکل (۳) مشخص است این مسیرها از نقشه هزینه به دست آمده و هر کدام از سلول‌هایی گذشته است که ارزش عددی بالایی دارد و از لحاظ پدافند غیرعامل امن‌ترین مکان

برای عبور خط انتقال و کمترین تأثیرات محیط‌زیستی در منطقه می‌باشد و هر کدام از این مسیرها طول‌های متفاوت دارند.

جدول ۴- طول مسیرها

مسیر	طول مسیر (کیلومتر)
مسیر ۱	۱۱۶
مسیر ۲	۱۱۲/۲
مسیر ۳	۱۱۸/۷
مسیر ۴	۱۰۲/۷
مسیر ۵	۱۰۵/۷

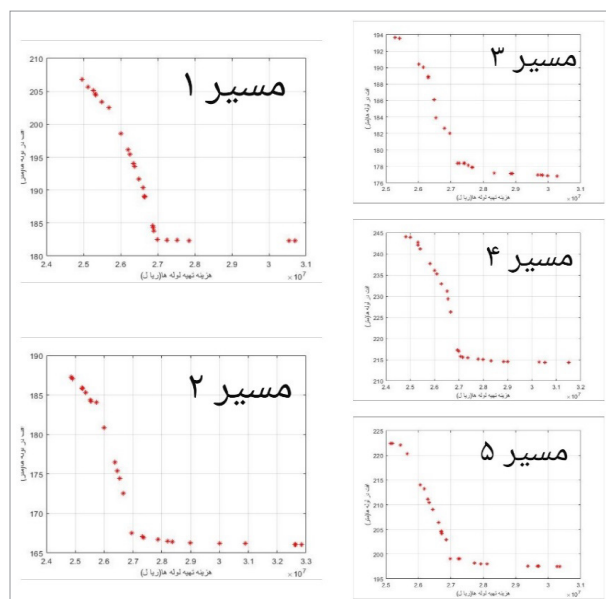
باتوجه به مسافت‌های به دست آمده برای هر مسیر می‌توان گفت مسیر ۳ بیشترین طول خط انتقال را دارد و مسیر ۴ چون کمترین مسافت را دارد از لحاظ اقتصادی می‌توان این مسیر را به عنوان بهترین مسیر برای خط انتقال تعیین کرد. اما به دلیل اینکه تنها عامل اقتصادی برای تعیین مسیر مد نظر نیست و عوامل فنی و پدافند غیرعامل نیز برای تعیین مسیر مد نظر است پس هنوز این مسیر نمی‌تواند به عنوان بهترین مسیر در نظر گرفته شود.

- خط انتقال بهینه:

ابتدا الگوریتم با مقادیر مختلف تکرارها و اندازه جمعیت اجرا شد و نتایج واسنجی الگوریتم با مقادیر مختلف برای تعداد تکرارها (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰) و با اندازه جمعیت (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰) نشان می‌دهد با ۵۰ بار تکرار و جستجو در محیط مسئله و اندازه جمعیت ۲۰ جواب‌های مناسب و قابل قبولی به دست می‌آید و با در نظر گرفتن تعداد تکرار و اندازه جمعیت بیشتر جواب‌های یکسانی به دست می‌آید. بنابراین در نظر گرفتن نسبت مناسب بین تعداد جمعیت اولیه و تعداد تکرار، افزون بر تولید جواب‌های بهینه با مقادیر توابع هدف کمتر، در کاهش زمان اجرای الگوریتم نیز بسیار تأثیر گذار است.

پس از بهینه‌سازی مسئله با الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات، نمودار پارتو یا مجموعه حل‌های نامغلوب در این مسئله بهینه‌سازی دو هدفه معرفی می‌شود. در شکل (۵) نمودارهای پارتو نهایی برای هر مسیر با ۵۰ بار تکرار و جستجو در فضای هدف، جمعیت اولیه ۲۰ (تعداد جواب‌های تولید شده در هر بار تکرار)، اندازه آرشیو (تعداد جواب‌های نامغلوب) ۲۵، w (وزن اینرسی) برابر با ۰/۵، $wdamp$ برابر با ۰/۹۹، C_1 برابر با ۱ و C_2 برابر با ۲ با اهداف مورد نظر به دست آمده است. محور افقی نمودارهای پارتو تابع هدف اقتصادی می‌باشد. این محور هزینه تهیه هر متر لوله را به ازای قطرهای مختلف به دست آمده نشان می‌دهد. محور عمودی تابع هدف فنی می‌باشد که نشان‌دهنده افت در لوله‌ها است. با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای قطرهای

(متغیرها)، تعداد تکرارها و اندازه جمعیت الگوریتم چندین بار اجرا شد. نتایج نشان داد هزینه لوله با افزایش قطر لوله‌ها افزایش می‌یابد و دلیل افزایش هم بالا بودن قیمت لوله‌ها در قطرهای بالاتر است. همچنین مشاهده شد میزان افت در لوله با افزایش قطر کاهش می‌یابد.



شکل ۶- نمودارهای پارتو مسیرها

به منظور مقایسه مسیرهای پیشنهادی سه نقطه از جبهه پارتو در تمام مسیرها انتخاب شدند. در تمامی این مسیرها تعداد تکرارها، اندازه جمعیت و تعداد متغیرها یکسان در نظر گرفته شده است. در جدول (۴) این سه نقطه برای تابع هدف اقتصادی ارائه شده است. نقطه بهینه برای تابع هدف اقتصادی در این جدول را می‌توان نقطه ابتدایی در نظر گرفت، زیرا این نقطه در تمامی مسیرها کمترین میزان هزینه را دارد. این نقاط هزینه تهیه هر

متر لوله را برای هر مسیر نشان می‌دهد با ضرب هزینه تهیه یک متر لوله هر مسیر در طول آن مسیر هزینه نهایی برای هر مسیر به دست می‌آید و مشخص شد مسیر ۲ و مسیر ۴ کمترین و مسیر ۵ بیشترین مقدار هزینه را دارد. بهینه‌ترین مسیر برای این تابع هدف مسیر ۲ و ۴ است زیرا کمترین هزینه اقتصادی را دارد. جدول (۵) سه نقطه را برای تابع هدف فنی نشان می‌دهد. نقطه بهینه برای این تابع هدف نقطه انتهایی می‌باشد، هدف در این تابع کمینه کردن میزان افت می‌باشد و این نقطه کمترین مقدار در جبهه پارتو را دارد و مناسب‌ترین مسیر برای تابع هدف فنی مسیر ۲ است؛ زیرا کمترین میزان افت را دارد. مسیر ۴ بیشترین مقدار این تابع را دارد. نمودارهای فشار نیز نشان داده است که بیشینه فشار در مسیر ۲ نسبت به سایر مسیرها پایین‌تر می‌باشد. از این رو، مسیر ۲ را به عنوان گزینه برتر فنی می‌توان انتخاب کرد. نقطه بهینه تعادلی با در نظر گرفتن هر دو تابع در جداول (۴) و (۵) آمده است. با مقایسه این نقاط می‌توان بهینه‌ترین مسیر را به دست آورد. بعد از ضرب این هزینه‌ها در طول خط انتقال هر مسیر مشخص شد. مسیر ۴ از مسیر ۲، ۴۷ میلیارد ریال، از مسیر ۵، ۵۶ میلیارد ریال از مسیر ۱، ۹۳ میلیارد ریال و از مسیر ۳، ۱۱۰ میلیارد ریال هزینه کمتری دارد. افت به دست آمده در این الگوریتم برای هر مسیر، کل افت موجود در خط انتقال می‌باشد که مسیر ۲ کمترین مقدار افت دارد و مسیر ۴ بیشترین مقدار را دارد. بنابراین، مسیر ۴ اگرچه کمترین میزان هزینه اما بیشتر مقدار افت را دارد پس نمی‌تواند به عنوان مسیر بهینه در نظر گرفته شود. اما مسیر ۲ هزینه بیشتری از مسیر ۴ دارد. اما این مسیر از بقیه مسیرها هزینه کمتری دارد و کمترین میزان افت و بیشینه فشار کمتر را دارد و می‌توان این مسیر را به عنوان مسیر بهینه در نظر گرفت. پس مسیر ۲ را می‌توان مسیر بهینه انتخاب کرد. همچنین مسیر ۳ بیشترین هزینه و افت برای انتقال آب دارد. در شکل (۶) مسیر بهینه مدل مورد نظر آمده است.

جدول ۴- مقادیر تابع هدف اقتصادی مسیرها (متر)

مسیر ۱	مسیر ۲	مسیر ۳	مسیر ۴	مسیر ۵	
۲۴۸۲۰۰۰۰	۲۴۸۷۰۰۰۰	۲۴۴۸۰۰۰۰	۲۴۸۳۰۰۰۰	۲۵۱۵۰۰۰۰	نقطه بهینه ابتدا
۲۶۹۵۰۰۰۰	۲۶۸۰۰۰۰۰	۲۶۹۶۰۰۰۰	۲۶۸۰۰۰۰۰	۲۷۰۰۰۰۰۰	نقطه بهینه تعادلی
۳۱۱۶۰۰۰۰	۳۲۸۴۰۰۰۰	۳۱۳۱۰۰۰۰	۳۱۵۲۰۰۰۰	۳۰۳۵۰۰۰۰	نقطه بهینه انتها

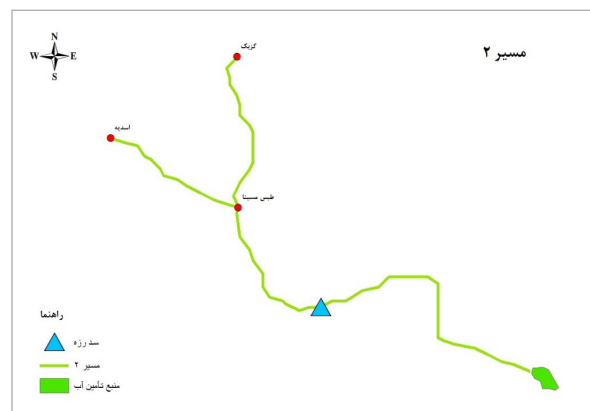
جدول ۵- مقادیر تابع هدف فنی و مهندسی مسیرها (متر)

مسیر ۱	مسیر ۲	مسیر ۳	مسیر ۴	مسیر ۵	
۲۰۶	۱۸۷,۳	۱۹۳,۳	۲۴۴	۲۲۲,۵	نقطه بهینه ابتدا
۱۸۲,۵	۱۶۷,۵	۱۶۹,۵	۲۱۷,۳	۱۹۹,۱	نقطه بهینه تعادلی
۱۸۲,۳	۱۶۶,۱	۱۷۶,۸	۲۱۴,۳	۱۹۷,۵	نقطه بهینه انتها

خاص استفاده شود. برای طراحی مسیر می‌توان از لایه‌های مؤثر دیگری، از جمله مالکیت اراضی و تأثیرات انسانی و محیطی منطقه مورد نظر را استفاده نمود. منظور از این تأثیرات به هم خوردن فرهنگ و روابط انسانی و شرایط زندگی پس از احداث خط لوله می‌باشد.

در این پژوهش برای تحلیل‌های هیدرولیکی از برنامه هیدرولیکی EPANET با الگوریتم ازدحام ذرات چند هدفه استفاده شده است. پیشنهاد می‌شود برای تحلیل‌های هیدرولیکی از نرم‌افزار waterGEMS هم استفاده شود.

برای تعیین مسیر می‌توان روش‌های دیگری مانند هوش مصنوعی و الگوریتم ژنتیک و سایر الگوریتم‌های فراابتکاری را بررسی نمود.



شکل ۷- مسیر بهینه خط انتقال

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد به‌کارگیری تکنیک‌های GIS و الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات باعث بهبود تصمیم‌گیری می‌شود و این کار از طریق در نظر گرفتن تمامی عوامل و پارامترهای مختلف فنی و مهندسی، اقتصادی، محیط‌زیستی و پدافند غیرعامل مؤثر در طراحی مسیر بهینه انجام می‌شود. با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه امکان تعیین مسیر بهینه خطوط فراهم می‌شود. بی‌توجهی به امر مهم مسیریابی خطوط انتقال آب، می‌تواند علاوه بر افزایش هزینه‌ها، زمان بهره‌برداری از خطوط را به میزان زیادی افزایش دهد. تأخیر در بهره‌برداری از خطوط انتقال آب در نهایت قابل تبدیل به هزینه خواهد بود. نتایج به‌دست آمده از اجرای الگوریتم نشان می‌دهد توابع هدف در وسط منحنی پارتو بهینه‌ترین حالت را دارد و در واقع با کاهش تابع قیمت لوله‌ها و میزان افت درون لوله‌ها، قطر لوله بهینه شده است. از بین مسیرهای به‌دست آمده مسیر ۴ کمترین طول و کمترین میزان هزینه در کل خط انتقال را دارد. مسیر ۳ بیشترین طول و بیشترین میزان هزینه در خط انتقال را دارد. مسیر ۲ کمترین میزان تابع هدف فنی را دارد و مسیر ۴ بیشتر میزان تابع هدف فنی (افت در لوله‌ها) را دارد. بنابراین، مسیر ۲ به‌عنوان مسیر بهینه تعیین می‌شود. هرچند که طول این مسیر بیشتر است اما کمترین مقادیر توابع هدف را دارد و به‌عنوان مسیر نهایی خط انتقال مشخص شد. با مقایسه مسیر احداث شده و مسیر به‌دست آمده مشخص شد که مسیر تعیین شده ۱۳ درصد کاهش هزینه را به دنبال دارد و طول کوتاه‌تری نیز دارد. همچنین الگوریتم MOPSO همگرایی بالاتری نسبت به سایر الگوریتم‌های فراابتکاری دارد و برای بهینه‌سازی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع آب استفاده می‌شود. یکی از محدودیت‌های این تحقیق قطر لوله‌های موجود در بازار بود که باعث شد فقط بتوان از لوله‌هایی با قطرهای

پی‌نوشت‌ها

- 1-Geographic Information System
- 2-Multi-Objectiveparticle Swarm Optimization
- 3-Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II
- 4-Pareto Chart
- 5-Analytical Hierarchy Process

منابع

- ابراهیمی پور، احمد رضا. (۱۳۸۴). مسیریابی خطوط انتقال آب با استفاده از GIS و الگوریتم ژنتیک. پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- بخشی‌زاده، محمود. (۱۳۹۱). مشکلات اقتصادی اجتماعی ناشی از انتقال آب بین حوزه‌ای (مطالعه موردی انتقال آب بهشت آباد به زاینده رود). اولین همایش ملی انتقال آب بین حوزه‌ای (چالش‌ها و فرصت‌ها). دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد.
- بهشتی‌فر، سارا، علیمحمدی سراب، عباس، و منصوریان، علی. (۱۳۹۰). مسیریابی خطوط انتقال نیرو با رویکرد بهینه‌سازی چند هدفه. نشریه علمی پژوهشی سنجش از دور و GIS ایران، ۱۲(۶)، ۱۹-۳۲.
- شویبری، غلامرضا، رجبی، احمد، و کی‌پور، مصطفی. (۱۳۹۴). مسیریابی بهینه خطوط انتقال آب با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی و ابزار GIS. دومین کنفرانس ملی مدیریت ساخت و پروژه. مرکز همایش‌های اداره راه استان تهران، تهران.
- فتحی ساسانسر، سمانه، و فلاح چولابی، اسماعیل. (۱۳۹۵). طراحی بهینه موتور BLDC با ساختار Slotless با استفاده از

یک روش بهینه‌سازی هوشمند مبتنی بر الگوریتم MOPSO. چهارمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی در مهندسی برق، مکانیک، مکاترونیک. دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران.

عطاری، محمد، خاشعی سیوکی، عباس، اصغرزاده منطری، سعید، و مجرد، معصومه. (۱۳۹۹). مکان‌یابی خطوط بزرگ انتقال آب با استفاده از نرم‌افزار Arc-GIS. مجله آب و فاضلاب، ۳۱(۱)، ۱۱۷-۱۱۱. doi: [10.22093/WWJ.2018.100955.250](https://doi.org/10.22093/WWJ.2018.100955.250)

لکزایی، صدیقه. (۱۳۹۴). بررسی چالش‌ها و فرصت‌های امنیتی در مرزهای شرقی. اولین همایش ملی شهرهای مرزی و امنیت، چالش‌ها و رهیافت‌ها. دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

موسوی، حنا، صفرعلی نجار، محمد، وکیلی، محمدجواد، و حسن‌پور، سمیه. (۱۳۹۳). مسیریابی خطوط انتقال نیرو با استفاده از الگوریتم ژنتیک. بیست و یکمین کنفرانس مهندسی برق ایران. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد. نباتی، عزت‌الله. (۱۳۸۹). پدافند غیرعامل. مرکز آموزشی پژوهشی شهید صیاد شیرازی. چاپ اول. تهران، ایران.

نگاهداری، جواد، رنگزن، کاظم، قبادی، محمدحسین، و آصف‌پور وکیلان، افشین. (۱۳۹۱). مسیریابی بین استان‌های همدان و مرکزی بر اساس اصول زمین‌شناسی و زیست‌محیطی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور. نشریه علمی ترویجی مهندسی نقشه برداری و اطلاعات جغرافیایی، ۴(۱)، ۲۶-۱۵.

نقیبی، فریدون. (۱۳۸۲). مسیریابی بهینه خطوط لوله نفت و گاز به کمک سیستم اطلاعات مکانی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه نقشه برداری و ژئوماتیک، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران.

نوبخت، پدیده، و احدی اخلاقی، ایمان. (۱۳۹۳). مسیریابی بهینه خطوط انتقال و فوق توزیع با استفاده از روش PSO. بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق. مرکز همایش‌ها و سمینارهای علوم جهان اسلام، تهران.

Luettinger, J., & Clark, T. (2005). Geographic information system-based pipeline route selection process. *Journal of water resources planning and management*, 131(3), 193-200. DOI: [10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2005\)131:3\(193\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2005)131:3(193))

Zhang, L, X., Wang, Xu, S., & Zhou, M. 2010. Environmental/Economic Dispatch Based on Multi-objective PSO. *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*. Changsha, China.

Removal of Amoxiclav Antibiotic from Aqueous Solutions Using Ultrasonic Waves

S. Goudarzian¹, M. Soleimani Babarsad², E. Derikund^{2*}, M.H. Pourmohammadi², H. Ghorbanzadeh Kharazi²

1- Ph.D. Student, Department of Civil Engineering - Water Resources Engineering and Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Water Sciences, Water Science and Environmental Research Center, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

*(Corresponding Author Email: Ehsan.Derikvand@iau.ac.ir)

Received: 19-06-2023

Revised: 21-08-2023

Accepted: 05-09-2023

Available Online: 21-12-2023

حذف آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو با استفاده از امواج التراسونیک از محلول‌های آبی

سامان گودرزیان^۱، محسن سلیمانی بابرساد^۲، احسان دریکوند^{۲*}، محمد حسین پورمحمدی^۲، حسین قربانی‌زاده خرازی^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران - مهندسی و مدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران. ۲- استادیار، گروه مهندسی آب، مرکز تحقیقات علوم آب و محیط زیست، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: Ehsan.Derikvand@iau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰

Abstract

Antibiotics enter the environment, mainly aquatic environments, through the effluents of pharmaceutical industries, antibiotic factories, hospitals, human and animal sewage. Toxicity (carcinogenicity, mutagenicity and damage to the body's DNA), biodegradability, and drug resistance in antibiotics have caused these compounds to be called semi-persistent pollutants in the environment. The present study was conducted to investigate the effectiveness of ultrasonic waves in reducing the antibiotic amoxiclav in aqueous solutions. The discharge and flow velocity parameters have been neglected due to their insignificance. The investigated variables included contact time, amoxiclav concentration, and pH. Antibiotics were based on concentrations of 2 and 6 mg/L of Amoxiclav, retention time (30, 45, 60) minutes, and pH values (3, 7, 9) in an ultrasonic device with a volume of 10 liters and internal dimensions (20*30*50), and the frequency was set to 95. Then the remaining concentration in the samples was measured by HPLC. The obtained results were subjected to statistical analysis with SPSS software. As the retention time increases, the initial concentration of the antibiotic decreases, but on the contrary, as the initial concentration increases, the removal of the antibiotic decreases. The highest concentration reduction of amoxiclav in concentration 2 (mg/L) is about 50% in the retention time of 60 minutes and pH = 3, but in concentration of 6 (mg/L), the highest concentration reduction is in the same retention time and pH of about 47%. The advantages of ultrasonication are easy application, acceleration of chemical and biological processes, no production of secondary pollutants, reduction of suspended and soluble substances in water, and an effective and cheap method to remove the antibiotic Amoxiclav.

Keywords: Amoxiclav Antibiotic, Ultrasonic, Retention Time, HPLC.

چکیده

آنتی‌بیوتیک‌ها از طریق پساب‌های صنایع داروسازی و کارخانه‌های سازنده آنتی‌بیوتیک‌ها، بیمارستان‌ها، فاضلاب‌های انسانی و حیوانی به محیط‌زیست و عمدتاً محیط‌های آبی وارد می‌شوند. سمیت (سرطان‌زا بودن، جهش‌زایی و آسیب رساندن به DNA بدن)، زیست تخریب ناپذیری و ایجاد مقاومت دارویی در آنتی‌بیوتیک‌ها، باعث شده که این ترکیبات، آلاینده‌های شبه پایدار در محیط‌زیست نامیده شوند. مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی امواج التراسونیک در کاهش آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو از محلول‌های آبی انجام شده است. از پارامترهای دبی و سرعت جریان به دلیل ناچیز بودن، صرف‌نظر شده است. متغیرهای مورد بررسی شامل زمان تماس، غلظت آموکسی کلاو و pH در نظر گرفته شد. آنتی‌بیوتیک براساس غلظت‌های ۲ و ۶ میلی‌گرم در لیتر آموکسی کلاو، زمان ماند ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه و مقادیر pH ۳، ۷ و ۹ درون دستگاه التراسونیک به حجم ۱۰ لیتر و ابعاد داخلی ۲۰*۳۰*۵۰ و فرکانس ۹۵ قرار داده شد. سپس غلظت باقی‌مانده در نمونه‌ها با دستگاه HPLC سنجیده شد. نتایج بدست آمده با نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل آماری شد. هر چه زمان ماند افزایش پیدا کند از غلظت اولیه آنتی‌بیوتیک بیشتر کاسته می‌شود، ولی برعکس هر چه غلظت اولیه افزایش یابد، باعث کاهش حذف آنتی‌بیوتیک شده است. بیشترین میزان کاهش غلظت آموکسی کلاو در غلظت ۲ mg/L حدود ۵۰ درصد در زمان ماند ۶۰ دقیقه و pH=۳، اما در غلظت ۶ mg/L بیشترین میزان کاهش غلظت در همین زمان ماند و pH حدود ۴۷ درصد است. مزایای التراسونیک، کاربرد آسان، تسریع فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی، عدم تولید آلاینده ثانویه، کاهش مواد معلق و محلول در آب همچنین یک روش موثر و ارزان در حذف آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو است.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو، التراسونیک، زمان ماند، HPLC.

(Garoma و همکاران، ۲۰۱۰)، تابش پرتو فرابنفش (Shokri و همکاران، ۲۰۱۹) انجام شده است.

بررسی حذف آموکسی سیلین در آب با پراکسید هیدروژن و التراسونیک ارائه شده است (Damiri و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعه جذب آنتی بیوتیک وانکومایسین از محلول آبی با استفاده از کامپوزیت مگنتیت آغشته به کربن فعال انجام شده است (Gashtasbi و همکاران، ۲۰۱۷).

مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی امواج التراسونیک در کاهش آنتی بیوتیک آموکسی کلاو از محلول های آبی انجام شده است. انتخاب این آنتی بیوتیک به دلایل زیر بوده است:

۱- آموکسی کلاو و ترکیبات آن یکی از داروهای پرمصرف در درمان بسیاری از بیماری ها از جمله عفونت های مجاری ادراری- تناسلی، عفونت گوش میانی، مجاری تنفسی و برونشیت مزمن، سالمونلوز مهاجم، عفونت های شکمی، سلولیت، گازگرفتگی حیوانات و عفونت شدید دندان همراه با سلولیت است.

۲- تاکنون تحقیقاتی در مورد حذف این آنتی بیوتیک با امواج التراسونیک صورت نگرفته است.

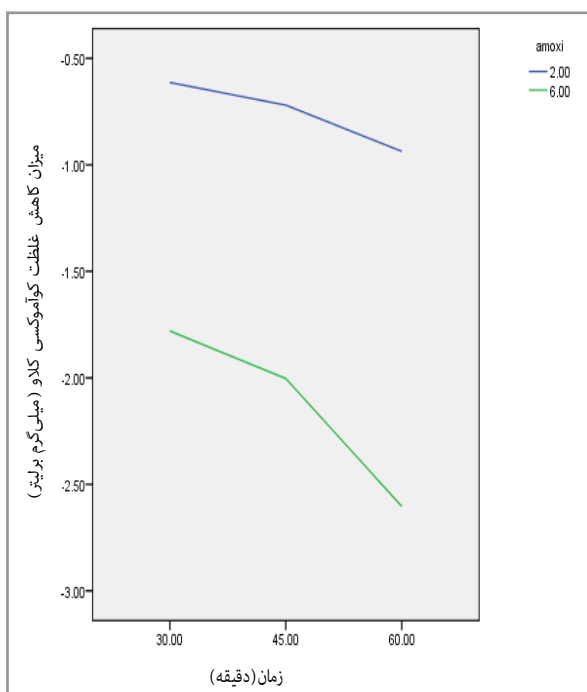
مواد و روش

در این مطالعه تجربی و آزمایشگاهی مواد شیمیایی مورد نیاز شامل اسید سولفوریک (کلریدریک) و هیدروکسید سدیم، آنتی بیوتیک آموکسی کلاو از شرکت Merck آلمان با خلوص بیش از ۹۸ درصد تهیه شده است. برای تهیه کلیه محلول های آزمایش از آب دیونیزه و همچنین برای تنظیم pH محلول از اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار استفاده شد. از وسایل آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق، بشر، ترازوی دیجیتالی، شیکر، کاغذ صافی، pH متر، مخلوط کن، دستگاه التراسونیک و دستگاه جذب اتمی HPLC^۱ را می توان نام برد. در این تحقیق از روش جریان توأم با مواد آلاینده در مقیاس آزمایشگاهی، اقدام به بررسی عوامل تأثیرگذار بر فرآیند کاهش آنتی بیوتیک آموکسی کلاو صورت گرفت. از پارامترهای دبی و سرعت جریان، به دلیل ناچیز بودن صرفه نظر شد. متغیرهای مورد بررسی شامل زمان تماس، غلظت آموکسی کلاو و pH است. نمونه های موردنظر در محلول های ۱ لیتری با غلظت های ۲ و ۶ میلی گرم در لیتر در سه رده pH ۳، ۷ و ۹ به مدت ۳ ساعت در دمای آزمایشگاهی ۲۲/۵ درجه سلسیوس به وسیله مخلوط کن هم زده شد. سپس زمان ماندن های ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ دقیقه درون دستگاه التراسونیک با فرکانس ۹۵ khz قرار می گیرد. حجم مشخصی از نمونه جهت اندازه گیری باقی مانده آموکسی کلاو برداشت می گردد. نمونه حاصل توسط دستگاه جذب اتمی (HPLC) مجهز به آشکارساز اشعه ماورای بنفش آنالیز می شود. تمامی آزمایشات با ۳ بار تکرار

در سال های اخیر توجه خاصی به آلاینده های منابع آب، شامل ترکیبات دارویی همچون آنتی بیوتیک ها در محیط زیست (Almasi و همکاران، ۲۰۱۷)، به ویژه در رودخانه ها و دریاچه ها، آب های زیرزمینی و رسوبات خاک شده است (Ouyang و همکاران، ۲۰۱۵؛ Ji و همکاران، ۲۰۱۴). هنگامی که انسان دارویی را مصرف می کند، حدود ۲۵ درصد آن جذب می شود (Githinji و همکاران، ۲۰۱۱) و باقیمانده آن به شکل متابولیت های شیمیایی مانند فرآورده های فرعی، از فعل و انفعالات بدن دفع می گردد (Karwowska و Jendrzejska، ۲۰۱۸) که اگر حذف نشوند وارد منابع آب عمومی می شوند (Arslan-Alaton و Gurses، ۲۰۰۴). آنتی بیوتیک های مصرف شده توسط دام ها و آبزیان بعد از دفع شدن به عنوان کودهای حیوانی در بخش کشاورزی به کار می روند (Cha و همکاران، ۲۰۱۵). سمیت (سرطان زا بودن، جهش زایی و آسیب رساندن به DNA بدن)، زیست تخریب ناپذیری و ایجاد مقاومت دارویی در آنتی بیوتیک ها، باعث شده که این ترکیبات آلاینده های شبه پایدار در محیط زیست، نامیده شوند (Körbahti و Taşyürek، ۲۰۱۵). فرآیندهای اصلی مورد استفاده برای حذف آلاینده های آب، روش های فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی هستند که فرآیندهای بیولوژیکی ارزان هستند ولی در حذف مواد آلی مقاوم از آب موثر نیستند (Awad و Kim، ۲۰۱۴). اما فرآیندهای فیزیکی شیمیایی اگر چه پرهزینه هستند، ولی راندمان و کیفیت بالایی دارند (Ouyang و همکاران، ۲۰۱۵).

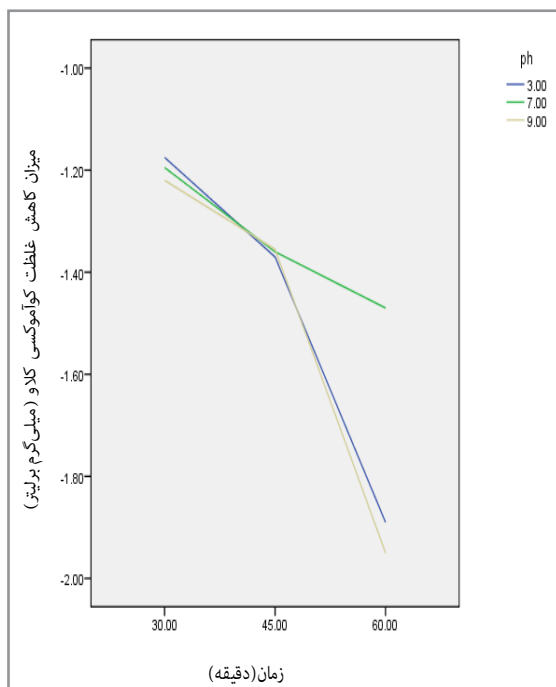
در واقع آنتی بیوتیک ها به دلیل داشتن خاصیت ضد میکروبی، مانع فعالیت باکتری ها در سیستم تصفیه بیولوژیکی شده و با مختل کردن عملیات تصفیه، بدون حذف شدن، از آن عبور می کنند (Badawy و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین روش های معمول مورد استفاده در تصفیه فاضلاب صنایع دارویی مانند تصفیه بیولوژیکی، عموماً کارآمد نمی باشند (Dirany و همکاران، ۲۰۱۰). در این راستا روش های اکسیداسیون پیشرفته، اخیراً توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است (Sharma و همکاران، ۲۰۱۱).

در این خصوص تاکنون تحقیقات مختلفی برای حذف آلاینده های آلی به ویژه آنتی بیوتیک ها از محلول های آبی انجام شده است، از جمله: ارزیابی تأثیر پارامترهای pH و زمان در حذف آنتی بیوتیک وانکومایسین از محلول آبی با استفاده از جاذب طبیعی نانوبنتونیت انجام شده است (Dehrazma و Khamoushi، ۲۰۱۷). جایگزینی ازن با اشعه uv در فرآیند uv/H_2O_2 منجر به حذف آلاینده آلی می شود (Yuan و همکاران، ۲۰۰۹). اکسیداسیون عکس یکی دیگر از روش های گسترده برای تصفیه منابع آب از ترکیبات دارویی است (Dewil و همکاران، ۲۰۱۷). فرآیندهای مختلفی از قبیل ازن زنی



شکل ۱- گراف رابطه بین کاهش غلظت آموکسی و زمان ماند

با توجه به جدول (۱) و شکل (۱) مشاهده می‌شود که هر چه زمان ماند از ۳۰ دقیقه به ۶۰ دقیقه افزایش یابد، درصد حذف آنتی‌بیوتیک افزایشی است. مطالعه که به حذف آزیترامایسین از منابع آب پرداخته، نتایج تحقیق حاضر را تأیید می‌کند (Yao و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۲- گراف روابط بین آموکسی کلاو، زمان ماند و pH

و انحراف معیاری کمتر از ۰/۵ انجام شده است. جهت تعیین کارایی فرآیندهای مذکور در حذف آموکسی کلاو، راندمان فرآیند مطابق معادله زیر محاسبه می‌گردد.

$$efficiency (\%) = ((C1 - C2)) / C1 \quad (1)$$

در معادله بالا $C_{1,2}$ ، غلظت آموکسی کلاو به ترتیب در ورودی و خروجی از راکتور است.

پس از تعیین غلظت اولیه و غلظت باقیمانده آنتی‌بیوتیک در زمان‌های مختلف با استفاده از دستگاه HPLC و با مقایسه غلظت اولیه و غلظت‌های باقیمانده طی زمان‌های مختلف، درصد حذف، برآورد می‌شود. پس از انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی روی نمونه‌ها، نتایج بدست آمده مورد تجزیه و تحلیل آماری با نرم‌افزار spss قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایجی که از نرم‌افزارهای تحلیلی بدست آمده بر اساس متغیرهای زمان ماند، pH و غلظت آموکسی در جدول (۱) ارائه شده است. طبق نتایج این جدول، بیشترین کاهش درصد غلظت مربوط به آموکسی کلاو ۲ (mg/L) حدود ۵۰ درصد در زمان ماند ۶۰ دقیقه و در همین شرایط کاهش غلظت آموکسی کلاو ۶ (mg/L) حدود ۴۷ درصد است. کمترین کاهش آنتی‌بیوتیک برای هر دو غلظت ۲ (mg/L) و ۶ (mg/L) در یک زمان ماند ۳۰ دقیقه و pH=۳ رخ داده که به ترتیب ۲۹ و ۳۰ درصد می‌باشد. هرچه غلظت آنتی‌بیوتیک از ۲ به ۶ افزایش یابد، درصد حذف آن کاهش می‌یابد. به طور مشابه در مطالعه‌ای که خزایی و همکاران (۱۳۹۸) انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت اولیه آنتی‌بیوتیک از ۵ به ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، کارایی حذف آنتی‌بیوتیک سفکسیم از ۹۳ به ۹۱ درصد کاهش پیدا می‌کند، یعنی میزان غلظت آنتی‌بیوتیک با میزان کارایی فرآیند حذف رابطه معکوس دارد.

جدول ۱- نتایج داده‌های متغیرها در آزمایشگاه

زمان	pH	درصد حذف آموکسی کلاو	
		۲ (mg/L)	۶ (mg/L)
۳۰	۳	۳۰	۲۹,۲
۴۵	۳	۳۶	۳۳
۶۰	۳	۵۰	۴۷
۳۰	۷	۳۱	۲۹,۵
۴۵	۷	۳۶,۵	۳۳
۶۰	۷	۴۵	۳۴
۳۰	۹	۳۱	۳۰
۴۵	۹	۳۵,۵	۳۳
۶۰	۹	۴۶,۵	۴۹

جدول (۱) و شکل (۲) نشان می‌دهد که بیشترین کاهش غلظت آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو، مربوط به pHهای ۳ و ۹ است. در نتیجه عامل pH هیچ تغییر معنی‌داری در کاهش غلظت آموکسی رخ نداده است، بنابراین در شرایط التراسونیک، pH یک عامل غیر موثر است. Shaykhi Mehrabadi (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای در مورد حذف آموکسی سیلین توسط $UV/H_2O_2/O_3$ ، نشان داد که pH بالا، عملکرد منفی در حذف آنتی‌بیوتیک دارد. کمانی و همکاران (۱۳۹۷) در مورد کارایی فرآیند تلفیقی التراسونیک - پرسولفات در کاهش مواد آلی فاضلاب سنتتیک لبنی مطالعه‌ای انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که راندمان کلی فرآیند در pH اسیدی نسبت به pH قلیایی، برتری داشته به طوری که افزایش pH از ۵ به ۹، کارایی فرآیند حذف مواد آلی از فاضلاب سنتتیک را کاهش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

طبق نتایج این تحقیق با توجه به شکل (۱) هر چه غلظت آنتی‌بیوتیک آموکسی کلاو افزایش یابد، میزان حذف آن کاهش می‌یابد. در غلظت اولیه ۲ (mg/L) آموکسی کلاو بیشترین میزان کاهش غلظت آموکسی کلاو تقریباً ۱ (mg/L) حدود ۵۰ درصد در زمان ماند ۶۰ دقیقه و کمترین میزان حذف به زمان ۳۰ دقیقه، حدود ۳۰ درصد است. اما در غلظت اولیه ۶ (mg/L)، بیشترین میزان کاهش غلظت آموکسی کلاو در زمان ماند ۶۰ دقیقه دارای کاهش در حد ۲/۸ (mg/L) حدود ۴۷ درصد و کمترین میزان حذف در زمان ۳۰ دقیقه، حدود ۲۹ درصد است. عامل pH با توجه به شکل (۲) در این مطالعه تغییرات معناداری نداشته، بطوری که در pHهای ۳ و ۹ به ترتیب بیشترین درصد حذف و در pH=۷ کمترین حذف مشاهده شد و همچنین عامل زمان ماند بسیار تأثیرگذار بوده، به طوری که هرچه از زمان ۳۰ به سمت ۶۰ دقیقه بالا می‌رود، به طور قابل ملاحظه‌ای با افزایش حذف غلظت آموکسی مواجه می‌شود. به طور کلی روش التراسونیک برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها روشی سریع، با عدم تولید آلاینده ثانویه، کاهش مواد معلق و محلول در آب، ارزان قیمت و بیولوژیکی است، ولی راندمان بالایی ندارد و حدود ۵۰ درصد است.

پی‌نوشت‌ها

1-High performance liquid chromatography

منابع

خزایی، رقیه، رحمانی، علیرضا، صیدمحمدی، عبدالمطلب،

فردمال، جواد، و لیلی، مصطفی. (۱۳۹۸). بررسی کارایی فرآیند uv/پراکسی مونوسولفات آنتی‌بیوتیک سفیکسیم از محلول‌های آبی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان، ۲۴(۴)، ۲۲-۴۰.
کمانی، حسین، حسین پناهی، آیت، نورآبادی، الهام، و آبی، غلامرضا. (۱۳۹۸). بررسی کارایی فرآیند تلفیقی التراسونیک-پرسولفات در کاهش مواد آلی فاضلاب سنتتیک لبنی. نشریه دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، ۲۶(۱)، ۳۲-۴۳.

Almasi, A., Mohammadi, M., Shamsi, K., Mohammadi, S., & Saeidimoghadam, Z. (2017). Sonolytic and photocatalytic (sonophotocatalytic) removal of cephalixin from aqueous solution: process optimization using response surface methodology (RSM). *Desalination and water treatment*, 85, 256-263. DOI: [10.5004/dwt.2017.21030](https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21030)

Arslan-Alaton, I., & Gurses, F. (2004). Photo-Fenton-like and photo-fenton-like oxidation of Procaine Penicillin G formulation effluent. *Journal of photochemistry and photobiology A: Chemistry*, 165(1-3), 165-175. DOI: [10.1016/j.jphotochem.2004.03.016](https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2004.03.016)

Awad, Y. M., Kim, S. C., Abd El-Azeem, S. A., Kim, K. H., Kim, K. R., Kim, K., ... & Ok, Y. S. (2014). Veterinary antibiotics contamination in water, sediment, and soil near a swine manure composting facility. *Environmental earth sciences*, 71, 1433-1440. DOI: [10.1007/s12665-013-2548-z](https://doi.org/10.1007/s12665-013-2548-z)

Badawy, M. I., Wahaab, R. A., & El-Kalliny, A. S. (2009). Fenton-biological treatment processes for the removal of some pharmaceuticals from industrial wastewater. *Journal of hazardous materials*, 167(1-3), 567-574. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2009.01.023](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.023)

Cha, J., Yang, S., & Carlson, K. H. (2015). Occurrence of β -lactam and polyether ionophore antibiotics in surface water, urban wastewater, and sediment. *Geosystem Engineering*, 18(3), 140-150. DOI: [10.1080/12269328.2015.1010658](https://doi.org/10.1080/12269328.2015.1010658)

Damiri, F., Dobaradaran, S., Hashemi, S., Foroutan, R., Vosoughi, M., Sahebi, S., ... & Boffito, D. C. (2020). Waste sludge from shipping docks as a catalyst to remove amoxicillin in water with hydrogen peroxide and ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 68, 105187. DOI: [10.1016/j.ultrasonch.2020.105187](https://doi.org/10.1016/j.ultrasonch.2020.105187)

- nanobentonite natural adsorbent, Fifth National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management., Tehran, IRAN.
- Ouyang, W. Y., Huang, F. Y., Zhao, Y., Li, H., & Su, J. Q. (2015). Increased levels of antibiotic resistance in urban stream of Jiulongjiang River, China. *Applied microbiology and biotechnology*, 99, 5697-5707. DOI: [10.1007/s00253-015-6416-5](https://doi.org/10.1007/s00253-015-6416-5)
- Sharma, S., Ruparelia, J. P., & Patel, M. L. (2011). A general review on advanced oxidation processes for waste water treatment. In *Nirma University International Conference*, Ahmedabad, Gujarat, 382-481.
- Shokri, R., Yengejeh, R. J., Babaei, A. A., Derikvand, E., & Almasi, A. (2019). UV activation of hydrogen peroxide for removal of azithromycin antibiotic from aqueous solution: determination of optimum conditions by response surface methodology. *Toxin Reviews*. DOI: [10.1080/15569543.2018.1517803](https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1517803)
- Shaykhi Mehrabadi, Z. (2016). Performance of advanced oxidation process (UV/O₃/H₂O₂) degrading amoxicillin wastewater: A comparative study. *Journal of applied research in water and wastewater*, 3(1), 222-231.
- Yuan, F., Hu, C., Hu, X., Qu, J., & Yang, M. (2009). Degradation of selected pharmaceuticals in aqueous solution with UV and UV/H₂O₂. *Water research*, 43(6), 1766-1774. DOI: [10.1016/j.watres.2009.01.008](https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.01.008)
- Yao, H., Sun, P., Minakata, D., Crittenden, J. C., & Huang, C. H. (2013). Kinetics and modeling of degradation of ionophore antibiotics by UV and UV/H₂O₂. *Environmental science & technology*, 47(9), 4581-4589. DOI: [10.1021/es3052685](https://doi.org/10.1021/es3052685)
- Dewil, R., Mantzavinos, D., Poullos, I., & Rodrigo, M. A. (2017). New perspectives for advanced oxidation processes. *Journal of environmental management*, 195, 93-99. DOI: [10.1016/j.jenvman.2017.04.010](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.010)
- Dirany, A., Sirés, I., Oturan, N., & Oturan, M. A. (2010). Electrochemical abatement of the antibiotic sulfamethoxazole from water. *Chemosphere*, 81(5), 594-602. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2010.08.032](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.08.032)
- Garoma, T., Umamaheshwar, S. K., & Mumper, A. (2010). Removal of sulfadiazine, sulfamethizole, sulfamethoxazole, and sulfathiazole from aqueous solution by ozonation. *Chemosphere*, 79(8), 814-820. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2010.02.060](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.02.060)
- Gashtasbi, F., Yengejeh, R. J., & Babaei, A. A. (2017). Adsorption of vancomycin antibiotic from aqueous solution using an activated carbon impregnated magnetite composite. *Desalination and water treatment*, 88, 286-297. DOI: [10.5004/dwt.2017.21455](https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21455)
- Githinji, L.J., Musey, M. (2011). Evaluation of the fate of ciprofloxacin and amoxicillin in domestic wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, 219, 191-201. DOI: [10.1007/s11270-010-0697-1](https://doi.org/10.1007/s11270-010-0697-1)
- Ji, Y., Ferronato, C., Salvador, A., Yang, X., & Chovelon, J. M. (2014). Degradation of ciprofloxacin and sulfamethoxazole by ferrous-activated persulfate: implications for remediation of groundwater contaminated by antibiotics. *Science of the total environment*, 472, 800-808. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2013.11.008](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.008)
- Jendrzejewska, N., & Karwowska, E. (2018). The influence of antibiotics on wastewater treatment processes and the development of antibiotic-resistant bacteria. *Water science and technology*, 77(9), 2320-2326. DOI: [10.2166/wst.2018.153](https://doi.org/10.2166/wst.2018.153)
- Körbahti, B. K., & Taşyürek, S. (2015). Electrochemical oxidation of ampicillin antibiotic at boron-doped diamond electrodes and process optimization using response surface methodology. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 3265-3278. DOI: [10.1007/s11356-014-3101-7](https://doi.org/10.1007/s11356-014-3101-7)
- Khamoushi, H. Dehrazma, B. (2017). Removal of vancomycin antibiotic from aqueous solution using

امروز مسأله آب و مدیریت بر آن، از مهم‌ترین چالش زندگی مدرن است. منشأ و خاستگاه اصلی مدیریت بر آب، در قوانین هر کشوری نهفته است. مدیریت ایده‌آل بر آب که در آن هیچ‌گونه نقص و عیبی احساس نشود، مصرف آب مبتنی بر موجودیت آن در طبیعت باشد و از طرفی آب کافی برای همه‌گونه مصارف در دسترس باشد، موضوعی است که همه کشورهای جهان به دنبال آن هستند. بی‌شک هر کشوری به دنبال این وضعیت ایده‌آل بوده و سعی کرده آن را در قوانین خود بگنجاند؛ اما اینکه چرا باز هم با بحران کمبود آب و یا کاهش شدید هر ساله آن مواجه هستیم، موضوعی است که شاید می‌بایست در اجرای قانون به دنبال آن بود. در این یادداشت سعی شده به کمبودهای مدیریت مبتنی بر قوانین مرتبط با آب در کشور پرداخته شود تا با در نظر گرفتن آثار حقوقی مفاهیم قانونی و پیشنهادهای ارائه‌شده، بتوان در راستای اجرای صحیح این قوانین گام نهاد و به سمت مدیریت پایدار منابع آب حرکت نمود.

واژه‌های کلیدی: قانون توزیع عادلانه آب، مشترکات عمومی، مالکیت بر آب، پروانه بهره‌برداری، مدیریت بر مصرف منابع آب.

مقدمه

مشترکات عمومی: اصول و قواعد

مشترکات عمومی یکی از انواع دسته‌بندی‌های حقوقی در مالکیت است. اموال به دو دسته تقسیم می‌شوند، یا می‌تواند به مالکیت خصوصی در بیاید و یا نمی‌تواند، چه توسط شخص خصوصی چه عمومی. طبق تعریف قانون مدنی در مواد ۲۶ و ۲۷ خود، مشترکات عمومی اموالی است که نمی‌تواند به مالکیت خصوصی در بیاید، حتی توسط اشخاص حقوقی عمومی و مستعد استفاده عموم است.

هر کشوری بنا بر سیاست‌های خود، مدیریت بهتر بر منابع و توزیع عادلانه آن و امکان استفاده همگان از آن منابع، می‌تواند اموالی را از مالکیت خصوصی اشخاص خارج کرده و مدیریت آن را در اختیار خود قرار دهد. اینکه در کشوری بنا بر سیاست‌های آن کشور، مالی جزء مشترکات عمومی قرار گیرد، بهتر است یا نه، بحث مفصلی نیاز دارد که باید در یادداشتی دیگر به آن پرداخت، اما کشورها با این عمل اهدافی را دنبال می‌کنند که لازم می‌دانند.

مشترکات عمومی با تعاریف و مفاهیم خود دارای آثار خاصی هستند که باید در اجرای قانون، آن آثار را مد نظر قرار داد. به عبارتی نمی‌توان قانونی را تفسیر و اجرا نمود، مگر با لحاظ آثار حقوقی آن. هر مفهوم حقوقی، آثار حقوقی خاص خود را دارد که جز در موارد استثنا، در سایر موارد باید در تفسیر و اجرا الزاماً از آن تبعیت نمود. آثار مشترکات عمومی در نوشته‌های بعضی حقوق‌دانان به صورت محدود بیان شده که در ابتدا به آن پرداخته می‌شود. دکتر کاتوزیان در کتاب اموال و مالکیت (۱۳۸۱)، آثار مشترکات عمومی را در چند مورد اعلام داشته است:

الف: دولت نمی‌تواند مشترکات عمومی را انتقال دهد، مگر اینکه قانون خاصی آن را اجازه دهد؛ زیرا امکان انتقال به اشخاص با قابل تملک نبودن آنها منافات دارد.

ب: اموال عمومی به سود طلبکاران دولت، قابل توقیف نیست؛ زیرا بازداشت مالی که قابل تملک خصوصی نیست، کاری بیهوده است.

آب در نظام حقوقی کشور ایران، ازجمله مشترکات عمومی دانسته شده که این امر در نحوه مدیریت توزیع و مصرف آن آثار خاص خود را به‌جای گذاشته است. با توجه به بحران‌های به وجود آمده در حوزه آب و کمبود قابل‌توجه منابع آبی، در مرحله اول ریشه آن را باید در مدیریت بر منابع آب و اجرای قانون مربوط به آن جستجو کرد. مدیریت نادرست بر توزیع و مصرف آب، عامل اصلی به وجود آمدن بحران‌های موجود در حوزه آب در کشور ماست که اصلاح آن یک ضرورت انکارناپذیر و عدم‌اصلاح آن یک خطای نابخشودنی در وضعیت فعلی است. اجرای صحیح قانون می‌تواند تعیین‌کننده نوع و روش مدیریت بر آب و منابع آبی باشد. به عبارتی مدیریت بر آب می‌بایست در راستای اجرای صحیح قانون باشد. قانون آئینه تمام‌غای نوع مدیریت و وجوه اجرای موضوع آن است. برداشت غلط از قانون، امروز نه تنها ما را در مسیر بحران و نابودی منابع آب قرار داده، بلکه مدیریت بر آن را متهم به سوء مدیریت و یا ناکارآمدی نموده است. مصرف‌کنندگان را در پندار، دارای حق مکتسبه بر منابع آب و یا حتی مالکیت بر آن فروبرده است. دستگاه قضایی را در شناسایی حقوق آب و حق بهره‌برداران بر آن، به چالش کشیده است. توزیع عادلانه آن را با مشکل مواجه نموده، به‌نوعی که آن را لاینحل می‌نماید. در اجرای صحیح قانون، مخصوصاً قانون توزیع عادلانه آب به عنوان قانون خاص، ابهامات بسیار است. به جز اندک مواردی که در نوشته‌های بعضی از حقوق‌دانان دیده می‌شود (کاتوزیان، ۱۳۸۱: ص ۸۸)، متأسفانه در خصوص آب و قوانین و مقررات آن، دکترین حقوقی اظهارنظر شایان توجهی ندارد. در این یادداشت با مراجعه به مفهوم وصف حقوقی آب به عنوان یکی از انواع مشترکات عمومی، در ابتدا اصول و قواعدی که در رابطه با آن وجود دارد، مورد بررسی قرار گرفته، سپس آثار حقوقی آن ارائه شده است.

ج: در مشترکات عمومی مرور زمان جاری نیست و اشخاص نمی‌توانند به بهانه تصرف مستمر خود آنها را تملک کنند. ولی در سایر اموال دولت مرور زمان جاری می‌شود (کاتوزیان، ۱۳۸۱). این آثار، به عنوان آثار عمومی اموال مشترکات عمومی که نسبت به کلیه مشترکات لازم‌الاجرا است، بیان شده، اما با دقت در قوانین خاص هم می‌توان آثار دیگری از این گونه اموال را به راحتی تشخیص داد. آثاری که برخاسته از مفهوم خاص حقوقی آن بوده و در اجرا یا تفسیر قانون، به کار برده می‌شود.

در ابتدا نظام قانون مدنی در زمینه تملک آب، بر پایه حمایت از ابتکارهای خصوصی بوده به طوریکه در مواد ۱۴۸ و ۱۴۹ این قانون به صراحت بیان شده است: آب‌های رودخانه‌ها و چشمه‌سارهای طبیعی و آب‌های زیرزمینی سرمایه خدادادی است که به هیچ کس تعلق ندارد و آنکه کمر همت برینند و طبیعت آزاد را رام و مسخر کند به مالکیت آن دست می‌یابد. ولی تجربه نشان داد که با این نظام، نیازهای آبی کشور برآورده نمی‌شود، پس حکومت وقت، سیاست حمایت از ابتکار آزاد را رها ساخته و اجرای عدالت توزیعی را شعار خود ساخت و قوانین جدید در اجرای این سیاست جدید به تصویب رسید که مهم‌ترین آنها قانون حفظ و حراست از منابع آب‌های زیرزمینی کشور مصوب سال ۱۳۴۵ و قانون آب و نحوه ملی شدن آن مصوب ۱۳۴۷ بود. بعد از انقلاب، اصل ۴۵ قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران تمام آب‌های کشور را در اختیار حکومت اسلامی نهاد و قانون توزیع عادلانه آب مصوب سال ۱۳۶۱ در مقام اجرای این اصل، تمام آب‌های سطحی و زیرزمینی را در زمره مشترکات عمومی در آورد و مسئولیت حفظ و اجازه و نظارت بر بهره‌برداری از آنها را به دولت واگذار نمود (کاتوزیان، ۱۳۸۱).

در قانون توزیع عادلانه آب که محور اصلی این اثر است، آثار مهمی از این گونه اموال به طور مستقیم یا غیر مستقیم بیان شده است. مدیریت مناسب بر توزیع و مصرف آب در گرو اجرای صحیح قانون است و اجرای صحیح قانون در گرو تفسیر درست و صحیح مفاد آن است. با دقت در این که قانون‌گذار موضوع مورد قانون‌گذاری را در چه دسته‌بندی حقوقی قرار داده، می‌بایست اولاً خود، آثار حقوقی آن دسته‌بندی را رعایت نموده تا در تدوین آن دچار تعارض و پراکندگی نشود، ثانیاً مجریان می‌بایست در نحوه اجرا با لحاظ آثار خاص حقوقی آن دسته‌بندی، به تفسیر و اجرای آن بپردازند. آب در قانون توزیع عادلانه آب، در دسته‌بندی حقوقی مشترکات عمومی قرار گرفته که این امر در ماده یک قانون توزیع عادلانه آب در راستای اجرای اصل ۴۵ قانون اساسی اتفاق افتاده است. با دقت در دیگر مواد این قانون متوجه می‌شویم که یکی دیگر از مشترکات عمومی بیان شده، بستر و حریم رودخانه‌ها، کانال‌های عمومی، نهرها و می‌باشد.

مقرراتی که قانون‌گذار در این قانون به عنوان آثار حقوقی مشترکات عمومی در حوزه آب معرفی نموده و در راستای مدیریت و توزیع

عادلانه آب بیان داشته، اگر چه در یک قانون خاص بوده، اما به دلیل عدم وجود ترجیهی، می‌توان آنها را به عنوان یک قاعده در کلیه انواع مشترکات تسری داده و اجرا نمود که در ذیل به بیان آنها پرداخته شده است.

آثار حقوقی مشترکات عمومی در قانون توزیع عادلانه آب

۱- اولین و مهم‌ترین اثر حقوقی که بر مشترکات مترتب است و آن را می‌توان اولاً از مفهوم و اصول آن و ثانیاً از متن و مفاد قانون توزیع عادلانه آب به عنوان محور بحث این یادداشت دریافت، عدم قابلیت قضاوت و داوری شدن است. با مفهوم و تعریفی که از مشترکات بیان شد و همچنین در نوشته‌های حقوق دانان ذکر شد، به طور اصولی از آنجایی که مشترکات قابلیت تملک نداشته و نمی‌توان آن را تملک نمود، پس قابلیت قضاوت و داوری هم ندارد. چطور می‌توان موضوعی را به قضاوت گذاشت در حالی که مالک ندارد؟ چگونه می‌توان دعوایی را از کسی در رابطه با مشترکات پذیرفت، در حالی که مالک آن نیست؟ ماده ۳ قانون آیین دادرسی مدنی هم به طور صریح بیان داشته: «هیچ دادگاهی نمی‌تواند به دعوایی رسیدگی کند، مگر اینکه شخص یا اشخاص ذینفع یا وکیل یا قائم مقام یا نماینده قانونی آنان، رسیدگی به دعوا را برابر قانون درخواست نموده باشد». این ماده اگر چه وظیفه دادگاه‌ها را بیان داشته، اما در آن اشخاصی که صلاحیت درخواست رسیدگی به دعوا را داشته باشند را تصریح نموده است (شمس، ۱۳۸۴). بدیهی است که شخصی که مالک یا ذینفع در موضوعی نباشد، نمی‌تواند درخواست رسیدگی قضایی آن را هم داشته باشد. حال مالی که قابلیت تملک را نداشته و به عبارتی مالک نداشته باشد، چگونه می‌تواند مورد رسیدگی قضایی قرار گیرد؟ در قانون توزیع عادلانه آب هم بعد از اعلام صریح صلاحیت عام و انحصاری وزارت نیرو در تخصیص و اجازه بهره‌برداری از منابع آب در ماده ۳ و ۲۱ به عنوان نماینده حاکمیت و عموم در مدیریت بر توزیع عادلانه آب، هر آنجا که صلاحیت دادگاه را نیاز دانسته به صورت خاص بیان داشته است. مواد ۱۳ و ۱۴ و ۱۷ و ۲۰ و ۴۵ این قانون در موارد خاص به دلیل وجود حق خصوصی و یا موضوع کیفری به طور خاص در صلاحیت دادگاه دانسته است. حال آنکه در صورت اعتقاد وجود صلاحیت عام دادگاه‌ها در این خصوص، نیاز به بیان صلاحیت دادگاه به طور خاص نبود. «نتیجه اینکه قضاوت در حوزه آب و مشترکات عمومی نه تنها با اصل ۴۵ قانون اساسی متعارض است، بلکه با اصل تفکیک قوا هم در تعارض صریح می‌باشد.»

۲- دومین اثر حقوقی که می‌توان از متن قانون مخصوصاً قانون توزیع عادلانه آب به عنوان محور بحث استخراج کرد، اجازه، عدم اجازه و رجوع از اجازه است. ماده ۳ و ۲۱ قانون توزیع عادلانه آب به صراحت اجازه بهره‌برداری را به طور انحصاری به وزارت نیرو سپرده است. این امر به دلیل تخصصی که نزد هر یک از دستگاه‌های دولتی وجود

دارد، می‌باشد. همچنان‌که در آثار مشترکات عمومی نزد حقوق‌دانان ذکر شد، اصل بر عدم انتقال مشترکات عمومی توسط دولت است. **دولت نمی‌تواند مشترکات عمومی را انتقال دهد، مگر اینکه قانون خاصی آن را اجازه دهد، زیرا امکان انتقال به اشخاص با قابل تملک نبودن آنها منافات دارد.** حال اجازه در بهره‌برداری از منابع آب را قانون‌گذار در صلاحیت انحصاری وزارت نیرو دانسته است که نه تنها اجازه توسط دستگاه‌های دیگر را نهی نموده، بلکه عدم اجازه صدور مجوز بهره‌برداری توسط قوای دیگر به ویژه قضاییه را به طریق اولی نفی می‌نماید، چرا که این امر با اصل تفکیک قوا هم متعارض است. موضوعی که در مبحث قبلی بیان شد. از مفهوم مخالف ماده ۲۱ قانون توزیع عادلانه آب در صلاحیت انحصاری وزارت نیرو در صدور اجازه بهره‌برداری، می‌توان صلاحیت عدم صدور اجازه بهره‌برداری را هم استنباط نمود. در خصوص رجوع از اجازه صادره یا لغو و بلا اثر نمودن آن و یا حتی ابطال پروانه بهره‌برداری صادره، حرف و حدیث بسیار است. بر اساس تجربه نگارنده این یادداشت، بعضی از قضات و وکلای موضوع را خارج از صلاحیت وزارت نیرو می‌دانند و معتقدند که کلاً در صلاحیت دادگاه است و بعضی هم معتقدند که لغو و بلا اثر نمودن پروانه صادره در صلاحیت وزارت نیرو، اما ابطال آن در صلاحیت دادگاه است. اما در حقیقت وقتی به آثار هر یک از این اصطلاحات توجه شود، مشخص می‌شود که در آثار هیچ تفاوتی بین آنها نیست، پس تفکیک آنها در صلاحیت، کاری عبث و بیهوده است. در حقیقت اصلاً موضوعی تحت عنوان لغو و بلا اثر شدن به عنوان یک تأسیس حقوقی وجود ندارد. اعمال حقوقی یا صحیح است و یا باطل و یا غیر نافذ که با اجازه صحیح و با رد باطل می‌شود. البته با ورود به جزئیات، موضوعات دیگری شامل فسخ که از اصول اعمال حقوقی صحیح است، یا انفساخ، یا قابل ابطال هم وجود دارد که در این یادداشت مورد نظر نیست. اما با نگاهی به قواعد عمومی اعمال حقوقی، می‌توان پی به این نکته برد که رجوع از اجازه صادره و یا لغو و بلا اثر نمودن و یا ابطال پروانه بهره‌برداری صادره، همه به یک معنی می‌تواند به کار برده شود. در واقع در آثار، تمام این اصطلاحات از یک معنی برخوردار است که همان ابطال می‌باشد. بعد از بیان موارد بالا، باید به موضوع اصلی یعنی شناسایی مرجع صالح این عمل پرداخت. اگر چه به صراحت مرجع صالح این عمل در قانون مشخص نشده، اما از قوانین عام و یا قواعد عمومی به راحتی می‌توان پاسخ این موضوع را دریافت. ماده ۱۲۰ قانون مدنی در مقام بیان قاعده، موضوع جالبی را بیان می‌دارد: «اگر صاحب دیوار به همسایه اذن دهد که به روی دیوار او سر تیر بگذارد یا روی آن بنا کند، هر وقت بخواهد می‌تواند از اذن خود رجوع کند». قاعده‌ای که از مفاد این ماده استخراج می‌شود، این است که رجوع از اجازه در صلاحیت عام صاحب اجازه است. به صورت منطقی هم این قاعده استخراج می‌شود. به حق، کسی می‌تواند از اجازه رجوع کند که آن را ایجاد کرده است. کسی که به

لحاظ قانونی می‌توانسته اجازه دهد، می‌تواند از آن رجوع نماید. قاعدتاً کسی که حق ایجاد اجازه‌ای را به لحاظ قانونی نداشته است و اجازه‌ای ایجاد ننموده است، چگونه می‌تواند از آن رجوع نماید؟ البته هر چند این اجازه رجوع از اجازه توسط ماده ۱۳۲ قانون مدنی محدود شده و تخصیص خورده است، آنجا که مقرر می‌دارد: «کسی نمی‌تواند در ملک خود تصرفی کند که مستلزم تضرر همسایه شود، مگر تصرفی که به قدر متعارف و برای رفع حاجت یا دفع ضرری از خود باشد»، اما این امر صلاحیت صاحب اجازه را در رجوع از اجازه از بین نمی‌برد. همانطور که قبلاً هم بیان شد، چنانچه مرجع صالح رجوع از اجازه به مرجعی دیگر سپرده شود، نه تنها خلاف قاعده و منطق عمل نشده، بلکه ممکن است با مخالفت اصل تفکیک قوا هم مواجه شود.

در قراردادهای و عقود اذنی هم گفته شده که این عقود قابل رجوع از طرف هر یک از طرفین است. با قبول اینکه پروانه بهره‌برداری یک نوع قرارداد است، مجوز صادره بهره‌برداری هم می‌تواند از آن قاعده پیروی کرده، چه وزارت نیرو و چه بهره‌بردار می‌تواند از آن رجوع نماید. به همین دلیل است که ماده ۱۶ قانون توزیع عادلانه آب در صورت اعراض مالک یا بهره‌بردار اول می‌بایست او را مکلف به احیا و بهره‌برداری نموده و در مرحله بعد به احیا توسط وزارت نیرو و یا اجازه صدور اجازه بهره‌برداری جدید در حرم آن رای داده است و معرض هیچ گونه مسوولیتی ندارد.

گفته شد که رجوع از اجازه صادره و ابطال مجوز در آثار، موافق هم هستند و به این دلیل می‌توان هر یک را به جای دیگری استفاده نمود؛ اما به دلایلی شاید این موضوع مورد مخالفت بعضی از حقوق‌دانان قرار گیرد. دلیل آن‌ها هم این می‌تواند باشد که ابطال قرارداد اثر قهقرایی داشته که نفس پروانه بهره‌برداری صادره و بهره‌برداری تدریجی از منابع آب با این اثر مخالف است. این مسأله را هم با استفاده از قواعد عمومی می‌توان پاسخ داد. قانون‌گذار در قانون مدنی و در مبحث اجاره، قاعده‌ای را بیان نموده که شاید کمی مورد غفلت قرار گرفته است. ماده ۴۹۶ قانون مدنی در مقام قاعده بیان می‌دارد: «عقد اجاره به واسطه تلف شدن عین مستاجر از تاریخ تلف باطل می‌شود...». قانون‌گذار اثر قهقرایی باطل را می‌دانسته، اما با این حال در عقد اجاره در حالی که مدتی از آن گذشته، آن را قابل ابطال دانسته، در حالی که می‌داند استفاده از منافع مورد اجاره تا تاریخ تلف قابل بازگشت نیست. این ابطال را قانون‌گذار به دلیل استمرار بودن قرارداد و نه آنی بودن آن، قابل اعمال دانسته و چون ذات عقد اجاره استمراری بودن آن است، در این مبحث به بیان آن پرداخته است. پس می‌توان اثر قهقرایی باطل را در مورد قراردادهای مستمر ندیده گرفت و حکم بر آن داد (کاتوزیان، ۱۳۷۸).

حال با توجه به این که اجرای پروانه بهره‌برداری از آب به عنوان یک قرارداد در طول زمان امکان‌پذیر است، این مورد را هم طبق قاعده می‌بایست در صلاحیت انحصاری وزارت نیرو دانست. به

لحاظ مدیریت بهتر بر منابع آب هم همانطور که اجازه در استفاده از منابع آبی در اختیار وزارت نیرو است، بهتر است عدم اجازه و یا رجوع از اجازه هم در اختیار همان مرجع باشد.

۳- سومین اثر حقوقی که می‌توان در مورد مشترکات عمومی از قانون توزیع عادلانه آب دریافت نمود، **معافیت از بعضی هزینه‌ها، مخصوصاً هزینه دادرسی** است. قانون‌گذار در ماده ۳۲ قانون توزیع عادلانه آب، شرکت‌های آب منطقه‌ای را از پرداخت حق‌الثبت و هزینه دادرسی معاف نموده است. محرز است که قانون‌گذار از باب قاعده احسان این معافیت را در نظر نگرفته، بلکه با کمی تأمل می‌توان نتیجه گرفت که این دستور می‌تواند یک قاعده باشد. با توجه به تعریف مشترکات عمومی در قانون به عنوان مال غیر قابل تملک، و اعمال مدیریت دستگاه‌های دولتی به عنوان نماینده عموم در توزیع عادلانه آب، منطقاً نمی‌تواند همراه با هزینه باشد. چطور می‌توان از دستگاهی که در خصوص یک مال عمومی و از طرف عموم در حال خدمتگزاری است و لازم است اقدامی انجام دهد، انتظار پرداخت هزینه داشت، در حالی که خدمتگزار را باید مستحق دریافت حق‌الزحمه دانست. هر چند این موضوع را غیر از توجیه قانونی و منطقی، می‌توان از راه اصولی هم به اثبات رساند. قانون آیین دادرسی مدنی مصوب سال ۱۳۷۹ به عنوان قانون عام موخر به لحاظ اصولی نمی‌تواند ناسخ قانون توزیع عادلانه آب به عنوان یک قانون خاص مقدم باشد. پس با تمام مسائل پیش گفته، می‌توان قاعده بودن معافیت از هزینه‌ها را از قانون استنباط کرد و آن را به عنوان یک قاعده عمومی پذیرفت.

هر چند شاید با دقت بیشتر در قوانین و قواعد، آثار بیشتری از مشترکات عمومی را کشف و استخراج نمود، اما در حال حاضر با در نظر گرفتن مفهوم حقوقی مشترکات عمومی، آثار آن را می‌توان چنین برشمرد: غیر قابل تملک بودن، غیر قابل انتقال بودن، غیر قابل توقیف بودن، غیر قابل قضاوت شدن، و معافیت از هزینه دادرسی اقدامات دولت در خصوص این نوع مال.

مالکیت اشخاص در قانون

اینکه آب از مشترکات عمومی است در قوانین بررسی و آثار حقوقی آن ارائه شد. اما باید دانست کدام آب مشترکات عمومی است؟ زیرا در قانون توزیع عادلانه آب نشانه‌هایی مشاهده می‌شود که آب را در مالکیت اشخاص هم دانسته است. ماده ۷ قانون توزیع عادلانه آب مقرر می‌دارد: «در مورد چاه‌هایی که مقدار آبدهی مجاز آن بیش از میزان مصرف معقول صاحبان چاه باشد و مازاد آب چاه با ارائه شواهد و قرائن برای امور کشاورزی، صنعتی و شهری مصرف معقول داشته باشد، وزارت نیرو می‌تواند برای کلیه مصرف‌کنندگان اجازه مصرف صادر نماید و قیمت عادلانه آب به صاحب چاه پرداخت شود.» و یا مقررات ماده ۲۸ همان قانون

مقرر می‌دارد: «هیچکس حق ندارد آبی را که اجازه مصرف آن را دارد ... و همچنین حق انتقال پروانه صادره را ... نخواهد داشت مگر...» و باید دانست که انتقال یک حق، نشان از بالاترین درجه از مالکیت بر آن است، چرا که حتماً باید مالکیتی وجود داشته باشد تا بتوان آن را منتقل نمود.

از این مقررات می‌توان حق خصوصی و یا حتی مالکیت بر آب را توسط اشخاص دید که این امر با مشترکات عمومی بودن آب در تعارض است. اما منظور قانون‌گذار از مشترکات عمومی آب، منابع آبی بوده که در اختیار حکومت اسلامی است. منظور از آبی که در اختیار اشخاص و تحت سلطه مالکانه آنان قرار می‌گیرد، آبی است که توسط وزارت نیرو و در راستای اجرای مواد ۳ و ۲۱ قانون توزیع عادلانه آب با صدور پروانه‌های بهره‌برداری، بعد از بررسی‌های کارشناسانه فنی و حقوقی در اختیار اشخاص قرار می‌گیرد. این آب باید به مصرف آنچه که وزارت نیرو به آن تخصیص داده برسد و همچنین باید در زمینی که پروانه برای آن صادر شده است به مصرف برسد (ماده ۲۸ قانون توزیع عادلانه آب). وزارت نیرو می‌تواند در صورت ابطال پروانه این آب را به مصارف دیگر به بهره‌برداری برساند. در واقع وزارت نیرو در صورتی که مالک آن نتوانسته به مصرف برساند، می‌تواند در جایی دیگر به مصرف برساند (ماده ۲۴ قانون توزیع عادلانه آب).

پس آبی را که وزارت نیرو در اختیار اشخاص قرار می‌دهد تا آنجایی که مخالف مفاد پروانه بهره‌برداری صادره نباشد، در مالکیت اشخاص قرار می‌گیرد. حال باید دید در اختیار گذاشتن آب باید به چه صورت باشد. آیا وزارت نیرو می‌تواند به طور دائم حق مصرف مقداری از آب را به اشخاص بسپارد؟ آن مقدار آب مصرفی باید در قالب دبی لحظه‌ای باشد و یا حجمی از منابع آب؟ استعداد آبدهی چاه مورد بهره‌برداری در تعیین میزان بهره‌برداری، چه اندازه می‌تواند ملاک قرار گیرد؟ در تعیین میزان بعدی بهره‌برداری چه پارامترهایی باید مورد نظر باشد؟ دبی مصرفی قبلی یا میزان موجودی آب در آبخوان‌ها؟ در اجرای جیره‌بندی به استناد بند (ز) ماده ۲۹ قانون توزیع عادلانه آب این جیره‌بندی باید بر دبی اعمال شود و یا بر حجم بهره‌برداری؟ آیا توزیع عادلانه آب میان چاه‌های وسط دشت و چاه‌های حاشیه دشت به لحاظ فنی برقرار است؟ اگر در آثار مالکیت اشخاص بر آب دقت شود، می‌توان به این پرسش‌ها پاسخ داد.

آثار مالکیت اشخاص بر آب در قانون

۱- اولین و مهم‌ترین آثار حق مالکیت اشخاص بر آب، موقتی بودن آن است. با توجه به اینکه اصل بر غیر قابل انتقال بودن مشترکات عمومی است، اما به طور محدود دولت می‌تواند به موجب قانون خاص نسبت به انتقال آن اقدام نماید. پس لازم است این انتقال

موقتی، و محدود به زمان و مقدار مصرف باشد. اگر در مفهوم اجازه هم دقت شود، این اثر از آن هم قابل دریافت است. همچنان که گفتیم اجازه، قابل رجوع از طرف صاحب اجازه است، پس دائمی بودن آن با این حق منافات دارد. رجوع از اجازه می‌تواند مقید به زمان و یا مقدار مصرف باشد. پس با طی شدن زمان و یا مقدار آن مال، آن اجازه تمام شده و مورد پروانه انجام شده است، پس استفاده مجدد از آن مال نیاز به اجازه جدید دارد. مالکیت بر مشترکات عمومی با موقتی بودن آن در زمان و مقدار مصرف محدود شده که این امر با وسایل حقوقی و منطقی پاسخ داده شد. ۲- دومین اثر مالکیت بر مشترکات عمومی، حق انتقال آن است. حق انتقال از آثار مستقیم مالکیت است و همانطور که قبلاً هم گفته شد از ماده ۷ و ۲۸ قانون توزیع عادلانه آب نمی‌توان استنباط کرد. اما بدیهی است آن مقدار آبی که اجازه بهره‌برداری آن توسط مرجع صلاحیت‌دار صادر شده، قابلیت انتقال را دارد، که در این مورد حتماً مراد حجم مورد اجازه است نه دبی لحظه‌ای آن. بدیهی است که این انتقال مالکیت می‌تواند توسط خود شخص دارای حق انجام گردد که به طور صریح در مواد ۷ و ۲۸ قانون توزیع عادلانه آب ذکر شده و یا توسط دولت به عنوان نماینده عموم در بهره‌برداری از منابع آب، که در بندهای (و) و (ز) ماده ۲۴ قانون توزیع عادلانه آب بیان شده، انجام شود.

۳- اثر بعدی که از مالکیت ناشی می‌شود، اخذ خسارت به دلیل جلوگیری از بهره‌برداری از مورد مالکیت است که به انحاء مختلف در مواد ۱۴ و ۴۳ و ۴۴ قانون توزیع عادلانه آب بیان شده است. علاوه بر مواردی که در قانون توزیع عادلانه آب بیان شده، بدیهی است که چنانچه به هر دلیلی آن چنان که در ماده ۲۴ قانون اعلام شده، جلوگیری از بهره‌برداری از آب مورد اجازه، توسط دولت انجام شود می‌بایست نه تنها آب بهای اخذ شده عودت گردد، بلکه خسارت آن هم باید به نحوی برآورد و پرداخت گردد.

در حد توان به آثار حقوقی مالکیت اشخاص بر آب اشاره شد که حتماً با دقت بیشتر موارد دیگری را هم می‌توان کشف نمود.

موارد ذکر شده به عنوان مقدمه‌ای برای تبیین مدیریت صحیح و مبتنی بر قانون بیان شد. حال با توجه به مفاهیم حقوقی مذکور و تعاریف آن، مدیریت بر آب و منابع آبی و توزیع عادلانه آن با چالش مواجه شده است. بسیاری از مقررات قانون غیر قابل استفاده مانده، در حالی که مهم‌ترین موضوع در مدیریت بر آب است. تعارض دیدگاه‌های شدیدی بین دولت و بهره‌برداران درخصوص مالکیت بر آب و حقوق مکسبه بر آن وجود دارد. بحران کمبود آب و نابودی منابع آبی به طور محسوس تشدید می‌شود. توزیع عادلانه آب به شدت تضعیف یافته به نحوی که کارشناسان و مدیران وزارت نیرو هم آن را به عنوان موضوعی لاینحل اعلام می‌نمایند. قضات دادگاه‌ها در صدور رأی مناسب به علت ابهام در حقوق دولت و مردم بر منابع آب، دچار سردرگمی شده و یا بعضاً آرای متفاوت و یا

حتی مضر به آب به عنوان یکی از اموال عمومی را توسط دستگاه قضایی مشاهده می‌شود.

حل این مسائل مستلزم درک صحیح از قانون با لحاظ تعاریف و شناخت هر یک از مفاهیم حقوقی و شناخت آثار آن است. از این پس به موضوع مدیریت بر آب و صلاحیت ذاتی دولت بر اجرای قانون توزیع عادلانه آب با توجه به موارد پیش گفته، پرداخته می‌شود. در این خصوص شایسته بود ماده ۱ قانون توزیع عادلانه آب بدین صورت نگارش می‌یافت. «بر اساس اصل (۴۵) قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، آبهای دریاها و آبهای جاری در رودها و انهار طبیعی و دره‌ها و هر مسیر طبیعی دیگر اعم از سطحی و زیرزمینی، سیلاب‌های و فاضلاب‌ها و زه‌آبها و دریاچه‌های و مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی و چشمه‌سارها و آب‌های معدنی و منابع آب‌های زیرزمینی از مشترکات بوده و در اختیار حکومت اسلامی است، مگر آنچه را که وزارت نیرو طبق مجوز صادره بعد از مطالعات لازم در اختیار اشخاص قرار داده است که طبق مصالح عامه از آنها بهره‌برداری می‌شود».

مدیریت بر آب در قانون توزیع عادلانه آب

در مدیریت بر آب، قانون توزیع عادلانه آب مقررات بسیاری دارد که می‌توان با اجرای آن، بسیاری از مشکلات را حل نمود. اما آن مقرراتی که مورد نیاز این بحث است به طور محدود بیان می‌شود تا آنچه که مورد نظر این مقاله است، تأمین گردد.

قانون‌گذار در قانون توزیع عادلانه آب تخصیص و اجازه بهره‌برداری از منابع آب را صرفاً به صورت حجمی مد نظر داشته است. بر خلاف مفاد آیین‌نامه اجرایی فصل دوم قانون که اجازه بهره‌برداری به صورت دبی لحظه‌ای مد نظر قرار گرفته است. آیین‌نامه اجرایی مذکور، تعیین دبی آبی یک چاه را سابقه آبدی چاه قبلی دانسته که این بر خلاف قانون توزیع عادلانه آب است، زیرا در قانون آبدی پروانه بهره‌برداری بعدی را میزان موجودی آب در آبخوان‌ها دانسته است. مدعای این کلام را با دلایل زیر اثبات می‌نماییم.

اولاً: جیره‌بندی که در ماده ۲۹ قانون ذکر شده و از مواردی است که وزارت نیرو در تأمین آب موظف است انجام دهد. جیره‌بندی فقط در صورتی قابل اجراست که تخصیص و اجازه بهره‌برداری از آب به صورت حجمی صورت گیرد. یعنی ملاک بهره‌برداری از منابع آب حجم باشد نه دبی لحظه‌ای.

ثانیاً: جابجایی تخصیص مندرج در پروانه‌ای و تخصیص آن به پروانه دیگر که مورد نظر قانون‌گذار در بندهای (و) و (ز) ماده ۲۴ بوده حجم است نه دبی لحظه‌ای.

ثالثاً: به استناد ماده ۷ قانون، منظور از انتقال آب مازاد چاه، انتقال حجمی از آب بوده نه دبی لحظه‌ای آن.

رابعاً: مالکیت بر آب توسط اشخاص فقط می‌تواند بر حجمی از آب

باشد نه بر دبی لحظه‌ای آن.

خامساً: صدور اجازه بهره‌برداری بر مبنای دبی لحظه‌ای با اصل مشترکات بودن آب منافات دارد، چرا که دبی لحظه‌ای می‌تواند استمرار داشته باشد، حال آنکه مشترکات قابلیت تملک نداشته مگر به مقداری که دولت و یا مرجع صلاحیت‌دار برای شخصی مقرر می‌دارد.

سادساً: عدالت در توزیع آب با حجمی قرار دادن پروانه بهتر رعایت می‌شود، چرا که چاه‌های وسط دشت که از آبدهی بهتری برخوردارند هم می‌بایست مانند چاه‌های حاشیه دشت به طور یکسان مورد جیره‌بندی و یا تعدیل براساس موجودی آب در آبخوان‌ها، قرار گیرند.

در حال حاضر با وجود مواد ۱۱ و ۱۳ آیین‌نامه اجرایی فصل دوم قانون توزیع عادلانه آب، پروانه‌های بهره‌برداری بر اساس دبی لحظه‌ای صادر می‌گردد و آبدهی لحظه‌ای یک چاه بدون در نظر گرفتن میزان ورودی آب به آبخوان‌ها ملاک صدور پروانه بهره‌برداری است، که این امر به نابودی آبخوان‌ها و منابع آبی منجر خواهد شد. در صورتی که با مواردی که در بالا ذکر شد مشخص شد که نه تنها این امر مخالف مفاد مقررات قانون توزیع عادلانه آب است، بلکه مضر به حال آبخوان هم هست. در صورت رعایت قانون و حجمی قرار دادن پروانه‌های بهره‌برداری صادره، می‌توان بسیاری از مقررات قانون را رعایت نمود و از تصویب بسیاری قوانین موازی دیگر، جلوگیری کرد. با صدور پروانه بهره‌برداری به طور حجمی و متناسب با میزان ورودی آب به آبخوان‌ها (با مطالعه و پایش آنها)، می‌توان آب را در آبخوان‌ها متعادل نگه داشت. در این صورت نیازی به مصوبات تعدیل و یا جیره‌بندی آب توسط دولت که می‌تواند در اجرا مورد تنش قرار گیرد، نیست. چاه‌های وسط دشت هم یکسان از تعدیل برخوردار می‌شوند که این امر به حال چاه‌های حاشیه دشت بهتر است و عدالت توزیعی بهتر رعایت می‌شود.

نحوه اجرا در صدور پروانه بهره‌برداری

حال با در نظر گرفتن شرایط بالا، صدور پروانه بهره‌برداری و تعیین میزان آب بهره‌برداری که باید تابعی از ورود آب به آبخوان‌ها و یا منابع آبی باشد، بدین صورت باید انجام شود که بعد از مطالعه و پایش آبخوان‌ها مبنی بر میزان ورودی آب به آبخوان‌های دشت، پروانه‌های بهره‌برداری متناسب با آن صادر گردد. یعنی چنانچه ورودی آب نسبت به سال قبل کاهش داشت، با همان درصد کاهش، پروانه‌های بهره‌برداری آن سال صادر شود. در اجرای این امر چاره‌ای نخواهد بود، جز اینکه پروانه به صورت حجمی و هر سال متناسب با حجم ورودی آب، صادر گردد. پس از تعیین این حجم می‌توان آن را بر مقدار ساعت کارکرد دشت تقسیم و دبی لحظه‌ای آن را تعیین نمود. موارد دیگر در پروانه بهره‌برداری مانند هیدرومدول

دشت و یا الگوی مصرف کشت در میزان حجم بهره‌برداری تأثیر خواهد داشت، اما میزان عمق چاه و یا حریم چاه‌ها باید بر اساس دبی لحظه‌ای که پس از تقسیم حجم بهره‌برداری بر ساعت کارکرد به دست می‌آید، تعیین گردد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این یادداشت به دنبال مدیریت بهتر بر منابع آبی با اجرای درست قوانین راجع به آن است. با تفسیر درست قوانین، عدم اجازه دخالت دیگر دستگاه‌های حاکمیتی و سپردن این امر به آن دستگاه‌ها، امری که متأسفانه در قانون تعیین تکلیف چاه‌های آب فاقد پروانه بهره‌برداری مصوب سال ۸۹ اتفاق افتاده است، به سادگی کشف می‌شود، که به قول معروف «کار را باید به کاردان سپرد».

طبق موارد پیش گفته، تبصره ۵ ماده واحده قانون تعیین تکلیف چاه‌های آب فاقد پروانه بهره‌برداری، نه تنها خلاف قاعده بلکه خلاف اصول قانون اساسی است. هم به لحاظ نوع مال که به استناد اصل ۴۵ قانون اساسی مشترکات عمومی بوده و غیرقابل قضاوت بودن آن را اثبات نمودیم و هم به لحاظ صلاحیت‌های ذاتی دستگاه‌ها که با اصل تفکیک قوا مخالفت صریح دارد و قانون خلاف اصول قانون اساسی محکوم به ابطال است. با این وصف ضرورت الغاء و نسخ هر چه سریع‌تر این تبصره احساس می‌گردد.

موضوع دیگری که این یادداشت به آن پرداخته، نحوه مدیریت بر صدور پروانه بهره‌برداری توسط وزارت نیرو است. قطعاً برای مدیریت بر منابع آبی صدور پروانه بهره‌برداری براساس میزان حجم بهره‌برداری مقید به زمان بهره‌برداری و متأثر از میزان آورد آب به منابع آبی بر اساس مطالعات انجام شده، بهترین شیوه مدیریت است که متأسفانه مغفول مانده و اجرا نمی‌گردد. لازم است هرچه سریع‌تر نوع مدیریت بر این امر را تغییر داده تا بتوان امیدی بر نگهداشتن آبخوان‌ها داشت که به قول معروف **جلوی ضرر را هر وقت بگیری منفعت است.**

منابع

شمس، عبدالله. (۱۳۸۴)، آیین دادرسی مدنی، جلد نخست، چاپ نهم، انتشارات دراک، تهران.
کاتوزیان، ناصر. (۱۳۸۱). دوره مقدماتی حقوق مدنی: اموال و مالکیت، انتشارات میزان، تهران.
کاتوزیان، ناصر. (۱۳۷۸). دوره عقود معین (حقوق مدنی: معاملات معوض - عقود تملیکی - بیع - معاوضه - اجاره - قرض) جلد اول، چاپ یازدهم، شرکت سهامی انتشار، تهران.
شهیدی، مهدی. (۱۳۸۸). اصول قراردادهای و تعهدات. انتشارات مجد، تهران.

مقدمه

دیدگاه چندرشته‌ای از ریاضی، آمار و علوم مهندسی گرفته تا علوم اجتماعی، پزشکی و روانشناسی دارد. بر اساس مطالعات انجام شده درک عمومی از پرخطرترین ریسک‌ها هم در جوامع ابتدایی و هم در جوامع پیشرفته با واقعیت‌های فنی، فیزیکی و ریاضی هم‌خوانی ندارد. مطلب فوق به این معنا است که عموم مردم و حتی بسیاری از متخصصان، نمی‌توانند پرخطرترین مخاطرات را شناسایی کنند. مثلاً در برخی قبایلی که در آفریقا زندگی می‌کنند، بیشترین وحشت از مرگ در اثر صاعقه است، در حالیکه احتمال مرگ در اثر صاعقه کمتر از ۱ در میلیون در سال است و خطرات بسیار بزرگتری این قبایل را تهدید می‌کند.

به صورت بسیار ساده برای مدیریت ریسک عمومی اقدامات زیر را باید انجام داد:

۱. برآورد و تحلیل ریسک‌های مختلف (ریسک = احتمال × عواقب)

۲. تعیین ریسک‌های قابل قبول اجتماعی

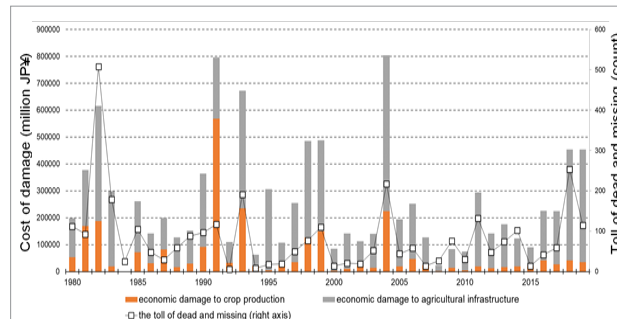
۳. تعیین راهکارها و هزینه‌های کاهش ریسک‌های غیرقابل قبول
براساس تحقیقات دانشمندان در محدوده احتمال وقوع ۱ واقعه در صد هزار سال تا ۱ میلیون سال، وقایعی می‌توانند روی دهند که بخشی یا کل تمدن بشری را نابود کنند (بخش تحت تأثیر، یک یا چند قاره خواهد بود و تلفات جانی می‌تواند چند صد میلیون نفر باشد):
■ احتمال برخورد شهاب‌سنگ‌هایی به قطر نیم و یک کیلومتر به زمین به ترتیب ۱ در ۲۵۰ هزار سال و ۱ در ۵۰۰ هزار سال برآورده شده است. برای مقایسه، انرژی شهاب‌سنگی ۶۰ متری که در سال ۱۹۰۸ در سیبری روسیه به زمین برخورد کرد، ۱۰۰۰ برابر انرژی بمب اتمی هیروشیما برآورد شده است. در این واقعه ۲۰۰۰ کیلومتر مربع جنگل یعنی ۴ برابر مساحت تهران و ۵ درصد مساحت کشور سوئیس با خاک یکسان شد. قدرت تخریبی شهاب‌سنگی به قطر نیم تا یک کیلومتر چند صد هزار تا چند میلیون برابر انرژی بمب اتمی هیروشیما خواهد بود.

■ براساس تحقیقات انجام شده، برخورد شهاب‌سنگ عظیمی به قاره‌ی آمریکا در حدود ۵۰۰ هزار سال پیش موجب انقراض پستانداران بزرگ در این قاره گردید.

■ در جریان آتشفشان عظیم پلستون در ۶۴۰,۰۰۰ سال پیش، مواد آتشفشانی بیشتر مساحت آمریکا و شمال غربی مکزیک را در بر گرفت. آتشفشانی در این ابعاد می‌تواند موجب مرگ صدها میلیون نفر یا حتی میلیاردها نفر شود.

■ در سال ۱۷۸۳ میلادی فوران ۳ میلیارد متر مکعب مواد آتشفشانی، یک چهارم جمعیت ایسلند را به کام مرگ کشید و دمای زمستانی آمریکای تازه استقلال‌یافته را ۹ درجه‌ی سانتیگراد افزایش داد!
نمونه‌هایی از وقایع با دوره‌ی بازگشت صدسال تا چند هزار سال در زیر آورده شده است:

در دهه‌های اخیر ریسک سیلاب‌ها هم در سطح ملی و هم در سطح بین‌المللی روند افزایشی داشته است و پیش‌بینی می‌شود با افزایش تواتر وقوع سیلاب‌ها در اثر تغییر اقلیم، این روند افزایشی در دهه‌های آینده ادامه یابد. تجارب تندسیلاب‌های مرگبار کشور که در مردادماه ۱۴۰۱ در استهبان و امامزاده داوود، در فروردین ۱۳۹۸ در دروازه قرآن شیراز و در مردادماه ۱۳۶۶ در گلاب‌دره- دربند واقع شدند، می‌تواند شرایط لازم برای جلب افکار عمومی و مسئولان را به بحث راهبردی ایمنی عمومی فراهم کند. درست بعد از سیلاب‌های مردادماه ایران، بارش‌های مهیبی با شدت حداکثر ۱۴۰ میلی‌متر بر ساعت در سئول پایتخت کره جنوبی روی داد و با وجود جمعیت ۱۰ میلیون نفر و آبرگرفتنی مناطق حساس از جمله ایستگاه‌های مترو، تعداد تلفات جانی کمتر از ۱۰ درصد تلفات تندسیلاب‌های مرداد ۱۴۰۱ ایران بود. در ژاپن هم با شرایط هواشناسی، زمین‌شناسی، توپوگرافی بسیار نامساعدتر از ایران و با تراکم جمعیتی بسیار زیاد در سیلاب‌دشته‌ها، متوسط تلفات سالیانه سیلاب و زمین‌لغزش (حدود ۷۸ نفر) از تعداد تلفات سیلاب‌های مرداد ایران کمتر است (شکل ۱).



شکل ۱- آمار تلفات و خسارات سیلاب‌ها و چرخندهای حاره‌ای

(توفندها) کشور ژاپن از ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰

با توجه به موارد فوق و آمار تلفات زلزله‌ها و سیلاب‌های بزرگ ۷۰ سال اخیر، کاملاً مشخص است که کارهای بسیار زیادی در رابطه با کاهش کاستی‌های راهبردهای ایمنی عمومی از جمله مدیریت سیلاب در کشور باید انجام گردد. تجربه تخریب مجموعه متروپل آبادان در سال ۱۴۰۱ به وضوح حساسیت افکار عمومی به کم‌توجهی در رابطه با ایمنی عمومی را مشخص ساخت.

مدیریت ریسک بلایای طبیعی

مدیریت ریسک از پیچیده‌ترین مباحث فنی است که نیاز به

■ اسکاتلند- ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد: زمین لغزش عظیمی در ۷۰۰۰ سال پیش موجب ایجاد امواج عظیم سونامی گردید که قسمت اعظم اسکاتلند امروزی را زیر آب برد. این واقعه را شاید بتوان به عنوان نماد يك واقعه با دوره بازگشت چند هزار ساله ارائه نمود.

■ یونان- قرن چهارم میلادی: در ۲۱ جولای ۳۶۵ میلادی، زلزله‌ای به بزرگی حداقل ۸ ریشتر در نزدیکی کرت یونان روی داد. تلفات انسانی سونامی ناشی از این زلزله ۳۰۰ تا ۳۵۰ هزار نفر برآورد شده است.

■ یونان- قرن هفدهم: در بین سال‌های ۱۶۰۰ تا ۱۶۵۰ میلادی سونامی حاصل از آتشفشان در جزیره سنتورینی یونان، امواج سونامی به ارتفاع ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر ایجاد کرد. این امواج عظیم سواحل شمالی کرت را درنوردید و تمامی کشتی‌ها و قایق‌های آن سواحل را نابود کرد.

■ لیسبون ۱۷۵۵: در ماه نوامبر ۱۷۵۵ زلزله، آتش‌سوزی و سونامی عظیمی نزدیک به ۱۰۰۰۰۰ نفر از اهالی لیسبون پرتغال را به کام مرگ کشید (نزدیک به يك سوم جمعیت شهر). مردم پس از زلزله به منظور دوری از آتش‌سوزی‌های ناشی از آن به مناطق ساحلی روی آوردند. قبل از رسیدن موج‌های عظیم سونامی، آب دریا عقب‌نشینی کرده و کشتی‌های غرق‌شده در کف دریا را نمایان نمود. بسیاری از حیوانات خطر را حس نموده و به مناطق بلندتر گریخته بودند ولی افراد زیادی در اثر امواج سونامی غرق شدند. این واقعه موجب ایجاد یأس فلسفی عمیقی در اروپا در نیمه دوم قرن هیجدهم گردید.

■ کراکوتا اندونزی ۱۸۸۳: در ماه اوت ۱۸۸۳ فعالیت‌های آتشفشانی شدید در جزیره کراکوتا اندونزی موجب زمین‌لغزش‌های عظیم گردید و امواج سونامی به ارتفاع بیش از ۴۰ متر را ایجاد کرد. امواج سونامی در تمامی اقیانوس هند، اقیانوس آرام، سواحل غربی آمریکای شمالی و جنوبی حتی سواحل انگلیس مشاهده شد. در سواحل جاوا و سوماترای اندونزی امواج، چندین کیلومتر در خشکی پیشروی کردند. تلفات ناشی از این سونامی ۴۰ تا ۱۲۰ هزار نفر برآورد شده است.

■ سونامی ۱۹۵۸ آلسکا: در سال ۱۹۵۸ يك سونامی منطقه‌ای ناشی از زمین‌لغزش‌های عظیم، امواجی به ارتفاع ۵۰۰ متر (پانصد متر!) ایجاد نمود. خوشبختانه این سونامی محدود به يك منطقه غیرمسکونی بود.

■ شیلی ۱۹۶۰: در ماه می ۱۹۶۰، بزرگ‌ترین زلزله ثبت شده جهان در نزدیکی سواحل شیلی روی داد و امواجی به ارتفاع ۲۵ متر در سراسر اقیانوس آرام ایجاد کرد. سونامی ۲۲ ساعت بعد از زلزله به سواحل ژاپن رسید. تلفات جانی این زلزله و سونامی حدود ۲۰۰۰ نفر برآورد شده است.

■ ژاپن ۲۰۱۱: در مارس ۲۰۱۱، زلزله‌ای به بزرگی ۹ ریشتر در ۷۰ کیلومتری سواحل ژاپن موجب ایجاد سونامی بزرگی گردید. تلفات انسانی نزدیک به ۲۰ هزار نفر و خسارت مالی ۳۶۰ میلیارد دلاری برای این سونامی گزارش شده است.

با توجه به موارد ارائه شده، در رابطه با ایمنی عمومی باید افق چند هزار ساله یا حتی بیشتر داشت، ولی با توجه به دوره بازگشت طولانی وقایع نادر طبیعی، معمولاً افکار عموماً حساسیت لازم برای پرخطرترین وقایع را در بیشتر موارد ندارد. برای مثال در ۱۶ سال گذشته سه زلزله فاجعه‌بار منجر به تلفات بیش از یکصد هزار نفر در دنیا شده است:

- زلزله هائیتی در سال ۲۰۱۰ با ۲۳۰ هزار نفر کشته و ۳۰۰ هزار نفر زخمی

- زلزله ۲۰۰۵ کشمیر پاکستان با نزدیک به ۱۰۰ هزار نفر کشته و ۴ میلیون نفر بی‌خانمان

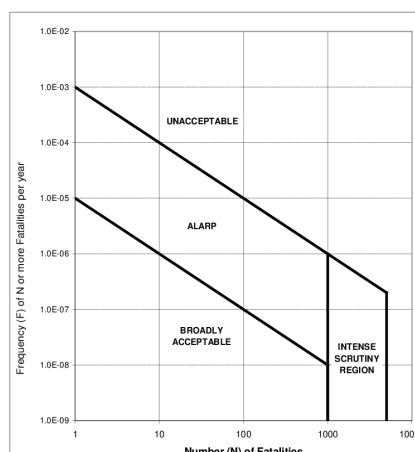
- سونامی اقیانوس هند در سال ۲۰۰۴ با ۲۸۰ هزار نفر کشته عمدتاً این بلایای بسیار فاجعه‌بار با فاصله زمانی طولانی در يك منطقه یا کشور روی می‌دهند و در نتیجه افکار عمومی تا زمان وقوع يك بلای طبیعی فاجعه‌بار و مهیب، حساسیت لازم در مورد خطرپذیری و نیاز به کاهش آسیب‌پذیری را ندارد. در این راستا کارشناسان باید ضمن ایجاد حساسیت لازم در مورد خطرپذیری (احتمال- عواقب- آسیب‌پذیری) برای جامعه، به تبیین راهبردها و راهکارهای لازم هم بپردازند.

در رابطه با حساسیت ایمنی عمومی می‌توان به تجربه انفجار انبارهای بندر بیروت در سال ۲۰۲۰ اشاره نمود. در این انفجار بیش از ۲۰۰ نفر کشته شدند، ۳۰۰ هزار نفر بی‌خانمان شدند و ۱۵ میلیارد دلار خسارت مالی ایجاد گردید. با توجه به شواهد موجود مشخص است که اصلاً خطرپذیری انبار آمونیم نیترات در بیروت در نظر گرفته نشده بود. برآورد می‌شود احتمال وقوع انفجار هولناک اخیر بیروت ۱ در چند ده سال بوده است که ۱۰۰۰ برابر بیشتر از استانداردهای جهانی است. در عین حال به نظر می‌رسد که برآورد بسیار تقریبی هم از عواقب انفجار یعنی چند صد کشته، بی‌خانمان شدن ۳۰۰ هزار نفر و خسارات مالی میلیارد دلاری در دست نبوده است. لازم به ذکر است که قیمت کل ۲۷۵۰ تن آمونیم نیترات که برای ۹ سال در بندر بیروت انبار شده ۱ تا ۲ میلیون دلار برآورد می‌شود. با توجه به موارد فوق مشخص است که نادیده گرفتن و سهل‌انگاری در مورد ریسک‌های اجتماعی در درازمدت به هیچ وجه قابل قبول نیست.

ریسک قابل قبول اجتماعی

ریسک قابل قبول اجتماعی در برخی کشورها و سازمان‌ها در نمودارهایی که موسوم به F/N هستند، ارائه می‌شود. در این نمودارها F احتمال تجمعی سناریوهایی که منجر به تلفات انسانی می‌شوند اعم از زلزله، تصادف قطار، شکست سد و غیره و N تعداد تلفات انسانی است. منحنی‌های F/N به این صورت تعریف می‌شوند که احتمال تلفات سالانه جانی به اندازه N نفر یا بیشتر در هر حادثه‌ای نباید از مقدار معینی که تابعی از N است، تجاوز کند. در

منحنی‌های F/N تعداد نفر مرگ و میر در حوادث با انواع مختلف به روشنی نشان داده شده و تطبیق چشمی حوادث مختلف از لحاظ احتمال تلفات جانی آسان است. به زبان ساده برای وقایعی با تلفات چند هزار نفری احتمالات ۱ در چند هزار سال تا صد هزار سال در نظر گرفته می‌شود. یک نمونه از منحنی‌های F/N در شکل (۲) ارائه شده است. بر اساس این منحنی احتمال قابل قبول برای حادثه‌ای با ۱۰۰ کشته در محدود ۱ واقعه در ۱۰۰ هزار سال تا ۱ واقعه در ۱۰ میلیون سال است. اگر تلفات بلایای طبیعی کشورمان در ۷۰ سال گذشته با استانداردهای F/N کشورهای پیشرفته مقایسه شود، فاصله‌ی زیادی وجود دارد و رسیدن به استانداردهای فوق، عزم ملی و تلاش و سرمایه‌گذاری عظیمی را می‌طلبد.



شکل ۲- یک نمونه از منحنی‌های F/N

درس‌هایی که باید از تندسیلاب‌های مردادماه ۱۴۰۱ گرفت

جمع‌بندی جامع تجارب تندسیلاب‌های مردادماه نیاز به مطالعات یک تیم چندرشته‌ای مستقل در یک دوره چند ماهه دارد؛ از طرف دیگر توجه به بلایای طبیعی به مرور زمان کاهش می‌یابد و در این چارچوب با اطلاعات موجود و با تکیه بر ۳۰ سال تجربه حرفه‌ای و تحقیقاتی در زمینه مدیریت سیلاب و ایمنی عمومی، می‌توان موارد کلیدی زیر را به صورت محتاطانه ارائه نمود:

- پیش‌نیازهای مدیریت اثربخش و کارآی تندسیلاب‌ها:

تندسیلاب‌ها از خطرناک‌ترین سیلاب‌ها محسوب می‌شود که در حوضه‌های کوچک کوهستانی به وقوع می‌پیوندند و مدت وقوع آن از زمان شروع بارندگی تا زمانی که سیلاب حرکت می‌کند و به اوج می‌رسد چند دقیقه یا چند ساعت است. برخلاف تصور، تندسیلاب‌های حوضه‌های کوچک مثل گلاب‌دره و دربند ممکن است تلفاتی بسیار بیشتر از یک رودخانه بزرگ مثل کارون و یا کرخه داشته باشند. برای مثال در تندسیلابی در عمان در کمتر از ۴۵ ثانیه وضعیت تفرجگاهی به شرایط بسیار بحرانی تبدیل شد. با توجه به

کم بودن زمان تمرکز تندسیلاب‌ها، پیش‌بینی و هشدار این سیلاب‌ها چالش‌آور است و نیاز به پیش‌بینی‌های هواشناسی خاص و مدل‌های هیدرولوژیکی دارد. مدیریت انسانی هم که باید در رابطه با این تندسیلاب‌ها کار کند، علاوه بر اشراف بر مدیریت بحران و تسلط بر منطقه، باید ابزار مناسب در اختیار داشته باشد. به‌طور خلاصه نیاز است توسعه‌یافتگی سازمانی و انسانی در دستور کار سازمان‌های مسئول قرار گیرد. در حال حاضر مدل‌هایی در آمریکا وجود دارد که بر روی اینترنت هر ۵ دقیقه به روز می‌شوند و تندسیلاب‌ها را پیش‌بینی می‌کند. اما متأسفانه در ایران در رابطه با این جنبه‌های پیش‌بینی و هشدار تندسیلاب‌ها و به‌طور کل روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب، سرمایه‌گذاری لازم صورت نگرفته است. در جریان تندسیلاب استهبان هشدار ساده یک موتورسوار، جان بسیاری را نجات داد. بنابراین با استفاده از سامانه‌های پیشرفته می‌توان از حداقل شدن تلفات این سیلاب‌ها اطمینان نمود.

- نیاز به طرح‌های عملیاتی شرایط اضطراری:

همانطوریکه اشاره شد پیش‌آگاهی‌ها برای کاهش اثرات بلایای طبیعی لازم است. علاوه بر پیش‌آگاهی، تدوین و به‌روزرسانی طرح‌های عملیاتی شرایط اضطراری هم الزامی است. در این طرح‌ها، تخصص، دانش، تجربه و زمان برای شرایط بحرانی ذخیره می‌شود. به‌طور مثال در مدیریت سیلاب یک شهر با بررسی یک پل بر روی رودخانه متوجه می‌شوند که گرفتگی آن ممکن است آن را تبدیل به گلوگاه کند و در نهایت سیلاب مناطقی را در بر بگیرد. بنابراین باید آماده‌ی جلوگیری از وقوع این گرفتگی بود و در طرح عملیاتی سیلاب در مرحله اعلام هشدار سطح نارنجی یا زرد، یک بیل مکانیکی بالای آن پل مستقر شود که اگر گرفتگی ایجاد شد آن را باز کند. در این طرح مشخصات چند راننده و تعمیرکار بیل مکانیکی محلی هم باید ذکر شود. همانطور که گفته شد پیش‌بینی و هشدار تندسیلاب با چالش‌های زیادی روبرو است. پس نباید ریسک کرد و هیچ اشکالی ندارد که با هر هشدار نارنجی یا زرد ۵ بار آمادگی میدانی ایجاد کرد و نیروها را به کار گرفت، اما فقط ۱ بار از این ۵ بار سیلاب واقعاً اتفاق بیفتد. چرا که عدم قطعیت‌های جدی راجع به مدل‌ها و پیش‌بینی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی وجود دارد. بهتر است چندین بار هوشیار بود، اما حتی اگر سیلی اتفاق نیفتد تا این که یک بار اتفاق بیفتد و همه را غافلگیر کند. در رابطه با طرح‌های عملیاتی شرایط اضطراری سیلاب باید اشاره شود که مفاهیم این طرح‌ها ساده است ولی تدوین و اجرای اثربخش آنها در دراز مدت چالش‌آور خواهد بود.

- مدیریت ریسک سیلاب:

در یک نقطه‌ای ممکن است تاکنون سیل بزرگی هم مشاهده نشده باشد، اما پتانسیل بالایی برای سیلاب یا تندسیلاب وجود داشته

باشد. پس باید رگبرهای آن منطقه تحلیل شود و سپس مدل سازی هیدرولیکی سیلاب انجام شود. در مرحله بعدی بحث مدل سازی ژئوتکنیکی و رانش زمین هم انجام شود و نواحی پرخطر را پهنه بندی نمود. این روند معمول دنیا برای مقابله با سیلاب و کاهش خسارات و تلفات آن است. اما مقابله با سیلاب در ایران تبدیل به رفتارها و عمل های واکنشی شده است و پس از یک سیلاب مرگبار تلاش می شود اقدامات لازم برای کاهش اثرات سیلاب های بعدی «در آن منطقه» صورت پذیرد. چند سال پیش در مالزی تفریحگاهی بیرون از شهر وجود داشت که آنجا را سیل گرفت و ۴ نفر کشته شدند. پس از آن در مدت ۲ سال سامانه پیش بینی و هشدار سیلاب را کامل مستقر کردند و جلوی بسیاری از تلفات احتمالی بعدی را گرفتند (چون جایی که باران می آید با جایی که سیل می آید فاصله دارد). از طرف دیگر در گلاب دره و دربند تهران با وجود این که بیش از ۳۰۰ نفر در سال ۱۳۶۶ کشته شدند و ۳۶ سال هم گذشته، اما هنوز سامانه پیش بینی و هشدار به طور کامل راه اندازی نشده است، بنابراین ما حتی راهبرد واکنشی را هم درست انجام نمی دهیم.

- هم افزایی روش های سازه ای و غیرسازه ای:

روش های سازه ای مدیریت سیلاب عبارتند از سدها، سیل بندها،

کانال های انحراف سیل، مخازن تأخیری، مخازن ذخیره ای برای پخش سیلاب و اصلاح و بهسازی مسیر. روش های غیرسازه ای که در دهه های اخیر کاربرد و اهمیت روزافزون داشته اند، در دو دسته فعالیت های برنامه ریزی و واکنشی دسته بندی می شوند:

فعالیت های برنامه ریزی: پیش بینی سیلاب، پیش بینی سیلاب های دریایی، مدیریت گسترش سیلاب دشت ها، بیمه سیلاب، مقاوم سازی در مقابل سیلاب، تدوین طرح های عملیاتی شرایط اضطراری، آموزش و جلب مشارکت مردم و مدیریت مخازن سدها.

فعالیت های واکنشی: هشدار سیلاب، مقابله با سیلاب، اطلاع رسانی، مدیریت جوامع محلی، تخلیه، مدیریت مخازن سدها در زمان واقعی و کمک های اضطراری.

در عمل باید طیفی گسترده ای از اقدامات را بسته به شرایط به کار گرفت و در بسیاری از موارد کاربرد توأمان این روش ها می تواند موجب هم افزایی شود. برای مثال در آمریکا جوامعی که قوانین مدیریت سیلاب دشت ها را رعایت کنند، مشمول دریافت بیمه سیلاب یارانه ای می شوند. بنابراین انگیزه لازم برای رعایت قوانین توسعه سیلاب دشت ها ایجاد می گردد. کاربرد روش های غیرسازه ای مدیریت سیلاب در کشورهای مختلف در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- کاربرد روش های غیرسازه ای مدیریت سیلاب در کشورهای مختلف

اقدامات برنامه ریزی															اقدامات واکنشی				
نیازهای پژوهشی	تخلیه سیل	امداد و کمک های اضطراری	بازسازی و تجدید اسکان	تخلیه	هشدار سیل	مدیریت منابع آب	مقابله با سیلاب	تصمیم گیری	برنامه ریزی اقدامات واکنشی	مدیریت حوضه آبریز	فقد سیل کردن ساختمان ها	بیمه سیل	کنترل توسعه سیلاب دشت	پیش بینی سیل	تحلیل های هیدرولیکی				
آرژانتین	+		+		+			+	+		+	+	++	+	++				
استرالیا		+		++		+			+	+	++		+	++	+				
بنگلادش		+			++				+	+	++	+	++	+	+				
کانادا		+	+		+			++	+	+	++	++	++	+	++				
فرانسه			+		+	+	+		+	+	+	++	++	+	+				
آلمان	++				+				+	+	+	++	++	+	+				
هند			+		++		++		+	+	+	+	+	++					
ایتالیا		+									+	+	+	+	+				
ژاپن		+	+	++	++	+	++	++	+	+				++	+				
مراکش			+	++	++	+	+	++	+	+	+	+	++	+	+				
هلند				+	++	+			+	+	+	+	++	+	+				
پاکستان					+	+				+				+	+				
پرتغال	+	+			+			+	+				+	+	+				
جنوب شرقی آسیا		+			+		+		+	+	++		+	+	+				
اسپانیا		++		+	+	+		+	++		+	+	+	+	++				
انگلستان			+	+	+			+			+	++	++	+	+				
آمریکا	++	++	+	+	+		+		++	+	+	++	++	+	+				

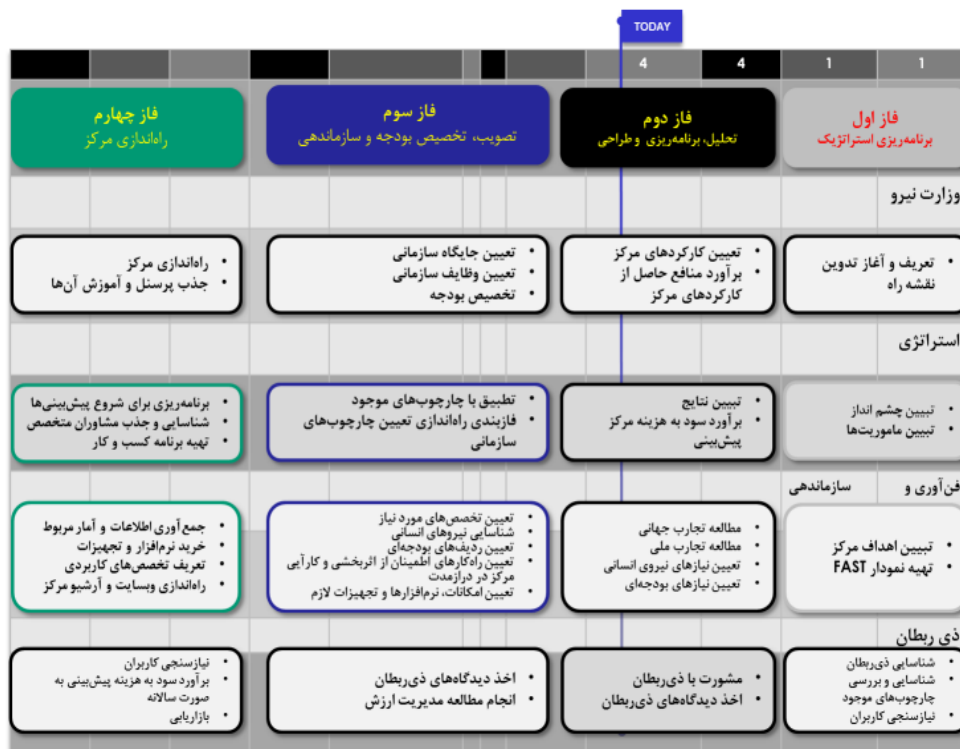
- نیاز به مرکز ملی پیش بینی های منابع آب و سیلاب:

بر اساس تجارب جهانی، هم افزایی پیش بینی های درازمدت اقلیمی، هواشناسی و هیدرولوژیکی با پیش بینی های کوتاه مدت، می تواند اثربخشی پیش بینی ها را به نحو چشمگیری افزایش دهد. مشکل آن است که این پیش بینی ها در سازمان های مختلفی انجام می شود:

بارش در سازمان هواشناسی و آبدهی فصلی، سیلاب و اثرات سدها در وزارت نیرو مورد مطالعه قرار می گیرند. مناسب است مانند کشور استرالیا تمامی پیش بینی ها در یک مرکز ملی متمرکز شود. در این راستا سازمان هواشناسی استرالیا که مسئول پیش بینی ها گردید با استخدام ده ها کارشناس هیدرولوژی و فن آوری اطلاعات، ظرفیت

سازمانی خود را برای انجام وظایف محوله، افزایش داده است. در سال ۱۳۹۶ نقشه راه برای تأسیس مرکز ملی پیش‌بینی‌های منابع آب و سیلاب به وزارت نیرو ارائه گردید (شکل ۳). اگر این مرکز

پیشنهادی راه‌اندازی شده بود در سیلاب‌های اسفندماه ۱۳۹۷، بهار ۱۳۹۸ و مرداد ۱۴۰۱ می‌توانست در کاهش اثرات سیلاب‌های نقش مؤثری داشته باشد.



شکل ۳- نقشه راه تأسیس و راه‌اندازی مرکز پیش‌بینی‌های منابع آب وزارت نیرو (۱۳۹۶)

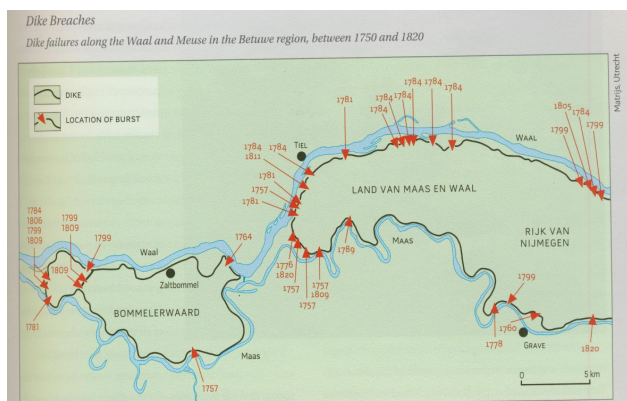
که در موقع بحران همه وسایل لازم آماده باشد. حتی پروتکل‌های خاص ارتباطی داشتند. بنابراین هلندی‌ها با وجود اینکه فن‌آوری‌های پیشرفته امروزی را نداشتند، اما توسعه‌یافتگی داشتند. در کشور آلمان به تماشاجیان سیلاب که در موقع سیلاب در کنار تیم‌های مدیریت بحران قرار می‌گیرند، گردشگر سیلاب می‌گویند و طبق قانون برای کاهش تعداد آنها، گردشگران سیلاب باید برای مدت معینی در پرکردن کیسه‌های شنی کمک کنند.

استفاده از تجارب کشورهای پیشرو در مدیریت سیلاب

با توجه به فاصله زیاد میان سیلاب‌های نادر، استفاده از تجارب سیلاب‌های بزرگ دیگر کشورها، یک الزام مهم است. باید توجه داشت که حتی در کشورهای پیشرفته ابعاد سیلاب‌ها از نظر تلفات و خسارات مالی می‌تواند خارج از انتظار باشد. برای مثال کشور آلمان معمولاً در مدیریت اکثر سیلاب‌های بزرگ، اثربخش و کارآ بوده است، ولی در تابستان ۲۰۲۱ مسئولین غافلگیر شده و سیلاب‌های مخرب منجر به ۲۰۰ کشته و ۵۴ میلیارد یورو خسارت شدند.

- هلند:

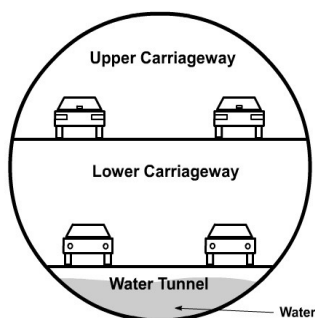
بخش وسیعی از اراضی کشور هلند زیر تراز دریا است و اگر سیل‌بند‌های محافظ تخریب گردند، فاجعه بزرگی ایجاد می‌شود. این اتفاق هم بارها افتاده است. اما هلندی‌ها از دو سه قرن پیش (از اواخر قرن ۱۸ میلادی!) که تجهیزات امروزی در دسترس نبوده، خود را به گونه‌ای اثربخش برای مقابله با سیل آماده می‌کردند. به طور خلاصه یک نوع طرح عملیاتی اضطراری کاملی داشتند از جمله اسب‌های سواره و گشت‌های نظامی برای اطلاع‌رسانی وضعیت سیل‌بند‌ها در شرایط اضطراری و انبارهای خاص داشتند



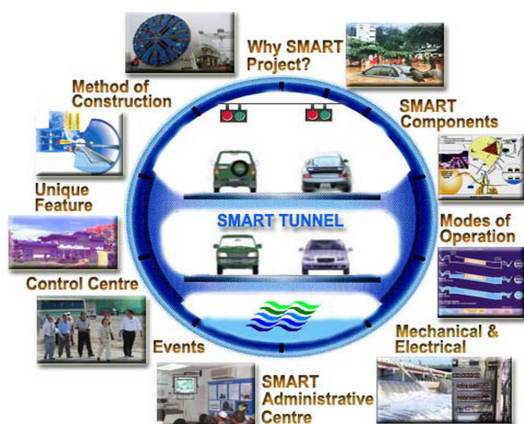
شکل ۴- تجارب تخریب سیل‌بند‌های هلند از سال ۱۷۵۰ تا ۱۸۲۰ میلادی

مالزی:

Seremban، بزرگراه فدرال، Besraya و راه دسترسی شرق به غرب برای ورود و خروج از مرکز شهر عمل می‌کند. این تونل زمان سفر خودروها را بیش از ۷۰ درصد کاهش می‌دهد (حدود ۱۵ دقیقه به فقط چهار دقیقه).

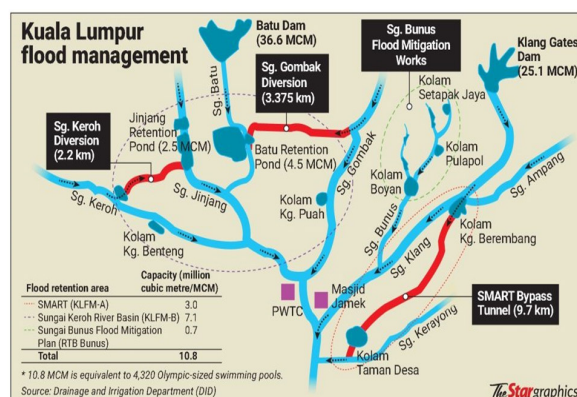


شکل ۶- مقطع تونل اسمارت

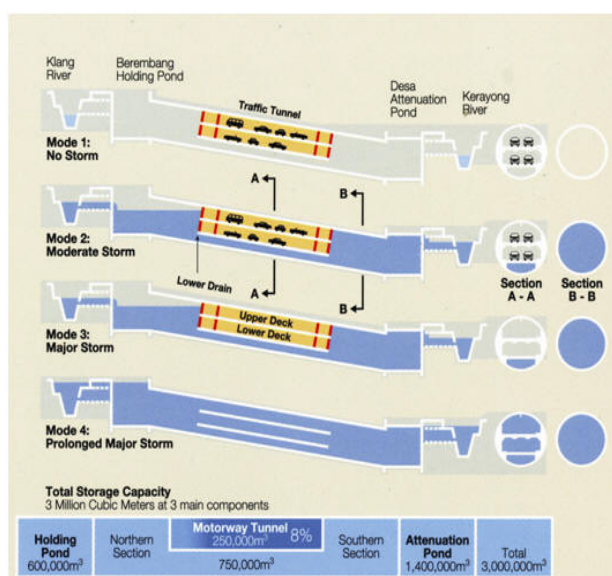


شکل ۷- ابعاد مختلف طرح اسمارت

تونل دو منظوره اسمارت کوالالامپور (سیلاب - حمل و نقل) در نوع خود منحصر به فرد است. در همین راستا نگارنده در اوایل سپتامبر ۲۰۱۹ بازدیدی را از این تونل انجام داد. در جریان این بازدید دکتر کیزول بن عبدالله رییس اسبق ICID که طراحی و احداث این تونل در زمان مدیریت ایشان انجام گردید، تاریخچه و اطلاعات کامل پروژه را ارائه دادند. بازدید از حوضچه ورودی آغاز گردید و ارائه‌ها در مرکز کنترل سیلاب تونل اسمارت انجام گردید. پایتخت مالزی کوالالامپور پس از باران‌های سنگین (سه تا شش ساعته) به صورت ادواری در معرض طغیان سیل قرار می‌گیرد. پس از وقوع سیلاب‌های ویران‌کننده در این شهر (به‌خصوص سیلاب ۱۹۷۱ میلادی) که خسارات مالی سنگین بر جا گذاشت، دولت مالزی طراحی و اجرای یک پروژه نوآورانه در سطح دنیا را آغاز نمود. هدف اصلی این طرح کاهش خسارت سیلاب‌های مخرب و ترافیک شهری به صورت هم‌زمان بود. ابعاد مختلف طرح جامع مدیریت سیلاب کوالالامپور در شکل (۵) ارائه شده است.



شکل ۵- طرح جامع مدیریت سیلاب کوالالامپور



شکل ۸- نحوه عملکرد تونل و پروفیل آن در مدهای مختلف سیلاب

SMART مخفف «مدیریت طوفان آبی و تونل جاده» است. این تونل به قطر ۱۳/۲ متر و طول ۹/۷ کیلومتر برای انحراف سیلاب احداث شده است. در طول ۴ کیلومتر، تونل به صورت دو عرشه برای رفت و برگشت خودروها ساخته شده است. به همراه یک جاده دوطرفه عبور وسایل موتوری (بزرگراه) به طول ۴ کیلومتر که درون تونل تشکیل شده است. هدف اصلی تونل اسمارت حل مشکل طغیان سیلابی در کوالالامپور از رودخانه‌های سونگای کلنگ و کرایونگ و همچنین کاهش ترافیک در ساعت شلوغی روزانه است.

تونل دومنظوره اسمارت، از مخزن کامپونگ برمانگ شروع و به مخزن تامان دسا ختم می‌شود. تونل، سیلاب‌ها را دورتر از محل برخورد دو رودخانه اصلی که از مرکز کوالالامپور عبور می‌کنند، منحرف می‌کند. همچنین تونل ۴ کیلومتری بزرگراهی اسمارت به عنوان یک مسیر جایگزین کارآمد از دروازه جنوبی بزرگراه KL-



شکل ۱۰- بازدید امپراطور ژاپن در زمان ولیعهدی از تونل اسمارت

نیاز به جامع‌نگری مدیریت ارشد و سرمایه‌گذاری

اجرای تمامی روش‌های فوق نیاز به سرمایه‌گذاری قابل ملاحظه و درک و حمایت مدیریت ارشد دارد. در این راستا تجربه سیلاب ۱۳۱۳ تبریز می‌تواند بسیار آموزنده باشد (شکل ۱۱):

«درست ۸۹ سال پیش در هشتم مردادماه سال ۱۳۱۳ باران در تبریز بند نیامد. هیچ چیز در شهر خبر از سیل نمی‌داد؛ همه گمان می‌کردند بارانی شبیه همیشه خواهد بارید. اما وقتی «میدان چای» و «قوری چای» از آب باران لبالب شد دیگر مسیل تحمل حجم آب را نداشت و کم‌کم خیابان‌های شرق تبریز زیر آب رفت. از خیابان‌ها جز لجن‌زاری نماند و بیش از ۱۳۰۰ مغازه از بین رفت. هرچند این فاجعه تلفات جانی نداشت، اما تقریباً دمار از روزگار کسبه درآورد و خانه‌ها را ویران کرد. تیرهای تلگراف را گند تا هیچ‌کس از بلایی که بر جان شهر رفته بود، خبر نداشته باشد. دولت مرکزی روز ۱۱ مرداد از سیل آگاه شد و بلافاصله نمایندگان و چهره‌های سرشناس حکومتی به تبریز آمده‌اند. شهرهای مختلف به جمع‌کردن کمک مشغول شدند و تجار تبریزی ساکن مرکز هرچه از دستشان برمی‌آمد، روانه شهر کردند.»

در این میان اما شهردار تبریز به چیز دیگری می‌اندیشید. ارفع‌الملک جلیلی می‌دانست که اگر این اتفاق یک‌بار به وقوع پیوست، پس می‌تواند بارها و بارها اتفاق بیافتد پس به دنبال چاره‌ای گشت تا تبریز را برای همیشه از سیل در امان نگه‌دارد. هنوز یک سال از وقوع سیل نگذشته بود که ارفع‌الملک، ۲ میلیون تومان برای ساخت سیل‌بند و عریض‌تر کردن مسیر ۱۲ کیلومتری میدان چای و قوری چای جذب کرد. بدین ترتیب یک شهردار با کفایت توانست تبریز را برای سال‌ها از شر سیل در امان نگه‌دارد. اما داستان وقتی جالب‌تر می‌شود که ارفع‌الملک جلیلی با ابتدایی‌ترین وسایل ممکن و با بودجه حدود یک میلیون تومان این پروژه را به اتمام رساند. شهردار تبریز با ته‌مانده بودجه ساخت سیل‌بند، عمارت باشکوه شهرداری یا همان عمارت ساعت را ساخت.

تونل اسمارت شامل سه بخش است. دو بخش فوقانی، معابری هستند که جریان ترافیک را منتقل می‌کند، یکی برای رفت و یکی برای برگشت. بخش سوم در پایین نیز، تونل هدایت سیلاب است.

در شرایط عادی، هنگامی که بارندگی کم است و طوفان وجود ندارد، بخش بزرگراه بر روی رانندگان باز و بخش سیلاب بسته است. در شرایط نسبتاً طوفانی، سیستم اسمارت فعال شده و آب جاری شده در کانال تحتانی تونل بزرگراه به درون تونل بای‌پس محور هدایت می‌شود و این در حالی است که در بخش فوقانی مخصوص رانندگان کماکان جریان ترافیکی وجود دارد. در جریان طغیان قریب‌الوقوع، دو جاده فوقانی برای ترافیک بسته شده و ترافیک عبوری تخلیه می‌شود. برای بزرگترین سیلاب‌ها سه بخش تونل آماده حمل آب‌های سیلاب هستند. عملکرد دقیق و به موقع سامانه پایش، مدل‌های پیش‌بینی سیلاب و مدل‌های هیدرولیکی، پیش‌نیاز بهره‌برداری موفقیت‌آمیز تونل اسمارت می‌باشند.

پس از چهار سال عملیات ساخت‌وساز، تونل اسمارت بر روی ترافیک عبوری بازگشایی شد. هزینه‌های اجرایی پروژه حدود ۵۱۴ میلیون دلار بود که هزینه‌های سامانه‌های پایش و غیرسازه‌ای تنها ۴ درصد از هزینه کل را شامل می‌شد. به‌طور متوسط روزانه ۳۰۰۰ ماشین از تونل عبور می‌کنند و درآمد سالانه عوارض، بالغ بر ۱۰ میلیون دلار است. در عین حال این تونل تاکنون ۴۴ بار از زمان بهره‌برداری، سیلاب‌های بزرگ را با موفقیت از خود عبور داده است.

از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ شش بار از وقوع سیلاب‌های بسیار بزرگ جلوگیری شده است. بزرگترین سیل در ۷ مارس ۲۰۱۲ در نتیجه ۲۳۷ میلی‌متر بارندگی در ۵ ساعت در حوضه آبریز آمپنگ رخ داد (بارش حداکثر ۱۰۰ میلی‌متر در یک ساعت). دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برای این سیلاب تخمین زده شده است. در همین زمان میزان بارندگی در حوضه آبریز کلنگ ۱۵۰ میلی‌متر (با دوره بازگشت نزدیک به ۱۰۰ سال) بود. بهره‌برداری تونل اسمارت با وجود آب‌گرفتگی شدید غیرمنتظره در نزدیکی مرکز کنترل با موفقیت انجام شد. با توجه به عملکرد موفق دوگانه تونل اسمارت، می‌توان آن را به عنوان طرح موفق مدیریت تطبیقی سیلاب ارائه نمود.



شکل ۹- بازدید نگارنده از مرکز کنترل تونل اسمارت (شهریور ۱۳۹۸)

پیشرو می‌تواند نقش کلیدی در کاهش تلفات داشته باشد. در این رابطه ممکن است آموزش‌های غیرمستقیم از طریق فیلم‌ها اثرات بیشتری در ارتقاء آگاهی عمومی داشته باشند. برای مثال در سونامی ۲۰۰۴ اقیانوس هند، آگاهی یک دانش‌آموز به پس‌روی دریا در فاز اول سونامی و هشدار او جان چندین نفر را نجات داد. با بررسی فیلم‌های تندسیلاب دروازه قرآن شیراز در سال ۱۳۹۸ و تندسیلاب‌های مردادماه ۱۴۰۱ می‌توان نتیجه گرفت که آگاهی بیشتر مردم قطعاً می‌توانست تعداد تلفات جانی را کاهش دهد. در مدارس ژاپن پشت کتاب درسی دانش‌آموزان نقشه سیل‌گرفتگی آن شهر وجود دارد تا اگر سیلاب جاری شد دانش‌آموزان بدانند که کجای شهر امن است. مردم باید بدانند جریانی به عمق حدود ۳۰ سانتی‌متر انسان را و سیلابی به عمق ۵۰ سانتی‌متر می‌تواند یک ماشین را با خود ببرد. در رابطه با آموزش عمومی فعالیت زیادی در رسانه‌ها و به‌خصوص رسانه‌های تصویری مورد نیاز است.

جمع‌بندی

بر اساس تجارب بلایای طبیعی ۷۰ سال گذشته کشورمان، سهل‌انگاری‌های جدی هم از طرف مردم و هم از طرف دولت‌ها در رابطه با ایمنی عمومی وجود داشته و فاصله زیادی با استانداردهای ایمنی کشورهای پیشرفته داریم. تاکنون برنامه‌ی موفق، جامع، جدی، پیوسته و درازمدت برای ارتقاء ایمنی عمومی در بلایای طبیعی نداشتیم. در صورتیکه ارتقاء ایمنی عمومی به جدیت در دستور کار باشد، بر اساس تجارب ملی و جهانی، راهکارهای اثربخش و کارآ در دسترس خواهد بود.

پی‌نوشت

1-Strom Management and Road Management Tunnel



شکل ۱۱- سیلاب تاریخی ۱۳۱۳ تبریز

از تجربه سیلاب تاریخی ۱۳۱۳ تبریز می‌توان درس‌های زیر را آموخت:

۱. با توجه به خسارت بالای سیلاب ۱۳۱۳ (حدود یک و نیم میلیون تومان آن روز)، هم مردم و هم شهردار وقت متوجه شدند که برای پیشگیری بلایای بعدی باید هزینه کرد و در کمتر از یک‌سال، دو میلیون تومان از کمک‌های مردمی جمع‌آوری شد.
۲. در کشورهای توسعه‌یافته ۱۰ تا ۲۰ درصد از ثروت تولید شده را در زمینه ایمنی و کاهش ریسک و سلامت عمومی سرمایه‌گذاری می‌کنند. اما چنین سرمایه‌گذاری در ایران به هیچ عنوان انجام نمی‌شود. در سال ۲۰۰۴ سونامی بزرگی در جنوب شرق آسیا اتفاق افتاد که حدود ۳۰۰ هزار نفر تلفات به جا گذاشت. یک سال پیش از این سونامی پیشنهاد شده بود که یک سامانه هشدار سونامی در اقیانوس هند اجرا شود، اما از آنجایی که از سال ۱۸۸۳ سونامی بزرگی در جنوب شرق آسیا به وقوع نپیوسته بود، افراد تصمیم‌گیر، ضرورت این مسئله را درک نمی‌کردند. هزینه ایجاد این سامانه ۷۰ میلیون دلار برآورد شده بود و برای کشورهای آن منطقه خیلی رقم بزرگی نبود و اگر این سامانه راه‌اندازی شده بود، تلفات به وجود آمده بسیار کمتر از ۳۰۰ هزار نفر می‌بود.

آموزش مردم نقش کلیدی در کاهش تلفات و خسارات سیلاب دارد

حمایت مردمی در جمع‌آوری کمک برای طرح مدیریت سیلاب تبریز در سال ۱۳۱۳ به وضوح نشان می‌دهد که درک مردم از خطرپذیری سیلاب، می‌تواند نقش کلیدی در کاهش تلفات و خسارات داشته باشد. فیلم‌های سیلاب استهبان و رفتارهای بسیار پرخطر برخی از افراد نشان می‌دهد که آموزش همگانی سیلاب باید در دستور کار رسانه‌ها قرار گیرد. در برخی مواقع زمان واکنش، چند دقیقه و یا چند ثانیه است و آگاهی مردم نسبت به خطرات

In the Name of Allah

Journal of Water and Sustainable Development

Volume 10 - Issue 3 (Serial No. 29) - December 2023

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 and also Due to registration number no 76766 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 Ferdowsi University of Mashhad and the Hydraulic Association of Iran.

Grantee
Manager in Charge
Editor in Chief

College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Shahnooshi Foroushani, N. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Davary, K. Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

Alidadi, H. Prof., Mashhad University of Medical Sciences
Ansari, H. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Bagheri, A. Asso. Prof., Tarbiat Modares University
Esmaili, K. Asso. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jolaini, M. Asso. Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi
Morid, S. Prof., Tarbiat Modares University
Nassery, H.R. Prof., Shahid Behesti University, Tehran

Guiding Council

Sayahi, A., Assistance of research and industrial relations center of National Water and 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

Advisory Editors

Noori Esfandiari, A., Representative of water Think tank at Iran Water Resources Management Company
Sajadifar, S.H., Representative of National Water & Wastewater Company
Kolahi, M., Ferdowsi University of Mashhad
Kalaei, GH., Representative of Mashhad Water & Wastewater Company
Ghanbari, F., Representative of Mashhad Water & Wastewater Company

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

Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.
Quchanian, M., Shahedi, M., Oskouhi, M.
Shaikhi, M.R.
Quarterly
Ferdowsi University of Mashhad
2423-5474
<https://jwsd.um.ac.ir/> Email: jwsd@um.ac.ir
Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. P.O.Box: 91775- 1163
Mashhad Water & Wastewater Company

Articles in issue:

- **Land Capability, Biological Identity, and Flood Ecology (Case Study: Kowsar's Multi-Institutional Plan in the Ecosystem Coupled to Groundwater)**

M. Maham

- **Analysis of Flood Governance and Risk Management**

M. Oskouhi, K. Esmaili, A. N. Ziaei

- **Review of Flood Risk Management Strategies and Legal and Practical Challenges**

S. M. Taheri, A. Mosaedi

- **Identification and Analysis of the Barriers to Farmers' Participation in the Revitalization of Lake Urmia Mahabad Sub-Basin**

D. Amin Fanak, R. Rezaei, Z. Kahrizi

- **Modeling for Weighting the Most Effective Evaluated Criteria of Indigenous Knowledge Using the BWM Method in the Management and Planning of Water Resources in Yazd Province**

M. Khani, H. Hoveidi, A. R. Yavari, M. R. Khani

- **Investigating the Different Dimensions of Water Poverty in the Provinces of Iran**

S. Safarpour, M. Maddah

- **Genetic Programming Method in Urban Water Consumption Prediction (Case Study: Najafabad City)**

M. R. Alikhani, R. Moeini

- **Investigating the Trend of Drought Changes with Temperature-Vegetation Dryness Index (TVDI) and Its Relationship with Atmospheric Factors (Case Study: Siah Kooh Watershed)**

A. Safdari Molan, A. Mardaneh

- **Experimental and Numerical Investigation of the Trajectory of Outlet Jets through the Pressurized Discharge Gates of Reservoir Dams**

A. Taheri Aghdam, F. Salmasi, A. Hosseinzade Dalir, A. Abbaspour

- **Preparation of an Optimized Model of Water Transmission Lines Route Using Meta-Heuristic Algorithm**

A. Taheri, A. Khashei Seyuki, M. Pourreza Bilandi, S. R. Hashemi

- **Removal of Amoxiclav Antibiotic from Aqueous Solutions Using Ultrasonic Waves**

S. Goudarzian, M. Soleimani Babarsad, E. Derikund, M., H. Pourmohammadi, H. Ghorbanzadeh Kharazi

