

# آب و توسعه پایدار

دوره ۱۱، شماره ۱ (پیاپی ۳۱)، خرداد ۱۴۰۳

## توسعه پایدار

### رشد بی زوال



#### فهرست مقالات

#### ● تولید انرژی و استحصال آب باران از بام گلخانه در منطقه بشاگرد

مجید زارع زاده، سعیده خوارزمی، هدا منصوری

#### ● بررسی عوامل موثر بر تغییرات منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از محصولات ماهواره ای (مطالعه موردی: کابل-افغانستان)

سیدجواد هدایت، محسن ابراهیمی خوشفی، کمال امیدوار، محمد شریفی

#### ● نقد و بررسی پژوهش های انجام شده در زمینه چالش های کشف رود و ارائه راه حل جامع

رضوان سلاجقه، سعیدرضا خداشناس، سید آرمان هاشمی منفرد، کاظم اسماعیلی، فرشته مدرسی

#### ● پیامدهای تغییر اقلیم بر دما و بارش کشور افغانستان با تأکید بر حوضه های هیرمند و هریود

سمیه پارسا، آذر زرین، عباس مفیدی، عباسعلی داداشی رودباری

#### ● واکاوی پاسخ های کارآفرینان به بحران آب رضا خرم، وحید مکی زاده، حسین منصوری

#### ● الگوی پارادایمی تاب آوری فرهنگی در بحران کم آبی زاینده رود

مجید رئوفی بروجنی، سیامک کوزنگ بهشتی، علی رشیدپور

#### ● بررسی هیدرولیک جریان در پیچان رودهای سیلابی تحت اثر تغییر عرض سیلاب دشت

محمد نقوی، میرعلی محمدی

#### ● بررسی فرسایش داخلی در رسوبات آبرفتی با دانه بندی گسسته

ملیحه نظری، علی معروف، علی اختریور، جعفر بلوری بزاز



# آب و توسعه پایدار

سال یازدهم- شماره اول (پیاپی ۳۱)- خرداد ۱۴۰۳

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

## دانشگاه فردوسی مشهد

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

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سردبیر

اعضای هیئت تحریریه

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

شورای سیاست‌گذاری

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

مشاوران هیئت تحریریه

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

کارشناس اجرایی

ویراستاری

صفحه آرایی / طراحی

ترتیب انتشار / ناشر

شماره شاپاچاپی / الکترونیکی

تارنما / رایانامه

آدرس

حامی مالی

پایگاه‌های نمایه شده

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

۲۷۱۷-۳۳۲۱ / ۲۴۲۳-۵۴۷۴

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

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

شرکت آب و فاضلاب مشهد

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

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



- أ سرمقاله: دانش بومی مدیریت منابع آب و بازخوانی آن با زبان دانش امروزی / علی باقری، علیرضا شجاعی شاهرخ آبادی
- ت یادداشت کوتاه: دانش بومی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت: پیوندی برای آینده پایدار / سید محمد مهدی نوربخش
- ۱ تولید انرژی و استحصال آب باران از بام گلخانه در منطقه بشاگرد  
مجید زارع زاده؛ سعیده خوارزمی؛ هدا منصوری
- ۱۳ بررسی عوامل موثر بر تغییرات منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از محصولات ماهواره ای (مطالعه موردی: کابل-افغانستان) ۱۳  
سیدجواد هدایت؛ محسن ابراهیمی خوسفی؛ کمال امیدوار؛ محمد شریفی پیچون
- ۲۵ نقد و بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه چالش‌های کشف‌رود و ارائه راه‌حل جامع  
رضوان سلاجقه؛ سعید رضا خداشناس؛ سید آرمان هاشمی منفرد؛ کاظم اسماعیلی؛ فرشته مدرسی
- ۳۵ پیامدهای تغییر اقلیم بر دما و بارش کشور افغانستان با تأکید بر حوضه های هیرمند و هریرود  
سمیه پارسا؛ آذر زرین؛ عباس مفیدی؛ عباسعلی داداشی رودباری
- ۴۹ واکاوی پاسخ‌های کارآفرینان به بحران آب  
رضا خرم؛ وحید مکی زاده؛ حسین منصوری
- ۶۱ الگوی پارادایمی تاب آوری فرهنگی در بحران کم آبی زاینده رود  
مجید رثوفی بروجنی؛ سیامک کورنگ بهشتی؛ علی رشیدپور
- ۷۳ بررسی هیدرولیک جریان در پیچان‌رودهای سیلابی تحت اثر تغییر عرض سیلاب‌دشت  
محمد نقوی؛ میرعلی محمدی
- ۸۳ بررسی فرسایش داخلی در رسوبات آبرفتی با دانه‌بندی گسسته  
ملیحه نظری؛ علی معروف؛ علی اخترپور؛ جعفر بلوری بزاز
- ۹۲ بادبود فالکن مارک؛ دختر سرزمین برف و آب، که نگران بی‌آبی دنیا بود؛ چشم از جهان فرو بست!  
این متن به همت آقای محمدجواد سمیعی و خانم نفیسه سیدنژاد تهیه شده است.
- ۹۵ معرفی کتاب: مدیریت آب (منابع و کاربردها)  
هاشم درخشان
- ۱۰۰ کنکاشی در سدسازی ایران  
کاظم اسماعیلی؛ مائده اسکوهی؛ وحیده مرتضوی امیری



## دانش بومی مدیریت منابع آب و بازخوانی آن با زبان دانش امروزی

برخی از محققان مانند عمادی و امیری اردکانی (۱۳۸۱) و فرهادی (۱۳۹۴) مسئله‌ی آب را در ایران امروز عمدتاً ناشی از پیامدهای مدرنیزاسیون دهه‌ی ۱۹۵۰ میلادی و انتقال فناوری‌های غربی ناسازگار با اقلیم ایران (فرهادی، ۱۳۹۶) در خصوص استحصال آب می‌دانند. در این رابطه فرهادی (۱۳۹۳) بیان می‌کند: «روزگاری طولانی از زمان امیرکبیر تاکنون این تصور وجود داشت که عقب‌ماندگی کشاورزی ما به دلیل سادگی در مصرف ابزارها، از نداشتن چاه آرتزین تا تراکتور، کمباین و چاه‌های عمیق و نیمه عمیق است و هنگامی که همه‌ی این‌ها فراهم شد، نه تنها توسعه ملی اتفاق نیفتاد، بلکه بنیاد توسعه ما که بنیاد آفرینش بود، بر باد رفت و بحران آب، بحران اول جامعه ما قرار گرفت». از سویی، مدرنیزاسیون دهه‌ی ۱۹۵۰ میلادی مصادف شد با اجرای برنامه‌ی اصلاحات اراضی در سال ۱۳۴۲ که نظام مدیریت عرفی و سنتی منابع آب در جوامع محلی را دگرگون و تضعیف کرد (برزگر و همکاران، ۱۳۹۷).

استراتژی مواجهه با مسئله‌ی آب، نه تنها به شرایط محلی و ظرفیت‌های فنی و نهادی بستگی دارد، بلکه متأثر از پس‌زمینه‌ی خاص تاریخی استفاده از آب، میراث فرهنگی و شرایط اجتماعی و اقتصادی بلندمدت نیز می‌باشد (Hoekstra، ۲۰۰۰). پس‌زمینه‌ی تاریخی مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب، یا دانش بومی مدیریت و بهره‌برداری از آب، امروزه به یک موضوع مهم در پژوهش‌ها و برنامه‌ریزی‌های استراتژیک در زمینه‌ی سازگاری جوامع با مسائل مربوط به منابع آب بدل شده است (Smit و Pilifosova، ۲۰۰۳). در ایران اجداد و نیاکان ما از گذشته‌های دور با مسئله کم‌آبی مواجه بوده‌اند و در هر منطقه، با توجه به خصوصیات آب و هوایی و شرایط توپوگرافی، شیوه‌های ابتکاری و بهینه‌ی بهره‌برداری از آب را ابداع کرده‌اند (درگاهی، ۱۳۸۶). دانش بومی در مدیریت منابع آب، ازجمله سازه‌ی قنات، توانسته ظرفیت سازگاری و تاب‌آوری جوامع بومی و محلی را نسبت به مسئله‌ی خشک‌سالی حفظ کند و ارتقا دهد (طیب، ۱۳۸۶). افزایش ظرفیت سازگاری سبب کاهش حساسیت نظام‌های اجتماعی و اکولوژیک نسبت به آشفتگی ایجادشده و همچنین افزایش تاب‌آوری آن نظام‌ها در برابر مسائل و بحران‌های آبی می‌شود (Marshall و همکاران، ۲۰۱۳). از طرفی، رابطه معنی‌داری بین سطح دانش بومی جوامع بومی و محلی و ظرفیت سازگاری آن‌ها

در مواجهه با تغییرات اکوسیستمی وجود دارد. دانش بومی و ابتکارات محلی در جوامع محلی به دلیل سازگاری و انطباق با زیست‌بوم، همان روش‌هایی هستند که به مدیریت پایدار منابع آب کمک می‌کنند (Chambers و Conway، ۱۹۹۲).

دانش بومی شامل عبارات، شیوه‌ها، اعتقادات، درک، بینش و تجربیات گروه‌های بومی است که طی قرن‌ها تعامل عمیق با یک قلمرو خاص ایجاد می‌شود (Grey، ۲۰۱۴). این شیوه‌های یادگیری، درک و نگرش به جهان، حاصل سال‌ها تجربه و حل مسئله بر مبنای آزمون و خطا است که مردمان بومی و محلی در بهره‌برداری از منابع در دسترس در محیط خود به کار برده و تجربه کرده‌اند (Williams و Muchena، ۱۹۹۱). دانش بومی در همه‌ی مکان‌ها پایه و اساس حکمرانی بومی، حفاظت محیط‌زیست و توسعه سیستم‌های اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی، اخلاقی، زبانی، معنوی، پزشکی و غذایی است، به طوری که تولید مداوم دانش محلی اساس هویت بومی و نیز بقای جامعه محلی بوده است. از جنبه‌ی اکولوژیکی، تولید و کاربرد دانش بومی است که به اکثر جوامع امکان دستیابی به تعادل و توازن محیط‌زیستی، حفظ معیشت پایدار و مولد، مدیریت حوادث طبیعی و حفظ و توسعه پایدار منابع طبیعی را می‌دهد (Grey، ۲۰۱۴). دانش بومی، زمان‌آزموده، سازگار با محیط‌زیست و طبیعت، کارآمد و پویا است (عمادی و امیری اردکانی، ۱۳۸۱) و نشان‌دهنده‌ی سازگاری و برقراری رابطه معقول بین انسان و محیط‌زیست است که با اصول توسعه‌ی پایدار هماهنگی دارد و نمونه‌ی بارز آن را در قنات‌های ایران می‌توان مشاهده کرد (جمعه‌پور، ۱۳۸۵). دانش بومی به‌طور مداوم با محیط در حال تغییر، سازگار شده و توسعه یافته و دائماً از نسلی به نسل دیگر منتقل شده و از نزدیک با ارزش‌های فرهنگی مردم درهم‌تنیده شده است. دانش بومی متعلق به مردمان یک موقعیت مکانی خاص با پیوندهای مشترک فرهنگی و اجتماعی است و چنین شکلی از دانش، می‌تواند به‌خوبی مشکلات محلی را که عمدتاً خاص و وابسته به شرایط محلی (context-specific) هستند، با راه‌حل‌های بومی و محلی برطرف کند (FAO، ۲۰۱۸). برای مثال، سیستم‌های بومی و محلی مدیریت منابع مشترک اغلب توسط اعتقادات و افسانه‌های محلی تقویت می‌شوند که نقش مهمی در هدایت رفتار کشاورزان محلی دارند و چنین هنجارهای اجتماعی می‌توانند با تنظیم دسترسی به منابع، برای حفظ تنوع زیستی مفید باشند و از این‌رو به کشاورزی پایدار محلی کمک می‌کنند (FAO، ۲۰۱۸).

شناخت دانش بومی، برقراری ارتباط میان ادراکات مردمان محلی و دانش محققان غیربومی و کارگزاران توسعه بخصوص در زمینه‌ی طرح‌های مدیریت منابع آب و خاک و منابع طبیعی است تا از طریق آن بتوان فهمی عمیق و همدلانه از تجربیات و



اهداف مردم محلی داشت و به تکنولوژی عملی پیوند زد. لزوم محافظت و تداوم دانش بومی به دو دلیل ارزش ذاتی و ارزش ابزاری آن، در بسیاری از اسناد جهانی از جمله کنوانسیون تنوع زیستی مصوب سال ۱۹۹۳، کنوانسیون سازمان بین‌المللی کار در مورد مردم بومی (کنوانسیون ۱۶۹) مصوب سال ۱۹۸۹، اعلامیه ریو (با نام برنامه دستور کار ۲۱) در سال ۱۹۹۲، اعلامیه سازمان ملل در مورد حقوق مردم بومی مصوب سال ۲۰۰۷، موافقت‌نامه پاریس در مورد تغییر اقلیم در سال ۲۰۱۵، اسناد و سیاست‌های عملیاتی بانک جهانی، سازمان جهانی مالکیت معنوی و نهادهای مختلف سازمان ملل، به رسمیت شناخته شده و تأکید شده که دانش بومی در سیاست‌گذاری و توسعه اقتصادی-اجتماعی پایدار نقش مهمی ایفا می‌کند (Grey, ۲۰۱۴). علاوه بر این، دانش بومی جوامع می‌تواند نقش مهمی در سازگاری با تغییر اقلیم و مواجهه با مسئله کم‌آبی در کشاورزی نیز ایفا کند (FAO, ۲۰۱۸). امروزه تحلیل و بررسی دانش بومی و ابتکارات محلی در رابطه با سازگاری جوامع با مسائل مربوط به آب تبدیل به یک موضوع مهم در پژوهش‌ها و برنامه‌ریزی‌های استراتژیک در هر کشور شده است (Smit و Pilifosova, ۲۰۰۳) و محققین بسیاری در زمینه‌های متنوعی به قابلیت بالقوه‌ی دانش بومی در ارائه‌ی راه‌حل برای مشکلات مدرن از سطح محلی تا جهانی اشاره کرده‌اند و خواستار استفاده از آن در تحقیقات علمی، برنامه‌ریزی پروژه‌ها و سیاست‌های توسعه شده‌اند؛ به‌طوری‌که شامل کاربردهای خاص در تنوع زیستی، کشاورزی، آموزش، توان‌بخشی محیط‌زیست، تهیه دارو و حتی حل اختلافات و تعارضات بشود.

از دیرباز، سازگاری با مشکلات اقتصادی، اجتماعی و مقابله با محدودیت‌های منابع طبیعی به‌ویژه منابع آب (از جمله دشواری‌های آبیابی، آبرسانی و آبیاری) با بستن بند و سد و بندآب و گوراب، حفر قنات و منگول و لایروبی هرساله قنات‌ها و غیره، فرهنگ مشارکتی عمیقی را میان کشاورزان ایرانی پدید آورده است، به‌نحوی که برخی از این سازگاری‌ها و همکاری‌ها هنوز هم کاربردی و قابل مشاهده هستند (فرهادی، ۱۳۸۸). درواقع ابتکارات محلی یکی از نشانه‌های سازگاری با طبیعت است که در ایران از تنوع زیادی برخوردار است و از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به قنات به‌عنوان یک اختراع و ابتکار ایرانی اشاره کرد (اسکندری دامنه و همکاران، ۱۳۹۷). البته قنات چیزی بیش از راهی برای استفاده از آب‌های زیرزمینی است و نمایانگر یک سیستم اجتماعی-اقتصادی منحصربه‌فرد است که با استفاده از دانش و خرد بومی، به پشته‌های منطقه‌ای، به مدیریت پایدار زمین و آب کمک می‌کند.

با توسعه دانش جدید در حوزه مدیریت منابع آب ضرورت دارد با بررسی و شناسایی نظام‌های مبتنی بر دانش بومی

مدیریت آب، این نظام‌ها و دانش بومی را با زبان امروزی بازخوانی و آن را در قالب دانش امروزی به یک دانش قابل انتقال تبدیل کرد. برخلاف دانش رسمی که در آن شاخه‌های مختلف علم از یکدیگر کاملاً قابل تفکیک‌اند، در بحث دانش بومی، بخش‌ها و جنبه‌های علمی مختلف درهم‌آمیخته‌اند. یک دستور کار در تحقیقات در این زمینه می‌تواند شناسایی جنبه‌هایی از دانش امروزی، که تحت عناوین شاخه‌های مختلف علم شناخته می‌شوند، در این نظام‌ها و بازخوانی آنها بر اساس ادبیات امروزی و جریان‌سازی (Mainstreaming) آنها در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها باشد.

#### منابع:

- اسکندری دامنه، حامد، برجی، مسلم، و قربانی، مهدی. (۱۳۹۷). ابتکارات محلی و دانش بومی در مدیریت اجتماع‌محور منابع آب (منطقه‌ی مورد مطالعه: روستای روزکین بخش ساردوییه شهرستان جیرفت استان کرمان)، نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۱(۲)، ۳۴۰-۳۲۱. doi: [10.22059/jrwm.2018.133034.918](https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.133034.918)
- طیب یوسف اویس، دیت پرینتس، و احمد هاشم. (۱۳۸۶). استحصال آب: استفاده از دانش بومی برای تامین آب در مناطق خشک. مترجم: طباطبایی یزدی، جواد، و چکشی، بهاره. انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه مشهد)، مشهد، ایران.
- برزگر، مریم، قربانی، مهدی، حسن‌زاده، علیرضا، و حسینی‌گزیر، عبدالواحد. (۱۳۹۷). تحلیل دانش بومی و ابتکارات محلی سازگار در مدیریت منابع آب (منطقه مورد مطالعه: دشت گزیر). پژوهش‌های انسان‌شناسی ایران، ۸(۲)، ۹۹-۱۲۱. doi: [10.22059/ijar.2019.71600](https://doi.org/10.22059/ijar.2019.71600)
- جمعه‌پور، محمود. (۱۳۸۵). کاریز (قنات) دستور دانش و فرهنگ بومی زیستگاه‌های کرانه‌های کویر، و نظام‌های وابسته به آن در ایران و بهره‌برداری پایدار از آن. فصلنامه علوم اجتماعی، ۳۳(۲۷-۲۸)، ۶۴-۲۷. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17351162.1385.13.33.2.0>
- درگاهی، بیژن. (۱۳۸۶). آب‌بندان مناسب‌ترین گزینه برای سازگاری با کم‌آبی در استان‌های ساحلی شمال کشور. اولین همایش سازگاری با کم‌آبی، تهران، ایران.
- عمادی، محمدحسین، و امیری اردکانی، محمد. (۱۳۸۱). تلفیق دانش بومی و دانش رسمی؛ ضرورتی در دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۰(۳۷)، ۳۶-۳۹.
- فرهادی، مرتضی (۱۳۸۸). انسان‌شناسی یاریگری. نشر ثالث. تهران، ایران.
- فرهادی، مرتضی (۱۳۹۳). مردم‌نگاری دانش‌ها و فناوری‌های سنتی: «نان شب» مردم‌نگاران ایران. دو فصلنامه‌ی دانش‌های بومی ایران، ۱(۲)، ۴۹-۱۰. doi: [10.22054/qjik.2016.1563](https://doi.org/10.22054/qjik.2016.1563)

3232). Editors: Alex C. Michalos. Publisher: Springer.

Hoekstra, A. Y. (2000). Appreciation of water: four perspectives. *Water policy*, 1(6), 605-622.

Marshall, NA., Tobin, RC., Marshall, PA., Gooch, M., & Hobday, AJ. (2013). Social vulnerability of marine resource users to extreme weather events. *Ecosystems*, 16(5), 797-809.

Smit, B., & Pilifosova, O. (2003). Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. *Sustainable Development*, 8(9): 887-912.

Williams, DL., & Muchena, ON. (1991). Utilizing indigenous knowledge system in agricultural education to promote sustainable agriculture. *Journal of Agricultural Education*, 32(4), 25-57. <https://doi.org/10.5032/jae.1991.04052>

فرهادی، مرتضی. (۱۳۹۴). سنجه‌هایی در زمان ناسنجی و تقویم نادری دهقانان ایرانی، دو فصلنامه‌ی دانش بومی ایران، ۲(۴)، ۵۵-۱. doi: [10.22054/qjik.2016.7516](https://doi.org/10.22054/qjik.2016.7516)

فرهادی، مرتضی (۱۳۹۶). آزار «مکل مکل مکنیگی» («دیوک» چاهی). ویرانگرترین و دهشت‌انگیزترین زیرگونه «اقتصاد بادآورده» و پسامدهای اقتصادی و اجتماعی آن. فصلنامه‌ی علوم اجتماعی، ۲۴(۷۷)، ۹۸-۱. doi: [10.22054/qjss.2017.7926](https://doi.org/10.22054/qjss.2017.7926)

Chambers, R. & Conway, G. (1992). Sustainable Rural Livelihoods Practical Concepts for the 21st Century. IDS Discussion Paper 296, IDS, Brighton.

FAO. (2018). Addressing water scarcity in agriculture: how can indigenous or traditional practices help? FSN Forum Activity Report No. 151.

Grey, S. (2014). Indigenous Knowledge, Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research (pp.3229-

یکی از مزایای مهم دانش بومی، سازگاری آن با شرایط محلی و منطقه‌ای است. این دانش می‌تواند به‌طور موثری در مدیریت منابع طبیعی، حفاظت از تنوع زیستی و کاهش مخاطرات طبیعی مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال، کشاورزان بومی در مناطق خشک از روش‌های سنتی آبیاری استفاده می‌کنند که نه تنها بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد، بلکه از تخریب خاک نیز جلوگیری می‌کند.

راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت<sup>۱</sup> به استراتژی‌ها و اقداماتی گفته می‌شود که از فرایندها و سیستم‌های طبیعی برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی استفاده می‌کنند. این راه‌حل‌ها می‌توانند شامل احیای جنگل‌ها، مدیریت پایدار اراضی، بازسازی اکوسیستم‌های تالابی و استفاده از زیرساخت‌های سبز شهری باشند.

راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت مزایای چندگانه‌ای دارند. آن‌ها نه تنها به کاهش اثرات تغییرات اقلیمی کمک می‌کنند، بلکه موجب افزایش تنوع زیستی، بهبود کیفیت هوا و آب، و فراهم آوردن فرصت‌های اقتصادی و اجتماعی برای جوامع محلی می‌شوند. به عنوان مثال، ایجاد فضاهای سبز شهری می‌تواند به کاهش دمای هوا، جذب کربن و فراهم کردن محل‌های تفریح و استراحت برای شهروندان کمک کند.

دانش بومی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت می‌توانند به‌طور هم‌افزا عمل کرده و در کنار هم به تحقق اهداف توسعه پایدار کمک کنند. ترکیب این دو مفهوم می‌تواند به ایجاد راه‌حل‌های محلی و مؤثر برای مقابله با مشکلات زیست‌محیطی کمک

## یادداشت کوتاه

### دانش بومی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت: پیوندی برای آینده پایدار



سید محمد مهدی نوربخش / دبیر ستاد توسعه اقتصاد دانش‌بنیان آ. ا. ا. و محیط‌زیست معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست‌جمهوری

در عصر تغییرات اقلیمی و بحران‌های زیست‌محیطی، نیاز به راه‌حل‌های پایدار بیش از پیش احساس می‌شود. دانش بومی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت دو ابزار قدرتمند برای مقابله با این چالش‌ها هستند. گفتار پیش‌رو مدخلی است به موضوع نقش دانش بومی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت در مدیریت منابع آب و سعی شده ارتباط بین این دو مقوله در دستیابی به توسعه پایدار به اختصار شرح داده شود.

دانش بومی، یعنی دانش وابسته به بوم (سرزمین)، و به دانشی گفته می‌شود که در جوامع محلی با انتقال تجارب (از نسلی به نسل دیگر) پدید می‌آید و می‌تواند در جنبه‌های مختلف زندگی (محیط زیست، کشاورزی، پزشکی، معماری و ...) بسط یابد. به همین دلیل دانش بومی، از سرزمینی به سرزمین دیگر تفاوت دارد. این دانش بالنده و پویا بوده، و اساساً در تعامل طولانی‌مدت با شرایط محلی (انسانی و طبیعی) و از طریق «پندآموزی مستمر» به دست می‌آید. سازوکار «مدیریت دانش» ابزاری برای سامان‌دهی دانش بومی است، که موجب انسجام و تسهیل فرآیند تکوین آن می‌گردد.

کند. به عنوان مثال، در مدیریت جنگل‌ها، دانش بومی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره گونه‌های گیاهی و جانوری، الگوهای بارندگی و مدیریت آتش‌سوزی فراهم کند. این اطلاعات می‌توانند به طراحی و اجرای برنامه‌های احیای جنگل‌ها که مبتنی بر فرآیندهای طبیعی هستند، کمک کنند.

باید توجه داشت که در مفهوم توسعه پایدار، سه جنبه اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به طور کامل در تعامل هستند و از این منظر نقش دانش بومی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت را می‌توان در بطن توسعه پایدار تعریف نمود.

در ادامه با توجه به اهمیت موضوع آب و به عنوان یک مصداق در زمینه بکارگیری دانش بومی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت، با مرور سیستماتیک ادبیات نظری و شیوه تحلیلی، مختصراً به بررسی مفاهیم و اصول دانش بومی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت و استخراج ویژگی‌های این مفاهیم در مدیریت آب پرداخته می‌شود و از طریق تطبیق با مفهوم توسعه پایدار، ارزش‌های افزوده تلفیق این دو موضوع و همچنین موانع مفهومی و اجرایی آن تحلیل خواهد شد.

توجه به دانش بومی آب به عنوان بخش غیر قابل اجتناب و انکارناپذیر از تاریخ مدیریت آب، می‌تواند در حل مسائل امروز به نحو کارآمدی به کار گرفته شود. از گذشته محدودیت‌های آبی به واسطه اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، در این سرزمین وجود داشته و همین محدودیت جامعه را به تکاپوی رفع معضلات واداشته بود.

آب‌بند، آب‌انبار و قنات‌هایی که در مناطق مختلف ایران متناسب با نوع اقلیم ساخته شده‌اند و یا روش‌های مدیریت آبی توسط میراب‌ها نمونه‌هایی از دانش بومی هستند که به صورت نظام‌مند ایجاد شده‌اند و دانش آن از نسلی به نسل دیگر منتقل شده است.

دانش بومی عمدتاً در یک منطقه جغرافیایی محدود، توسعه می‌یابد و در روند زندگی مردم اثرگذار است. این دانش مربوط به یک نسل یا گروه نیست؛ بلکه در دوران مختلف، در قالب یک فرهنگ شکل می‌گیرد و بر تجربه گذشته استوار بوده و با فرهنگ و محیط سازگار است. نکته حائز اهمیت این است که در حال حاضر نیز دانش بومی مسأله‌ای قابل تولید می‌تواند باشد.

از سوی دیگر، طبیعت نیز در اعصار مختلف و در نتیجه تعادل بلندمدت، به خودی خود راه‌حل‌هایی برای نفوذ آب به سفره‌های زیرزمینی، حفظ خاک، فرآیندهای فیلتراسیون آب قبل از رسیدن به رودخانه‌ها یا دریا را دارد، اما زمانی که زیست‌بوم آسیب‌دیده یا تخریب شده باشد، توانایی انجام این وظایف خود را از دست می‌دهد و لازم است این فرآیندها بازسازی شوند.

راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت که به دست بشر اجرا می‌شوند، از طبیعت الهام گرفته‌اند و از فرآیندهای طبیعی برای کمک به

بهبود مدیریت آب تقلید می‌کنند. به عنوان مثال، حفاظت از منابع آب می‌تواند از طریق تمرکز بر مناطق تغذیه آبخوان انجام شود یا بازسازی زیستگاه رودخانه با جلوگیری از رسیدن آلاینده‌ها به رودخانه صورت پذیرد که به تنظیم دمای آب کمک می‌کند، یا احیای جنگل، فرسایش خاک را کاهش می‌دهد و ضمن جذب کربن زیست‌بوم را احیا می‌کند.

تا کنون تلاش‌های فراوانی در داخل و خارج کشور برای معرفی و مستندسازی دانش بومی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت در بخش آب صورت گرفته و این تلاش‌ها همچنان در حال گسترش است. به منظور آشنایی خوانندگان محترم با بدنه دانش این حوزه، عناوین برخی از این مقالات در ادامه آمده است.

«جایگاه تاریخی کاریز در خراسان و نقش آن در تولیدات فرهنگی-اجتماعی»، عنوان مقاله‌ای پژوهشی به قلم آقایان پرنیانی و قشنگ در سال ۱۴۰۲ است، که به نقش کاریز در سازگاری با خشکسالی، قناعت در مصرف آب و بهره‌مندی از کار جمعی و نقش آن در سبک زندگی مردم می‌پردازد.

فاطمه مرادی و همکاران در سال ۱۴۰۱، مقاله‌ای را بر اساس انجام کار میدانی و مطالعات جانبی منتشر کردند که در آن «نقش انواع راهکارها و دانش بومی در مدیریت منابع آب شهرستان زیرکوه» را که با هدف تأمین آب، افزایش آبدهی قنات و کنترل سیلاب‌ها انجام می‌شود، تبیین نموده‌اند.

مقاله دیگری در سال ۱۴۰۱ با عنوان «عقلانیت اکولوژیک، بنیان فکری در میراث آبی برای توسعه و هم‌تکاملی نظام‌های پیوسته انسان - آب» توسط خانم ردایی و همکارانشان منتشر شده است که هدف آن تدوین چارچوب مفهومی بسط سیر تکاملی هیدرولوژی اجتماعی مبتنی بر بنیان فکری عقلانیت اکولوژیک حاکم بر میراث آبی کهن بوده است.

خانم افزلی در مقاله خود با عنوان «آسیاب آبی قطبیه یکی از سازه‌های آبی برگرفته از دانش بومی در دشت سیرجان» در سال ۱۴۰۰، به یکی از مصادیق دانش بومی ایرانیان در حوزه آب پرداخته است.

«مدیریت بومی منابع آب در منطقه کاشان» موضوع مقاله‌ای است که آقایان لطیفی و شهری در سال ۱۳۹۸ منتشر نموده‌اند و در آن به چهار مؤلفه کلیدی مدیریت بومی منابع آب با عنوان: (الف) دانش بومی؛ (ب) مشارکت ذی‌نفعان و یاری آن‌ها به یکدیگر؛ (ج) رفاقت با مفهوم محوری خیرخواهی؛ و (د) دوراندیشی پرداخته‌اند که شامل توجه به نیازهای نسل کنونی و آینده است.

ذکر بیشتر فعالیت‌های پژوهشی صورت گرفته، در این یادداشت فراهم نبوده و مراجعه به مقالات تخصصی منتشر شده در دو فصلنامه علمی-پژوهشی دانش بومی ایران که به همت دانشگاه علامه طباطبایی از سال ۱۳۹۰ در حال انتشار است، به علاقمندان توصیه می‌شود.

مستندسازی و تبیین نقش دانش بومی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت در مدیریت منابع آب، در پژوهش‌های بین‌المللی نیز به صورت قابل ملاحظه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. برای نمونه، زووبگو و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی نقش دانش بومی در سازگاری بخش آب با تغییرات آب و هوایی در آفریقا پرداختند و مشخص نمودند که کشورهای آفریقایی از مناطقی هستند که در آنها از دانش بومی غنی برای سازگاری با تغییرات آب و هوایی استفاده می‌شود. در یک مثال دیگر، اوارستو و همکاران (۲۰۲۲)، سیستم‌های هشدار اولیه سیل در باروتسه زامبیا که توسط دانش بومی جوامع محلی ایجاد شده را بررسی نمودند. این دانش بومی پیامدهای مستقیمی بر گزینه‌های معیشتی رفاه خانوارهای آنها دارد و مبتنی بر مشاهدات تغییرات آب و هوا، سطح آب، و رفتار حیوانات است. دانش بومی موجود در زامبیا از طریق یک شبکه ارتباطی خاص منتشر می‌شوند و قابلیت رقابت با روش‌های رایج در پیش‌بینی سیل را در سطح گسترده دارد. راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت برای تاب‌آوری آب برای دستیابی به کشاورزی پایدار و شهرنشینی در جنوب صحرای آفریقا، در مقاله آرتمن و همکاران (۲۰۱۸) بررسی شده است. در این پژوهش، سازگاری بخش آب و هوایی در آفریقا و ارزیابی ساختار یافته کشاورزی پایدار در آفریقا بررسی شده است. در مناطق خشک آفریقا، کشاورزان بومی از روش‌های سنتی مانند «زی هولز» برای حفظ رطوبت خاک و افزایش تولید محصول استفاده می‌کنند. این روش‌ها با استفاده از دانش بومی و الگوهای طبیعی، به مقابله با خشکسالی و کاهش فرسایش خاک کمک می‌کنند.

مدیریت آب در کشورهای جنوب شرق آسیا با سیستم‌های آبیاری سنتی مانند «سبک‌های تراس‌بندی» برای کشت برنج صورت می‌پذیرد. این سیستم‌ها نه تنها بهره‌وری آب را افزایش می‌دهند، بلکه به حفظ تنوع زیستی و جلوگیری از رانش زمین نیز کمک می‌کنند. بازسازی تالاب‌ها در برخی مناطق اروپا در قالب پروژه‌های بازسازی تالاب‌ها با استفاده از دانش بومی و

فرآیندهای طبیعی اجرا شده‌اند. این پروژه‌ها به بهبود کیفیت آب، افزایش تنوع زیستی و کاهش خطر سیلاب‌ها کمک کرده‌اند. همانطور که در ابتدا اشاره شد، دانش بومی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت، دو ابزار قدرتمند برای مدیریت پایدار محیط زیست هستند. این دو مفهوم می‌توانند به طور هم‌افزا عمل کنند و راه‌حل‌های محلی و مؤثر برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی ارائه دهند. برای بهره‌برداری کامل از این پتانسیل، نیاز به شناسایی، مستندسازی و حمایت از دانش بومی و تقویت همکاری‌های بین‌المللی و بین‌رشته‌ای است. تنها با تلاش مشترک و استفاده از این دو منبع ارزشمند می‌توان به آینده‌ای پایدار و زیست‌محیطی دست یافت. همچنین موانع اجرایی نیز شامل ضعف ارتباطات بین‌نهادی، ارتباط نهادها با ذینفعان و همچنین ابعاد زمانی-مکانی می‌شود. با وجود مزایای فراوان، استفاده از دانش بومی و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت با چالش‌هایی نیز مواجه است. یکی از چالش‌های اصلی، فقدان شناسایی و مستندسازی کافی دانش بومی است. بسیاری از این دانش‌ها در خطر فراموشی قرار دارند و نیاز به حفاظت و انتقال به نسل‌های آینده دارند.

همچنین به دلیل جایگزینی روش‌های نوین در مدیریت آب که توسط مراکز دولتی اجرا می‌شود، نظام‌های اجتماعی که دانش بومی را حفظ کرده و به نسل بعد منتقل می‌نمودند، نقشی در مدیریت آب نداشته و کمرنگ و یا حذف شده‌اند.

علاوه بر این، ترکیب دانش بومی با راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت نیازمند همکاری بین‌المللی و بین‌رشته‌ای است. باید ارتباطات و همکاری‌های نزدیک بین جوامع محلی، پژوهشگران، سیاست‌گذاران و سازمان‌های غیردولتی تقویت شود تا از ترکیب این دانش‌ها به بهترین نحو استفاده شود.

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

## Energy Production and Rainwater Harvesting From the Greenhouse Roof in Bashagard Region

M. Zarezadeh<sup>1\*</sup>, S. Khwarazmi<sup>2</sup>, H. Mansouri<sup>3</sup>

1- Ph.D. in Sea Hydrology, Department of Energy and Environment. Iranian National Standard Organization, Bandar Abbas, Iran. 2- Ph.D. in Meteorology and Climate, Forecasting Expert of Hormozgan, General Department of Meteorology, Bandar Abbas, Iran. 3- MSc in Metallurgy, Technical Director of Inspection, Nik Azmai Hormozgan Co, Bandar Abbas, Iran.

\*(Corresponding Author Email: majid\_zarezadeh\_nu@yahoo.com)

Received: 14-11-2023

Revised: 29-02-2024

Accepted: 06-03-2024

Available Online: 30-05-2024

## تولید انرژی و استحصال آب باران از بام گلخانه در منطقه بشاگرد

مجید زارعه‌زاده<sup>۱\*</sup>، سعیده خوارزمی<sup>۲</sup>، هدا منصوری<sup>۳</sup>

۱- دکتری هیدرولوژی دریا، کارشناس انرژی و محیط‌زیست، اداره کل استاندارد هرمزگان، بندرعباس، ایران. ۲- دکتری هواشناسی و اقلیم، کارشناس مسئول پیش‌بینی، اداره کل هواشناسی استان هرمزگان، بندرعباس، ایران. ۳- کارشناسی ارشد متالورژی، مدیر ارشد بازرسی، شرکت نیک آزمای هرمزگان، بندرعباس، ایران.

\*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: majid\_zarezadeh\_nu@yahoo.com)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶

### Abstract

Water supply with new methods has always been emphasized by researchers and statesmen. Water scarcity and droughts in recent years in Iran have pushed the agricultural approach from traditional methods to modern methods, especially greenhouse cultivation. The advantages of this cultivation in reducing the wastage of energy and water, as well as the possibility of controlling pests and diseases, have led to an increase in the use of this method in the country. Nowadays, the use of solar panels as the roof of the structure to provide renewable energy has also been added to this process. In this research, the construction of a greenhouse structure with a roof covered with organic solar panels with south-direction and east-west orientations has been investigated by selecting a part in the Bashagard area of Hormozgan province. Modeling using PVSol software showed that the energy produced from these two types of east-west and south-direction coverage is 54293565 and 43697736-kilowatt hours per year, respectively. In addition to the aspect of energy production, based on the estimations, the roof slope was used and a piping system was created to collect rainwater in the study area, about 7500 cubic meters of rainwater was collected, which is about 4% of the amount of water consumed in this greenhouse complex.

**Keywords:** Solar Panel Roof, Renewable Energy Production, Sustainable Development, Rainwater Harvesting, Greenhouse Cultivation.

### چکیده

تأمین آب با روش‌های نوین همواره مورد تأکید پژوهشگران و دولتمردان بوده است. کم‌آبی و خشکسالی‌های چند سال اخیر در کشور ایران، رویکرد کشاورزی را از شیوه‌های سنتی به سمت شیوه‌های نوین، به ویژه کشت گلخانه‌ای، سوق داده است. مزایای این کشت در کاهش هدررفت انرژی، آب و همچنین امکان کنترل آفات و بیماری‌ها، منجر به افزایش به‌کارگیری این شیوه در کشور شده است. امروزه به‌کارگیری پنل‌های خورشیدی به‌عنوان بام سازه برای تأمین انرژی تجدیدپذیر نیز به این فرایند افزوده شده است. در این پژوهش با انتخاب بخشی در منطقه بشاگرد استان هرمزگان، ساخت سازه گلخانه با سقف پوشش داده شده با پنل‌های خورشیدی ارگانیک با جهت‌گیری‌های جنوب-سو و شرق-غرب بررسی شده است. مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PVSol نشان داد انرژی تولیدی از این دو نوع پوشش شرق-غرب و جنوب-سو به ترتیب ۵۴۲۹۳۵۶۵ و ۴۳۶۹۷۷۳۶ کیلووات ساعت در سال است. در کنار جنبه تولید انرژی، بر اساس تخمین و برآوردهای انجام شده، به‌کارگیری بام و قراردادن آن به شکل شیب‌دار باعث جمع‌آوری حدود ۷۵۰۰ مترمکعب آب ناشی از باران خواهد شد. این مقدار از آب جمع‌آوری شده در حدود ۴٪ از آب مصرفی این مجموعه گلخانه‌ای است.

**واژه‌های کلیدی:** بام پنل خورشیدی، تولیدی انرژی تجدیدپذیر، توسعه پایدار، جمع‌آوری آب باران، کشت گلخانه‌ای.



و تولید محصولات کشاورزی بررسی شده است. نتایج نشان داد تغییر سایه باعث تنظیم میزان تابش درون گلخانه، انتخاب حداقل مقدار تابش مورد نیاز و پارامترهای محیطی داخلی نظیر دما، رطوبت، گردش هوا و... باید با نیازهای گونه‌های گیاهی رشد یافته در گلخانه‌ها سازگار باشد (Marucci و Moretti، ۲۰۱۹). به‌کارگیری فناوری‌های روز در زمینه پنل‌های خورشیدی برای نصب بر روی سازه گلخانه نیز در سایر پژوهش‌ها بررسی شده است. اثر فتوولتائیک مجتمع ساختمانی نیمه‌شفاف (BIPV)<sup>۲</sup> نصب شده در بالای گلخانه بر رشد گوجه فرنگی و شرایط محیطی و همچنین برآورد انرژی تولید شده و دوره بازگشت این سیستم، تخمین زده شده است. در پژوهشی سه ماژول در ۲۰ درصد مساحت سقف گلخانه با زاویه شیب ۳۰ درجه رو به جنوب در فاصله ۸ سانتیمتری بین پوشش پلاستیکی و BIPV نصب شدند. نتایج نشان داد انرژی الکتریکی تولیدی سالانه ۶۳۷ کیلووات ساعت بود. علاوه‌براین، تفاوت معناداری ( $P > 0.05$ ) در رشد گوجه فرنگی بین گلخانه سایه‌دار توسط BIPV و گلخانه بدون سایه وجود نداشت (Hassanien و همکاران، ۲۰۱۸). در پژوهشی دیگر، مقایسه‌ای بین انواع پنل‌های خورشیدی با میزان عبور نور خورشید و تابش بررسی شده است. تأثیر ماژول‌های فتوولتائیک نصب شده در بالای گلخانه، بر رشد توت فرنگی و شرایط محیطی و همچنین برآورد انرژی تولید شده بررسی شد. یک گلخانه مجهز به ماژول‌های فتوولتائیک ارگانیک (OPV) بود که ۲۵/۹٪ از مساحت سقف را به خود اختصاص داد و دیگری مجهز به ماژول‌های فتوولتائیک نیمه‌شفاف (STPV)<sup>۳</sup> بود که ۲۰٪ از مساحت سقف را به خود اختصاص داد. محتوای جامدات محلول در توت فرنگی در گلخانه‌های OPV و STPV به ترتیب ۱۶/۴ و ۱۵/۷ میلی‌گرم در گرم بود که بیشتر از نمونه‌های بدون سایه بود. کیفیت و عملکرد نمونه‌های توت فرنگی در سایه OPV بهتر از نمونه‌های سایه STPV بود (Tang و همکاران، ۲۰۱۹). در کنار جنبه تولید انرژی پاک تجدیدپذیر، استحصال آب باران از بام ساختمان به توسعه پایدار مناطق کمک خواهد کرد. فرایند استفاده چندانکه از بام ساختمان و تأثیری که بر بهره‌وری تولید انرژی و جمع‌آوری آب دارد، پژوهشگران را به تحقیق و توسعه فناوری استفاده چندانکه از بام تشویق کرده است. تراکم بالا و ارزش زمین شیب‌دار، مردم را به بکارگیری از حداکثر فضاهای زنده و پر بار در محیط‌های شهری سوق داده است. به‌این منظور به‌کارگیری مجدد، عملکرد بام سازه‌ها بازتعریف شده است و از جنبه صرفاً محافظت در برابر حرارت، بارندگی و ... به سکویی برای فناوری‌های ساختمانی پایدار مانند بام‌های سبز، برداشت آب باران و تولید انرژی خورشیدی تبدیل شده است (Sheng و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی در کالج CIT، فرایند جمع‌آوری آب باران از تمام ساختمان‌های بخش اداری و پارکینگ خودروها

استفاده از آب باران و آب‌های موجود در اتمسفر برای تأمین آب شرب و آب مورد نیاز کشت و صنعت امروزه به شکل چشمگیری افزایش یافته است. این موضوع به ویژه در مناطق دوردست و دارای پتانسیل مناسب اقلیمی از لحاظ بارندگی، رطوبت، تابش و باد مناسب، کاربرد بیشتری داشته و به شکل عملیاتی انجام شده است. استفاده از این فناوری‌ها علاوه‌بر اینکه آثار مخرب محیط‌زیستی کمی داشته، موجب کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. امروزه این فناوری‌ها با ترکیب سیستم لوله‌کشی در گلخانه و پنل‌های خورشیدی نصب شده بر بام آن، منجر به افزایش بهره‌وری فرایند خواهد شد. استفاده چندانکه از فناوری برای تأمین انرژی، آب و غذا، رویکردی نوین در این نوع گلخانه‌ها است. فضای زیادی که پنل‌های خورشیدی نصب شده بر روی زمین اشغال می‌کنند یکی از نقاط ضعف و انتقاداتی است که به این نوع نیروگاه‌ها وارد می‌شود، بنابراین نصب آنها بر روی بام سازه و یا کانال‌های آب و مخازن پشت سدها، یکی از روش‌هایی است که از فضاهای غیرضروری برای نصب پنل استفاده شده است. مزیت نصب پنل خورشیدی بر روی بام گلخانه این است که علاوه‌بر رفع چالش فضای نصب آنها، بهره‌وری فرایند و تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه، یا حتی فروش مازاد انرژی تولیدی و ایجاد درآمد پایدار افزایش خواهد یافت. امروزه استفاده از پنل‌های خورشیدی ارگانیک (OPV)<sup>۱</sup>، بدون افزایش چشمگیری در جرم سازه زیرین، توسعه یافته است (Zarezadeh، ۲۰۲۴).

بررسی تحقیق و پژوهش‌های مشابه کمک زیادی به کاهش هزینه‌های پژوهشی می‌کند و استفاده از این تجربیات باعث کاهش زمان و همچنین بهبود روش‌های گذشته می‌شود. استفاده و کاربرد پنل‌های خورشیدی به‌عنوان سقف سازه در این سال‌ها رو به افزایش بوده و تحقیقات زیادی در مورد تأثیرات این روش انجام شده است. استفاده از فتوولتائیک‌های خورشیدی در گلخانه‌های کشاورزی می‌تواند منجر به تولید مشترک محصولات غذایی و انرژی شود. امکان‌سنجی فنی و اقتصادی استفاده از پنل‌های خورشیدی نیمه‌شفاف در پشت‌بام گلخانه‌ها در کرت یونان بررسی شده است. این گروه به این نتیجه دست یافتند که استفاده از پنل‌های خورشیدی نیمه‌شفاف در پشت‌بام گلخانه‌ها در این جزیره مزایای اقتصادی و محیط‌زیستی را برای کشاورز در پی خواهد داشت (Vourdoubas، ۲۰۲۰). پژوهش‌های فراوان در زمینه تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر به طور فزاینده‌ای منجر به توسعه گلخانه‌هایی شده که بخشی از بام آنها توسط پنل‌های خورشیدی پوشانده شده است. در مطالعه‌ای در این زمینه، پتانسیل یک نمونه اولیه گلخانه فتوولتائیک نوآورانه با سایه متغیر برای بهینه‌سازی تولید انرژی توسط پنل‌های فتوولتائیک

بررسی شد. در این پژوهش ابتدا داده‌های مورد نیاز از جمله پتانسیل جمع‌آوری رواناب از سطوح ساختمان‌های اداره‌ها و پارکینگ خودروها و میزان آب مورد نیاز استفاده در این ساختمان محاسبه شد. سپس ظرفیت مخزن با طراحی مناسب در نظر گرفته شد. در نهایت، طرح ناودان، تجزیه و تحلیل آن و مکانیسم فیلتراسیون نیز با جزئیات بیان شد. با انجام این پروژه، استحصال اقتصادی آب تمیز باران و انرژی پاک میسر شد. در این تحقیق هر محدوده پنل خورشیدی جمع‌آوری آب باران ۱ فوت مربع مساحت داشته و در مجموع ۶۰۰۰۰ لیتر آب در طول فصل بارندگی جمع شده است. همچنین انرژی را با حداکثر توان ۱/۵ کیلو وات تولید کرده و همه اینها به شرایط آب‌وهوایی و کارایی پنل‌های خورشیدی بستگی دارد (Vinayak و همکاران، ۲۰۲۰).

کشور ترکیه به طور فزاینده‌ای به منابع انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان ابزاری برای بهبود امنیت انرژی و کاهش وابستگی به گاز وارداتی از روسیه و ایران روی آورده است. در پژوهش‌هایی در کشور ترکیه، یک سیستم جمع‌آوری آب باران نوع نیروگاه فتوولتائیک (PVPPRWHS)<sup>۲</sup> در یک نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی (PV) متصل به شبکه ۶۰۰ کیلووات بررسی شده است. یک برداشت آزمایشی آب باران تنها در ۱۲۸ متر مربع از نیروگاه خورشیدی آلتینولوک، که دارای مساحت ۴۳۲۰ متر مربع است، انجام شد. این مطالعه نشان داد پتانسیل جمع‌آوری آب باران از بخش کوچکی از کارخانه PV تقریباً ۱۱۸ متر مکعب در سال است و سیستم برداشت زمانی که برای کل گیاه اعمال شود به ۱۶۴۶ متر مکعب در سال می‌رسد (Aktas و همکاران، ۲۰۲۱).

پژوهشی برای جلب توجه به اهمیت ارزیابی پتانسیل موجود در سقف ساختمان‌ها انجام شده است. این پژوهش ارزیابی انرژی خورشیدی و پتانسیل آب باران موجود در کل مساحت سقف ساختمان‌ها در منطقه ازمیت را ارائه می‌دهد، که یک منطقه مرکزی استان کوجاایلی، یکی از شلوغ‌ترین مراکز صنعتی در ترکیه است. در نتیجه این محاسبات نسبت انرژی الکتریکی قابل ارائه با سیستم‌های فتوولتائیک روی پشت بام‌ها برای پاسخگویی به مصرف برق سالانه منطقه ۲۰۳/۵۸۱٪ و نرخ استفاده سالانه انرژی خورشیدی برای یک خانواده ۴ نفره به دست آمد. دمای آب مصرفی روزانه ۲۴۰ لیتر به ۶۰ درجه سانتیگراد با سطح کلکتور ۸ متر مربع ۶۶ درصد محاسبه شد. علاوه بر این، نسبت آب بارانی که می‌توان از کل مساحت سقف ساختمان‌های موجود در منطقه برای تأمین آب مصرفی خانگی منطقه جمع‌آوری کرد ۳۳/۲۷٪ بود (Kaya، ۲۰۲۰).

در دهه گذشته، مناطق جنوبی کشور دچار خشکسالی و کم‌آبی چشمگیری شده‌اند. ادامه روند خشکسالی و محدودیت‌های آبی، برنامه‌های کشاورزی را با چالش جدی مواجه نموده است. استفاده از فناوری‌های نوین جمع‌آوری آب باران از بام گلخانه

و تولید انرژی پاک خورشیدی، راه‌حلی برای رفع حدودی چالش پیشرو است. شرایط اقلیمی و زمین‌های مناطق جنوبی ایران مستعد انجام این نوع پژوهش هستند. بررسی فنی و اقتصادی این موقعیت‌ها، کمک به‌سزایی در بهبود وضعیت کشاورزی، استحصال آب، تولید انرژی تجدیدپذیر و در نهایت بهبود فرایندها و ارتقا سطح کیفی خدمات کشاورزی است.

منطقه سردشت در بشاگرد شرایط اقلیمی و بارندگی‌های مناسبی دارد. این منطقه به خاطر داشتن خاک‌های حاصلخیز، یکی از قطب‌های مهم کشاورزی استان هرمزگان و حتی کشور است. این منطقه با کشت‌های خارج از فصل محصولات متفاوت صیفی‌جات و سایر میوه‌ها، یکی از تأمین‌کنندگان مهم کشور محسوب می‌شود. کشاورزی در این منطقه سنتی بوده و به علت فاصله زیاد نسبت به مرکز استان و جاده‌های سخت‌گذر، همواره با مشکلات جدی روبه‌رو است. بارندگی‌های سیل‌آسا ناشی از اقلیم مانسونی در این منطقه منجر به ایجاد مخازن طبیعی و دست‌ساز آب در بشاگرد شده است. بنابراین این منطقه به‌عنوان منطقه مورد مطالعه برای مدل‌سازی نصب گلخانه با سیستم جمع‌آوری آب باران در بام که پنل خورشیدی دارند، انتخاب شد.

#### مواد و روش‌ها

در پژوهش پیشرو، رویه کاری با بررسی منابع، پژوهش‌ها و تحقیقات مشابه آغاز شده است. پس از مطالعه طرح‌های مشابه، انتخاب موقعیت مناسب با توجه به جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و فنی که جنبه فنی شامل پتانسیل کشاورزی، جمع‌آوری آب و تولید انرژی است، صورت پذیرفته است. به‌منظور یافتن پایلوت مناسب در شهرستان بشاگرد که پتانسیل کشاورزی خوبی دارد و از لحاظ توپوگرافی و شیب منطقه نیز مناسب است، بررسی‌های لازم انجام، و شرایط آن توسط نرم‌افزار ArcGIS صورت پذیرفته است. استانداردهای متفاوت لوله‌کشی برای طراحی سیستم‌های جمع‌آوری آب باران، بر اساس میزان حجم آب، افت فشار، سرعت دبی آب و... ابعاد لوله‌ها را پیشنهاد می‌دهد (Zarezadeh، ۲۰۲۳).

همچنین بر اساس میزان داده‌های آماری بارندگی‌های منطقه می‌توان برآوردی از حدود آب جمع‌آوری شده را ارائه نمود. با این برآورد و حجم آب مصرفی و یا آب تأمین شده از سایر منابع، میزان مخازن مورد نیاز به‌دست می‌آید. محاسبات مرتبط با برآورد آن تخمین زده شده در روابط (۱ تا ۷) در m-file در نرم‌افزار MATLAB فرمول‌نویسی و در محیط این نرم‌افزار اجرا شد.

طراحی سازه گلخانه و سیستم لوله‌کشی بخش بعدی است. در انتها شبیه‌سازی نصب پنل خورشیدی بر روی بام سازه گلخانه و تخمین میزان آب جمع‌آوری شده باران از بام این سازه‌ها انجام شد.



شکل ۲- نمایی از نقاط چهار گوشه منطقه انتخاب شده بر اساس معیارهای فنی انتخاب موقعیت نصب گلخانه و پنل خورشیدی

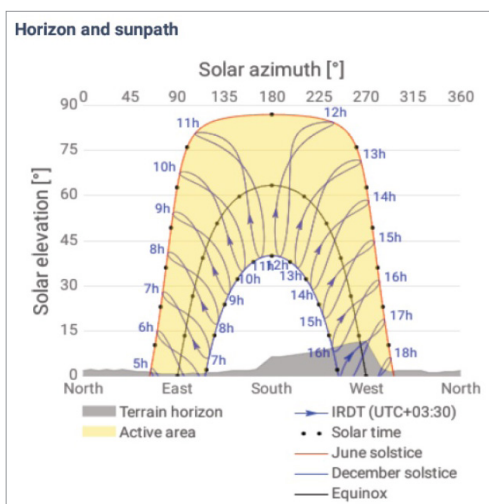
### - بررسی شرایط اقلیمی و تابش منطقه

منطقه بشارگرد اقلیم گرم و خشک دارد. به منظور به دست آوردن نتایج مناسب و دارای انطباق مناسب با محاسبات عددی، داده‌های اقلیمی ۲۰ سال گذشته این منطقه از داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سردشت استفاده شد (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین داده اقلیمی و تابش در منطقه بشارگرد بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سردشت

| ردیف | عنوان کمیت           | مقدار | یکای اندازه‌گیری |
|------|----------------------|-------|------------------|
| ۱    | میانگین ساعت تابش    | ۲۸۳   | ساعت/ماه         |
| ۲    |                      | ۱۱/۱  | ساعت/روز         |
| ۳    | میانگین دمای ماهانه  | ۲۷/۹  | درجه سلسیوس      |
| ۴    | میانگین رطوبت ماهانه | ۲۸/۹۳ | درصد             |
| ۵    | میانگین سرعت باد     | ۹/۵   | m/s              |

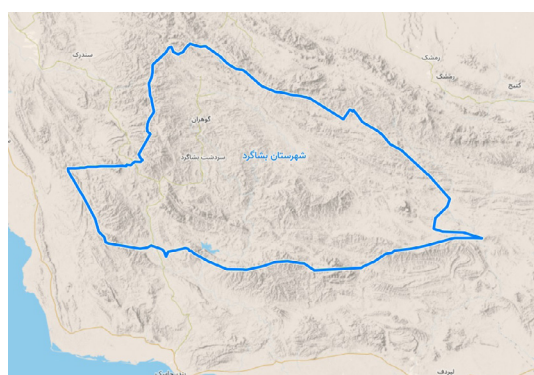
پس از شرایط اقلیمی، عامل مهم و اثرگذار دیگر که در کشت، کشاورزی و همچنین تعیین موقعیت مناسب برای نصب پنل خورشیدی ضروری است، تعیین مسیر خورشید<sup>۲</sup> می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳- مسیر خورشید در منطقه سردشت بشارگرد اخذ شده از پایگاه داده [globalsolaratlas.info](http://globalsolaratlas.info)

### - تعیین مکان نصب سازه

شهرستان بشارگرد منطقه‌ای نسبتاً وسیع در استان هرمزگان با مساحتی در حدود ۸۷۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد و بر اساس آخرین سرشماری، جمعیت این شهرستان حدود ۳۵۰۰۰ نفر است. توپوگرافی منطقه بشارگرد عمدتاً کوهستانی است و بخش‌های کمتری از آن حالت جلگه و دشت دارند. برای یافتن مکان مورد نظر با استفاده از روش AHP<sup>۵</sup> و به کارگیری نرم‌افزار ArcGIS و با در نظر گرفتن عواملی مانند دسترسی به جاده، میزان تابش خورشید در منطقه، توپوگرافی و شیب منطقه، حاصلخیزی خاک برای کشت، از میان مناطق موجود منطقه‌ای با وسعت حدود ۲۵ هکتار انتخاب شد (George, ۲۰۱۲). در شکل (۱) نمایی از شهرستان بشارگرد بر روی تصویر ماهواره‌ای و در جدول (۱) موقعیت نقاط انتخابی برای شبیه‌سازی نصب سازه گلخانه و نصب پنل خورشیدی به عنوان بام ارائه شده است.



شکل ۱- نمایش محدوده شهرستان بشارگرد بر روی تصویر ماهواره‌ای

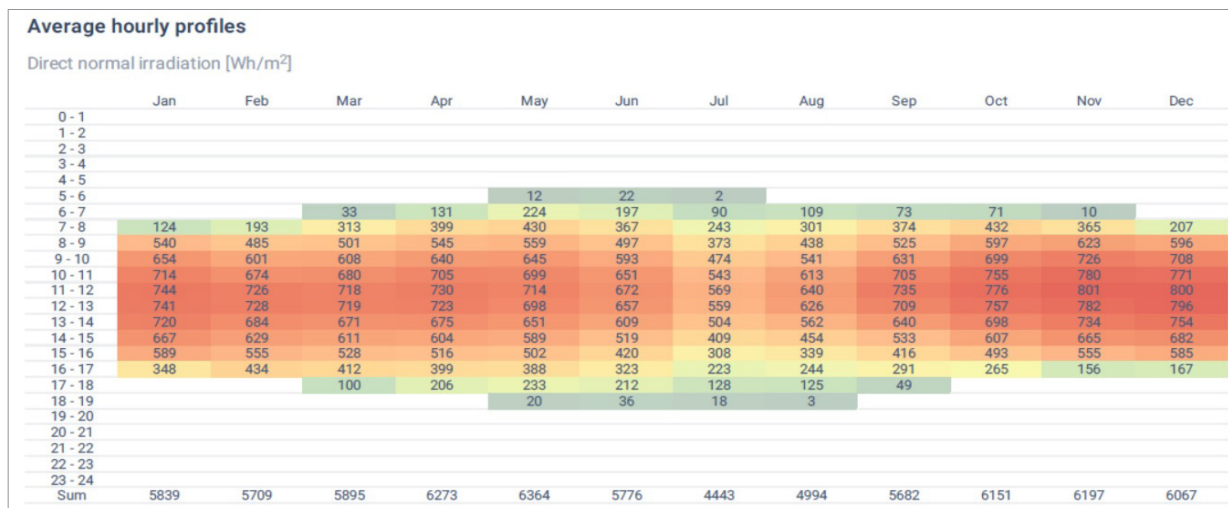
جدول ۱- موقعیت مکانی نقاط انتخاب شده برای شبیه‌سازی نصب سازه گلخانه و نصب پنل خورشیدی به عنوان بام

| شماره  | طول جغرافیایی<br>(درجه، دقیقه، ثانیه) | عرض جغرافیایی<br>(درجه، دقیقه، ثانیه) |
|--------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| نقطه ۱ | ۵۷° ۵۴' ۱۳/۹۹" E                      | ۲۶° ۴۷' ۱۸/۵۴" N                      |
| نقطه ۲ | ۵۷° ۵۳' ۴۷/۳۹" E                      | ۲۶° ۴۷' ۲۰/۳۹" N                      |
| نقطه ۳ | ۵۷° ۵۳' ۴۸/۶۷" E                      | ۲۶° ۴۶' ۵۶/۹۳" N                      |
| نقطه ۴ | ۵۷° ۵۴' ۱۰/۷۴" E                      | ۲۶° ۴۷' ۰۹/۰۳" N                      |

نمایی از تصاویر موقعیت انتخابی برای نصب در شکل (۲) مشاهده می‌شود. این منطقه شیب ملایم به سمت جنوب داشته، و نزدیک به شبکه برق و جاده تردد خودرو برای انتقال تجهیزات و محصولات کشاورزی است. سازندهای اطراف این قطعه زمین به شکلی نیست که اثر سایه‌اندازی بر روی آن تأثیرگذار باشد و آثار منفی روی تولید انرژی از پنل خورشیدی و همچنین کشت داشته باشد. نوع خاک منطقه نیز بر اساس آنالیز انجام شده گرید ۲ کشاورزی است و مناسب کشت می‌باشد.

از آنجاییکه مدت زمان تابش در تولید انرژی الکتریکی تجدیدپذیر و همچنین نیاز گیاهان گلخانه‌ای برای رشد و نمو ضروری است، بر اساس داده‌های پایگاه اطلاعاتی در مورد تابش منطقه مورد مطالعه، در کلیه سال حدود ۱۰ ساعت در روز، از ۷ صبح تا ۵ بعد از ظهر تابش مناسبی وجود دارد

(شکل ۴). در اردیبهشت تا تیر ماه این مدت زمان به ۱۲ ساعت افزایش می‌یابد. این موضوع یک نکته مثبت برای تولید انرژی و تابش مورد نیاز برای کشت است. ازطرفی میزان بالای این تابش منجر به افزایش تبخیر، به ویژه تبخیر آب‌های سطحی خواهد شد.



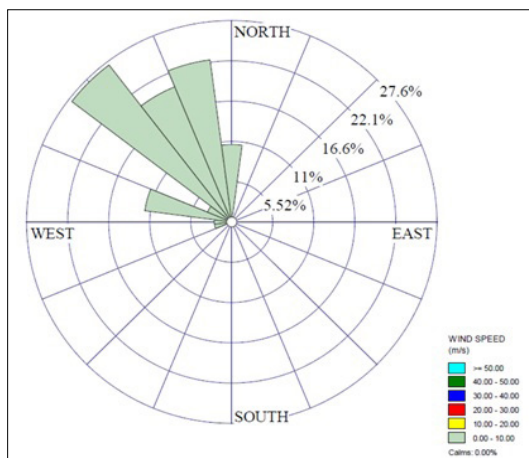
شکل ۴- میزان تابش عمودی در منطقه سردشت بشاگرد از پایگاه داده globalsolaratlas.inf

در جدول (۳) مشاهده می‌شود بارندگی در ماه‌های مرداد و شهریور در منطقه افزایش پیدا کرده است که تحت تأثیر هوای مانسونی منطقه این بارندگی‌های سیل‌آسا و شدید روی می‌دهد، زمانی که به علت افزایش دمای هوا و گرمای شدید و تبخیر آب‌های سطحی، تأمین آب کشاورزی چالش جدی در این منطقه است (Armesh و همکاران، ۲۰۱۹؛ زارع‌زاده و منصوری، ۱۴۰۲). این پتانسیل نهفته با استفاده از فناوری‌های نوین مانند ایجاد بندهای سطحی، جمع‌آوری آب باران از بام سازه و ... قابلیت عملیاتی شدن خواهد داشت.

جهت باد غالب در منطقه اهمیت زیادی دارد. این موضوع در پروژه‌ای که در آن هدف نهایی به‌دست آوردن انرژی از پنل خورشیدی بر روی بام سازه‌ای با وزن کم، همانند گلخانه و جمع‌آوری آب باران است نقش تعیین‌کننده‌ای خواهد داشت. در این پژوهش در نظر گرفتن سرعت و جهت باد در نحوه نصب پنل‌های خورشیدی و ایجاد بادشکن لازم است. بر اساس داده‌های به‌دست آمده از ایستگاه هواشناسی سردشت و به کمک نرم‌افزار WRPlot، گلباد حاصل از میانگین داده‌های باد غالب به‌دست آمد. بر اساس این گراف، جهت باد غالب منطقه شمال غرب است (شکل ۵).

جدول ۳- میانگین ماهانه بارندگی ۲۰ ساله شهرستان بشاگرد

| ردیف | ماه      | میانگین بارندگی (mm) |
|------|----------|----------------------|
| ۱    | فروردین  | ۷/۱۱                 |
| ۲    | اردیبهشت | ۳/۹۸                 |
| ۳    | خرداد    | ۴/۴۱                 |
| ۴    | تیر      | ۵/۴۳                 |
| ۵    | مرداد    | ۱۰/۳۴                |
| ۶    | شهریور   | ۹/۹۴                 |
| ۷    | مهر      | ۴/۲۲                 |
| ۸    | آبان     | ۲/۲۹                 |
| ۹    | آذر      | ۳/۴۷                 |
| ۱۰   | دی       | ۸/۳۸                 |
| ۱۱   | بهمن     | ۱۰/۴۹                |
| ۱۲   | اسفند    | ۷/۹۶                 |

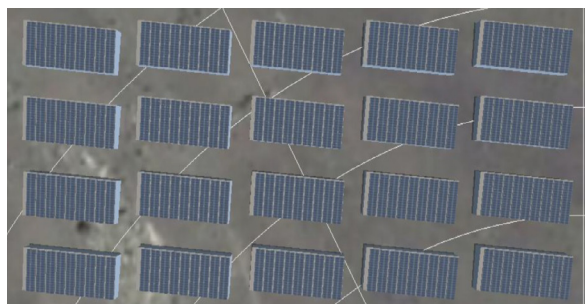


شکل ۵- گلباد باد غالب در منطقه بشاگرد



## - طراحی سازه و بام دارای پنل خورشیدی

باتوجه به منطقه انتخاب شده در شهرستان بشاگرد، قطعه زمین در حدود ۲۵ هکتار در نظر گرفته شد. به این منظور و باتوجه به دستورالعمل فنی ساخت سازه های گلخانه، ابعاد هر یک از این سازه ها مساحت سطح ۲۰ متر در ۵۰ متر و ارتفاع ۱۰ متر در نظر گرفته شد. از آنجایی که هدف اصلی در این طرح ایجاد گلخانه و جمع آوری آب باران از روی بام این سازه ها است، برای نقل و انتقال ابزار و تجهیزات و همچنین نصب و جایگذاری سیستم لوله کشی، بین هر یک از سازه ها ۱۰ متر فاصله در نظر گرفته شد. باتوجه به وسعت کل زمین انتخاب شده، ۱۵۰ سازه گلخانه در این مقیاس در زمین جایابی شد. به منظور نوردهی مناسب به گیاهان موجود در گلخانه ها، جهت گیری طولی این سازه ها شرقی-غربی در نظر گرفته شد (شکل ۶).



شکل ۶ - نمایی از سطح بالای سازه های گلخانه طراحی شده

باتوجه به نوع سازه طراحی شده، دو نوع نحوه نصب پنل با استفاده از نرم افزار PVSol نسخه ۲۰۲۱ شبیه سازی شد. دو سناریوی متفاوت برای نصب شامل پنل جنوب-سو و پنل شرق-غرب<sup>۶</sup> در نظر گرفته شد. علت استفاده از دو سناریوی متفاوت، رسیدن به نقطه بهینه است. این نقطه بهینه شامل مقدار مناسب تولید انرژی، تعداد پنل ها و همچنین کم کردن سیستم لوله کشی و ناودان است. تعداد پنل ها باید به شکلی باشد که جرم آنها منجر به فشار به بام سازه نشود.

به منظور جلوگیری از قطع نرم افزار حین اجرا و باتوجه به گرافیک بالا و حجم زیاد داده ها، شبیه سازی در چند بخش مجزا اجرا و در انتها نتایج با یکدیگر ترکیب شده اند. کلیه پنل ها و مبدل های به کار رفته در شبیه سازی یکسان و مشخصات فنی مشابه داشتند (جدول ۴).

جدول ۴- مشخصات پنل خورشیدی به کار رفته در شبیه سازی

| ردیف | عامل                     | کمیت/کیفیت  |
|------|--------------------------|-------------|
| ۱    | نوع سلول                 | پلی کریستال |
| ۲    | بیشینه ولتاژ توان        | ۳۸/۲۵       |
| ۳    | بیشینه جریان توان        | ۹/۰۲        |
| ۴    | ولتاژ مدار باز           | ۴۶/۰۷       |
| ۵    | شدت جریان اتصال کوتاه    | ۹/۵         |
| ۶    | توان نامی (W)            | ۳۴۵         |
| ۷    | ضریب پوشش (%)            | ۷۸/۸۳       |
| ۸    | بهره وری                 | ۱۷/۱۹       |
| ۹    | عرض پنل (mm)             | ۹۹۶         |
| ۱۰   | طول پنل (mm)             | ۲۰۱۵        |
| ۱۱   | مساحت سطح m <sup>۲</sup> | ۲/۰۱        |
| ۱۲   | جرم پنل kg               | ۲۲/۷        |
| ۱۳   | ضریب حرارتی خروجی K/%    | -۰/۳۷       |

## - طراحی سیستم لوله کشی

در بسیاری از مناطق گرم و خشک و نیمه خشک جمع آوری آب باران برای مصارف شرب و کشاورزی مهم است. فناوری جمع آوری آب باران از بام سازه، فناوری ارزان و مقرون به صرفه است. جمع آوری آب باران از بام سازه، علاوه بر ذخیره آب خانگی و اهداف کشاورزی، برای جلوگیری از فرسایش خاک نیز مفید است. در سیستم جمع آوری آب باران مهمترین فاکتورها شامل اقلیم، دانش فناوری و مهارت پایدار، زمین و رسوب شناسی، دسترسی به مصالح ساخت سازه مناسب می باشند. میزان بارش و الگوی آن برای امکان سنجی نصب سیستم های جمع آوری آب باران عامل بسیار مهمی است. برای یافتن سیستم لوله کشی از رابطه توماس باکس<sup>۸</sup> استفاده شد (Silva و همکاران، ۲۰۲۱):

$$q = \sqrt{[(d^5 \times H) / (25 \times L \times 10^5)]} \quad (1)$$

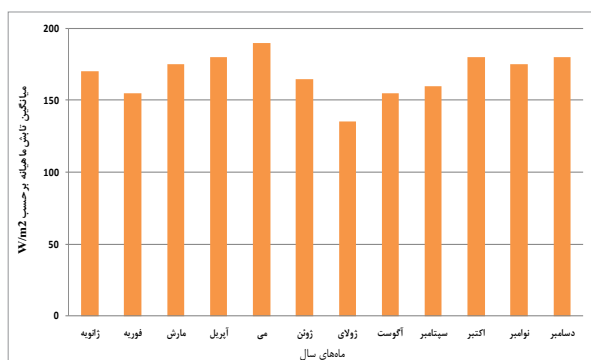
کمیت  $q$  تخلیه از لوله بر حسب لیتر بر ثانیه،  $d$  قطر لوله،  $H$  اختلاف ارتفاع آب هیدرولیک بر حسب متر،  $L$  کل طول لوله بر حسب متر است. جمع آوری کامل آب باران از روی بام سازه امکان پذیر نیست و در حالت بهینه تقریباً ۷۵٪ از آن قابل جمع آوری است و بقیه با تبخیر و دیگر هدررفت قابل استفاده و جمع آوری نیستند. برای مخزنی که ورودی و خروجی هایی دارد، معادلات مربوط برابر است با (Maheepala و Mashford، ۲۰۱۴):

$$V_{end} = V_{start} + R + P - E - S - L - Y \quad (2)$$

که در آن  $V_{end}$  و  $V_{start}$  حجم آب مخزن در شروع و پایان هر دوره زمانی اندازه گیری است،  $R$  میزان آب باران ورودی به داخل

## نتایج و بحث

از آنجایی که پژوهش انجام شده کارکرد چندگانه شامل تولید انرژی، جمع‌آوری آب و کشت گلخانه دارد، نتایج آن نیز به ترتیب بررسی و تحلیل خواهد شد. موقعیت تابش مناسب در منطقه بشاگرد پتانسیل بسیار خوبی برای تولید انرژی تجدیدپذیر در این منطقه است. نتایج خروجی مدل‌سازی در منطقه جغرافیایی مورد پژوهش نشان می‌دهد میانگین ماهانه تابش عمودی بیش از  $150 \text{ W/m}^2$  است (شکل ۷). این میزان تابش، منطقه را به یک قطب مناسب تولید انرژی تبدیل می‌نماید. باید در نظر داشت، به همان میزان که شدت تابش در تولید انرژی تجدیدپذیر مهم و چشمگیر است، در نگهداشت آب در منطقه نیز تأثیرگذار است زیرا تابش باعث افزایش میزان تبخیر آب، به ویژه آب‌های سطحی خواهد شد. بنابراین به‌کارگیری فناوری‌های نوین و به روز برای کاهش اثر تبخیر آب در اثر شدت تابش و دست یافتن به نقطه بهینه، که هم‌زمان تابش خورشید موجب تولید انرژی شود و با سیستم لوله‌کشی مناسب و بهینه‌یابی متراژ لوله‌کشی، کمک موثری در برابر چالش موجود است. موقعیت بهینه در این پروژه دست یافتن به بیشترین انرژی تولیدی و بیشترین آب جمع‌آوری شده باران از بام سازه در شرایط متفاوت نصب پنل خورشیدی و لوله‌کشی متفاوت است.



شکل ۷- میانگین تابش ماهیانه عمود بر سطح زمین در منطقه بشاگرد

از آنجایی که سازه گلخانه عموماً وزن کمی دارد، در مدل‌سازی از پنل سبک خورشیدی ارگانیک استفاده شده است. با این حال هر یک از سناریوهای نوع نصب و جهت‌گیری پنل خورشیدی، باتوجه به مساحت مفید و جهت‌گیری دارای تعداد متفاوت پنل و مبدل است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، نوع جهت‌گیری شرق-غرب تعداد بیشتری پنل را در خود جای داده، درحالی‌که تعداد مبدل‌ها در این نوع جهت‌گیری کمتر از حالت نصب جنوب-سو است (جدول ۵).

مخزن، P ورود مستقیم آب باران به درون مخزن، E میزان تبخیر آب باران درون مخزن، S مقدار ریزش از مخزن آب باران در اثر سرریز، I تلفات نشت (یا نشت) و Y میزان خروجی مخزن است. در حالتی که مخزن پوشیده باشد، آب ورودی مستقیم باران به مخزن، تبخیر صفر در نظر گرفته می‌شوند و می‌توان از تلفات نیز چشم‌پوشی کرد. در این حالت رابطه به شکل زیر خواهد شد (Maheepala و Mashford، ۲۰۱۴):

$$V_{\text{end}} = V_{\text{start}} + R - S - Y \quad (3)$$

تعیین و تخمین میزان آب باران جمع‌آوری شده، بر اساس حاصلضرب مساحت آبریز، در میانگین باران، ضریب عملکرد پوشش سقف در هدررفت و تبخیر، به دست می‌آید. برای یافتن حجم مخزن نیز بر اساس رابطه بیان شده این حجم بیان می‌شود. برآورد حجم مخزن به نحوه و میزان مصرف آب در دوره زمانی بستگی دارد. حجم مخزن برای یک دوره یک ماهه با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$V_t = V_{t-1} + (\text{میزان مصرف-بارندگی}) \quad (4)$$

$V_t$  میزان تخمینی حجم آب باقی‌مانده در مخزن در انتهای ماه،  $V_{t-1}$  حجم آب باقی‌مانده در مخزن از ماه قبل. اگر مخزن در ابتدا خالی باشد  $V_{t-1}$  صفر است. اگر پس از هر ماه  $V_t$  بیشتر از حجم مخزن ساخته شده باشد، آب مازاد از لوله تخلیه می‌شود. طراحی سازه بام ساختمان، تأثیر زیادی در میزان جذب آب باران دارد (Monteiro و همکاران، ۲۰۲۳). تغییرات دمایی ماهانه با بارندگی در منطقه رابطه دارد. برای تعیین ضریب رواناب<sup>۱</sup> کل دوره تجربی باید بررسی شود. بر اساس شرایط اقلیمی منطقه ضریب رواناب با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (Monteiro و همکاران، ۲۰۲۳):

$$C_M = [0.016(P_M + R_M)] / [(2T_M - T_{M-1})^{1.2}] \quad (5)$$

که در آن  $C_M$  ضریب رواناب در ماه M،  $P_M$  بارندگی ماه M،  $R_M$  آبیاری در ماه M بر حسب mm،  $T_M$  میانگین دمای هوا در ماه M بر حسب سلسیوس،  $T_{M-1}$  میانگین دمای هوا در ماه M-1 است. میزان رطوبت تأثیر بسیار زیادی در ظرفیت آب برگشتی دارد. ابعاد لوله به کار رفته در این سیستم براساس استانداردهای متفاوت لوله‌کشی، همانند DIN2448، ANSI Sch40، JIS-SGP و ... است. قطر داخلی لوله و میزان افت فشار ناشی از نصب با استفاده از روابط زیر برآورد می‌شود (Zarezadeh، ۲۰۲۳):

$$d = \sqrt{(Q_w / (3600 v) \times 4 / \pi)} \quad (6)$$

$$\Delta p = (\mu \cdot l \cdot v^2 \cdot p \cdot SG) / 2d \quad (7)$$

که در آن، I طول لوله بر حسب متر،  $Q_w$  آهنگ عبور آب بر حسب متر مکعب بر ساعت، d قطر داخلی لوله بر حسب متر، v سرعت آب بر حسب متر بر ثانیه،  $\Delta p$  افت فشار بر حسب پاسکال،  $\mu$  ضریب اصطکاک، و SG وزن مخصوص است. مقدار p چگالی آب  $1000 \text{ kg/m}^3$  در نظر گرفته می‌شود.



جدول ۵- وضعیت تعداد پنل و مبدل نصب شده بر روی هر سازه گلخانه

| ردیف | نوع جهت گیری پنل | تعداد پنل | تعداد مبدل | مساحت موثر پنل ها (m <sup>2</sup> ) |
|------|------------------|-----------|------------|-------------------------------------|
| ۱    | شرق-غرب          | ۳۰۶       | ۱۸         | ۸۵۶                                 |
| ۲    | جنوب سو          | ۲۵۸       | ۲۰         | ۷۲۱                                 |

علاوه بر مقایسه تعداد تجهیزات سیستم تولید انرژی تجدیدپذیر خورشیدی به کار رفته بر روی هر یک از سازه های گلخانه، خروجی عملکرد نهایی عامل موثر و لازم است که در موضوع اقتصاد انرژی و بهره فرایند اهمیت به سزایی دارد. این عوامل

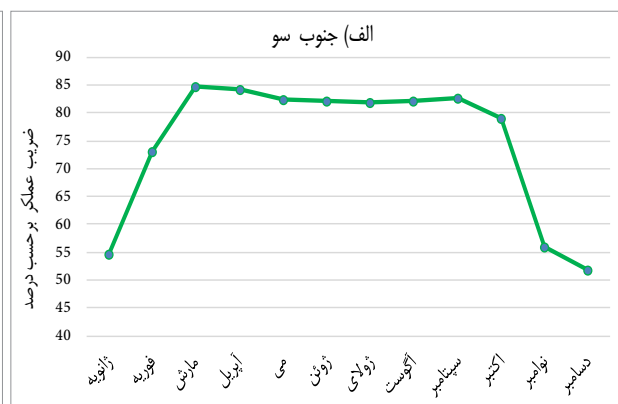
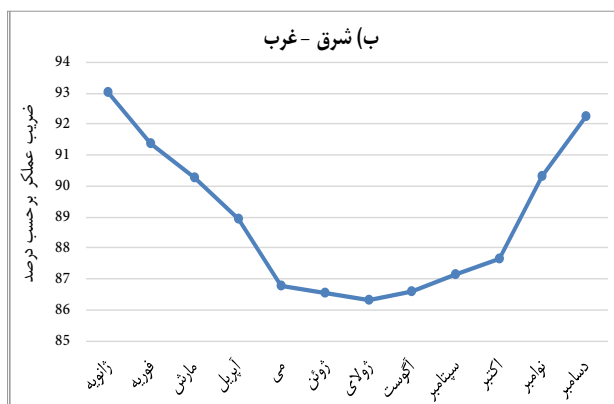
عبارتند از انرژی و توان تولیدی خروجی پنل های نصب شده، ضریب عملکرد و اثر کاهشی سایه اندازی که در جدول (۶) ارائه شده اند. بر این اساس انرژی تولیدی نوع نصب شرق-غرب ۲۰٪ بیش از حالت نصب جنوب-سو است. توان خروجی تولیدی در حالت شرق-غرب ۱۵٪ بیشتر از حالت نصب جنوب-سو است. ضریب عملکرد نیز در حالت نصب شرق-غرب ۸۸/۵٪ است که نسبت به حالت جنوب-سو، با که در آن ضریب عملکرد ۷۵/۲٪ تخمین زده شده، مقدار بسیار مناسبی است که نشان دهنده پتانسیل بسیار مناسب این منطقه برای تولید انرژی تجدیدپذیر خورشیدی است.

جدول ۶- عوامل خروجی مدل سازی برای کلیه سازه های گلخانه در منطقه تعیین شده

| ردیف | نوع جهت گیری پنل | انرژی تولیدی (year/kwh) | توان تولیدی خروجی (kW <sub>p</sub> ) | نسبت عملکرد (%) | اثر کاهشی سایه اندازی (سال/%) | بهره سالیانه مخصوص (kwh/kw <sub>p</sub> ) |
|------|------------------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| ۱    | شرق-غرب          | ۵۴۲۹۳۵۶۵                | ۲۸۹۱۷                                | ۸۸/۵            | ۰/۷                           | ۱۸۷۶/۶۶                                   |
| ۲    | جنوب سو          | ۴۳۶۹۷۷۳۶                | ۲۴۳۸۱                                | ۷۵/۲            | ۱۱/۵                          | ۱۷۹۲/۲۴                                   |

منجر به تفاوت معنادار در پارامترهای خروجی نحوه نصب بام جنوب-سو و شرق-غرب پنل های خورشیدی است. مقایسه ضریب عملکرد در حالت شرق-غرب و جنوب سو، نشان می دهد عملکرد ماهانه نحوه نصب شرق-غرب در منطقه بشاگرد بالاتر از حالت جنوب-سو است. میانگین ماهانه ضریب عملکرد در حالت نصب شرق-غرب سو همواره بیش از ۸۶٪ است و در فصل های پاییز و زمستان این ضریب عملکرد با توجه به چیدمان افزایش خواهد یافت (شکل ۸).

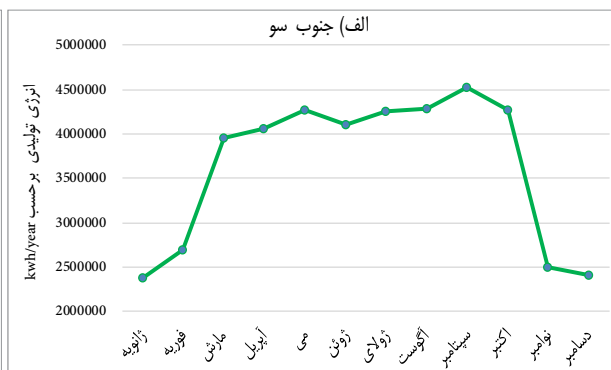
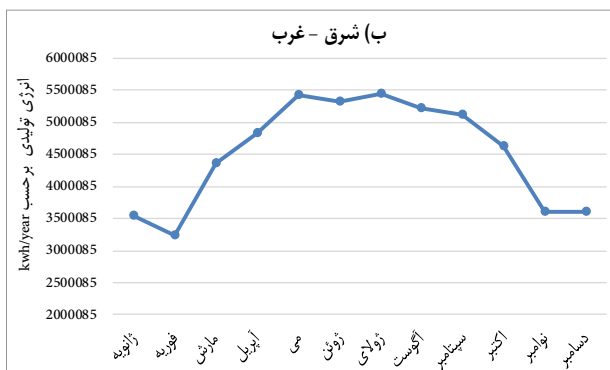
بر اساس نتایج خروجی محاسبات شبیه سازی، بهره سالانه مخصوص در نحوه نصب شرق-غرب نیز بیش از جنوب-سو است. عامل دیگری که می توان گفت یکی از عوامل اصلی کارکرد مناسب تر چیدمان شرق-غرب در این سازه نسبت به جنوب-سو است، اثر کاهشی سایه اندازی می باشد. به علت نوع چیدمان جنوب-سو، اثر سایه پنل ها بر روی یکدیگر باعث شده است ۱۱/۵٪ در سال اثر منفی در بهره توان تولیدی خروجی انرژی داشته باشد، در حالی که این اثر در چیدمان شرق-غرب ۰/۷٪ در سال است. این عامل مهم



شکل ۸- ضریب عملکرد ماهانه در حالت نصب پنل خورشیدی (الف) جنوب-سو (ب) شرق-غرب

نصب شرق-غرب بیش از حالت نصب جنوب-سو است. شکل (۹) میانگین ماهیانه انرژی تولیدی را نشان داده است.

متناسب با روند زمانی ضریب عملکرد پنل های نصب شده که در شکل ۸ مشاهده شد، انرژی الکتریکی تولید شده نیز در حالت



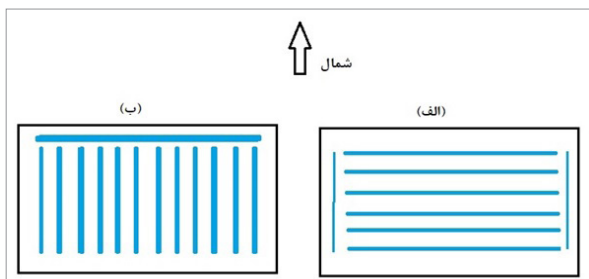
شکل ۹- انرژی الکتریکی تولیدی از پنل‌های نصب شده در حالت (الف) جنوب-سو و (ب) شرق-غرب

جدول ۷- برآورد آب جمع‌آوری شده از بام سازه‌های گلخانه در منطقه مورد مطالعه

| ردیف | نوع جهت‌گیری پنل بر روی بام سازه | برآورد بیشینه مقدار آب جمع‌آوری شده طی سال ( $m^3$ ) | حجم بیشینه مخزن مورد نیاز برای جمع‌آوری ماهیانه آب باران ( $m^3$ ) |
|------|----------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|      |                                  |                                                      |                                                                    |
| ۱    | شرق-غرب                          | ۷۴۹۰                                                 | ۱۰۰۰                                                               |
| ۲    | جنوب سو                          | ۶۳۳۰                                                 | ۹۰۰                                                                |

سیستم لوله‌کشی مورد نیاز برای هر یک از سازه‌های گلخانه، باتوجه به نوع و جهت‌گیری پنل‌های خورشیدی متفاوت است. بر همین اساس و با استفاده از استانداردهای متفاوت، لوله‌کشی یکسانی ندارند و ابعاد لوله‌کشی برای جمع‌آوری آب باران باتوجه به چیدمان پنل‌های خورشیدی نصب شده و زاویه آن با یکدیگر تفاوت دارد. بر اساس طراحی سه بعدی انجام شده توسط نرم‌افزار AutoCAD، برای هر یک از گلخانه‌ها در حالت بام با پنل شرق-غرب حدود ۲۶۰ متر سیستم لوله‌کشی و در بام با حالت پنل نصب شده جنوب-سو در حدود ۳۵۰ متر لوله‌کشی به کار می‌رود (شکل ۱۱).

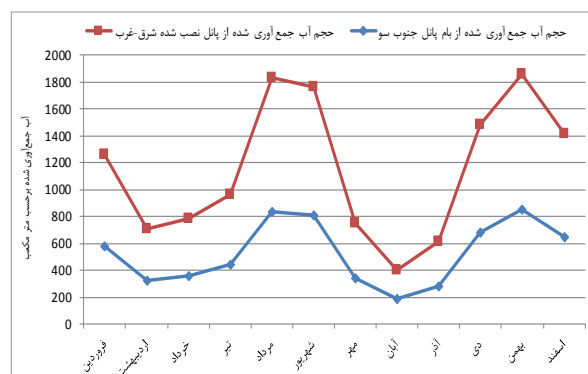
باتوجه به نوع چیدمان و باتوجه به روابط (۶) و (۷) داده‌های فنی سیستم لوله‌کشی برای هر یک از گلخانه‌ها در جدول (۸) ارائه شده است.



شکل ۱۱- نحوه سیستم لوله‌کشی در چیدمان پنل نصب شده بر بام سازه گلخانه (الف) جنوب-سو، و (ب) شرق-غرب

روند تولید انرژی و مقایسه بین دو حالت نصب پنل خورشیدی، نشان می‌دهد نحوه نصب شرق-غرب در این منطقه بهره مناسب‌تری داشته و مساحت مفید بکار رفته در بام سازه گلخانه در این نوع نحوه نصب بیشتر است.

در کنار جنبه تولید انرژی تجدیدپذیر با نصب پنل خورشیدی ارگانیک، جمع‌آوری آب باران از بام سازه‌های گلخانه هدف دیگر این پژوهش است. نتایج محاسبات انجام شده بر اساس میانگین داده‌های اقلیمی ۲۰ سال (از سال ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰) و همچنین روابط (۱ تا ۵)، چیدمان شرق-غرب سو پنل خورشیدی بر روی بام سازه گلخانه‌ها، آب بیشتری را در ماه‌ها مختلف سال جمع‌آوری می‌نماید (شکل ۱۰). همانطور که در شکل مشخص است بیشینه مقدار بارندگی در بهمن ماه، و در تیر و مرداد ماه و ناشی از اقلیم مانسونی منطقه است.



شکل ۱۰- آب جمع‌آوری شده از روی بام کل سازه‌های گلخانه در ماه‌های متفاوت سال

باتوجه به محاسبات و تخمین‌های صورت گرفته و در نظر گرفتن ضرایب هدررفت، تبخیر و ... در مجموع در هر دو حالت چیدمان نصب پنل بر روی بام سازه‌ها بیش از ۸۵۰۰ متر مکعب آب باران جمع‌آوری خواهد شد (جدول ۷).

جدول ۸- ابعاد داخلی و استانداردهای مورد برای لوله کشی سازه گلخانه

| ردیف | نوع جهت گیری پنل بر روی بام گلخانه | مقدار لوله به کار رفته (m) | استاندارد ابعادی لوله | قطر داخلی (mm) | افت فشار (bar) |
|------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| ۱    | شرق-غرب                            | ۲۶۰                        | DN50                  | ۱۷/۵           | ۰/۱۰۳          |
| ۲    | جنوب سو                            | ۳۵۰                        | 50A                   | ۲۲/۴           | ۰/۲۵۱          |

### نتیجه گیری

بر اساس این پژوهش و نتایج خروجی مدل سازی و همچنین برآوردهای محاسباتی انجام شده مناسب ترین روش برای نصب پنل بر روی بام سازه گلخانه حالت چیدمان شرق-غرب است. این نوع شیوه نصب به عنوان بام سازه گلخانه از نظر تولید انرژی و برداشت آب باران در منطقه بشاگرد بهترین بهره را دارد. این نوع نصب باعث ایجاد بادشکن و محافظت در برابر بادهای تند نیز خواهد شد و مقاومت و پایداری بهتری را نشان می دهد. نصب بادگیر می تواند از نفوذ هوای سرد به بیرون و خروج گرما از داخل گلخانه به صورت همرفتی جلوگیری کند. این چیدمان نصب چندین مزیت دارد که عبارتند از:

- باتوجه به نصب کامل روی پشت بام، بادگیر ایجاد شده و پایداری مناسب تری در برابر باد وجود دارد.
- نصب در این حالت نیاز به سازه فلزی و پایه های فلزی کمتری دارد در نتیجه جرم کمتر منجر به کاهش هزینه خواهد شد.
- از آنجایی که در این حالت پنل مستقیماً بر روی سقف نصب می شود، چیدمان نصب بهینه است فاصله پنل ها با سازه کاهش می یابد و از این فضا به درستی استفاده می شود.
- در نهایت استفاده از این سیستم منجر به کاهش میزان لوله کشی و در نتیجه هزینه های مازاد ساخت و هزینه های نگهداری آبی خواهد شد.

مقدار آب مصرفی برای صیفی جات حدود ۵۰۰۰ متر مکعب در هکتار برای هر دوره زراعی است (Hirich و Chouk-Allah، ۲۰۱۷؛ Hong و همکاران، ۲۰۲۲). به طور کلی دوره های رشد صیفی جات در گلخانه ۱۲۰ تا ۱۴۰ روز می باشد. یعنی برای یک سال میزان آبی که برای تولید صیفی جات مصرف می شود حدود ۱۵۰۰۰ متر مکعب در هکتار در یک سال است. با در نظر گرفتن مساحت گلخانه شبیه سازی شده که حدود ۱۵ هکتار است، مصرف آب برای یک سال حدود ۲۲۵۰۰۰ متر مکعب می باشد. بر این اساس می توان با آب باران جمع آوری شده حدود ۴٪ آب مورد نیاز کشت گلخانه ای را تأمین کرد. بر اساس تحقیقات انجام شده، برای تولید محصولات صیفی جات در گلخانه، حدود ۱/۶ مگاژول انرژی به ازای هر ۲ کیلوگرم تولید صیفی جات به مدت یک سال مصرف می شود (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Ahmadbeyki و همکاران، ۲۰۲۳؛ Shen و همکاران، ۲۰۱۸؛ Maraveas و

همکاران، ۲۰۲۳). باتوجه به وسعت زمین و مساحت کل گلخانه در این تحقیق که حدود ۱۵ هکتار است، میانگین تولید گیاه در این مقدار زمین در گلخانه حدود ۱۰۸۰۰ تن در ۱۵ هکتار می باشد. در نتیجه مقدار انرژی مورد نیاز برای این مقدار در یک سال حدود ۸/۶۴ گیگاژول خواهد بود که معادل ۲۳۹۹ کیلووات ساعت است. با اضافه شدن سایر مصارف انرژی الکتریکی در گلخانه های مستقر در منطقه سردشت بشاگرد، می توان گفت انرژی های تجدیدپذیر تولید شده در طول روز بدون بارندگی و در هوای پاک می تواند به راحتی انرژی مورد نیاز گلخانه را تأمین نموده و علاوه بر آن انرژی مازاد تولید شده به شهر متصل و از محل فروش آن درآمد پایداری برای گلخانه تأمین شود.

### پی نوشت ها

- 1-Organic photovoltaic (OPV)
- 2-Building Integrated Photovoltaic (BIPV)
- 3-Solar Thermophotovoltaics
- 4-PV power plant type rainwater harvesting system
- 5-Analytic hierarchy Process (AHP)
- 6-Sunpath
- 7-Delta Wing
- 8-Tomas-Box
- 9-runoff Coefficient

### منابع

- آرمش، محسن، خسروی، محمود، و سلیقه، محمد. (۱۳۹۸). مطالعه همدید نفوذ سامانه مونسون به جنوب شرق ایران. دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی، ۱(۱)، ۱۰۲-۱۳۵.
- شهبازی، رضا، کوراوند، شهریار، و حسن بیگی، رضا. (۱۳۹۸). پتانسیل سنجی و استفاده از توربین باد محور افقی کوچک جهت تأمین برق بخشی از نیاز گلخانه در منطقه فیروز کوه. انرژی های تجدیدپذیر و نو، ۶(۲)، ۱۰۵-۱۱۳. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.24234931.1398.6.2.13.5>
- زارع زاده، مجید، و منصوری، هدا. (۱۴۰۲). برآورد تأمین انرژی پایدار در شهرک صنعتی شماره ۲ بندرعباس با استفاده از پانل خورشیدی

- Mashford, J., & Maheepala, Sh. (2014). A general model for the exact computation of yield from a rainwater tank. *Applied Mathematical Modelling*, 39(7), 1929–1940. doi: [10.1016/j.apm.2014.10.004](https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.10.004)
- Monteiro, C. M., Santos, C., & Castro, P. M. L. (2023). Extensive Green Roofs: Different Time Approaches to Runoff Coefficient Determination. *Water*, 15(10), 1852. <https://doi.org/10.3390/w15101852>
- Moretti, S., & Marucci, A. (2019). A Photovoltaic Greenhouse with Variable Shading for the Optimization of Agricultural and Energy Production. *Energies*, 12(13), 2589. doi: [10.3390/en12132589](https://doi.org/10.3390/en12132589)
- Shen, Y. Wei, R., & Xu, L. (2018). Energy Consumption Prediction of a Greenhouse and Optimization of Daily Average Temperature. *Energies*, 11(1), 65. doi: [10.3390/en11010065](https://doi.org/10.3390/en11010065)
- Sheng, L. X., Mari, T. S., Ariffin, A. R. M., & Hussein, H. (2011). Integrated sustainable roof design. *Procedia Engineering*, 21, 846-852. doi: [10.1016/j.proeng.2011.11.2086](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2086)
- Silva, C. S., Ikhsan, M., Safriant, M., & Gusmilia, T. P. (2021). Efficiency Rainwater Harvesting at the Roof Campus Buildings, *International Journal of Engineering, Science & Information Technology (IJESTY)*, 1(3), 17-22. DOI: <https://doi.org/10.52088/ijesty.v1i2.80>
- Tang, Y. Li, M., & Ma, X. (2019). Study On Photovoltaic Modules On Greenhouse Roof For Energy And Strawberry Production .4th International Conference on Advances in Energy and Environment Research (ICAER 2019). Shanghai, China. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911803049>
- Vinayak, R. S. R., Harshitha, G., Gagana, G. M., Shivaraj, K. R., Yathish, G. R. (2020). Umbrella design for rain water harvesting and harnessing solar energy at c.i.t college campus Gubbi. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 2(6), 743-749. [https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume2/issue\\_6\\_june\\_2020/1720/1628083054.pdf](https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume2/issue_6_june_2020/1720/1628083054.pdf)
- Vourdoubas, J. (2020). Co-Production of Vegetables and Electricity in Agricultural Greenhouses in Crete, Greece. Is it Feasible?. *Journal of Agriculture and Life Sciences*, 7(1), 1-9. doi: [10.30845/jals.v7n1p1](https://doi.org/10.30845/jals.v7n1p1)
- نصب شده بر بام ساختمان. فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار. doi: [10.22059/sep.2024.369849.1047](https://doi.org/10.22059/sep.2024.369849.1047). ۱۸۱-۱۶۷, (۲)۲
- Ahmadbeyki, A., Ghahderijani, M., Borghae, A., & Bakhoda, H. (2023). Energy use and environmental impacts analysis of greenhouse crops production using life cycle assessment approach: A case study of cucumber and tomato from Tehran province, Iran. *Energy Reports*, 9, 988–999. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.11.205>
- Aktas, A., Seyfi, S., & Sayan, A. (2021). Rainwater Harvesting in a 600 kW Solar PV Power Plant. ISPEC 7th international conference on Agriculture. MUS, Turkey.
- George, A. M. (2012). *Utility Scale Solar Power Plants: A GUIDE FOR DEVELOPERS AND INVESTORS*, International Finance Corporation World Bank Group. 180-185. Washington, D.C, USA.
- Hassanien, R. H. E., Li, M., & Yin, F. (2018). The integration of semi-transparent photovoltaics on greenhouse roof for energy and plant production. *Renewable Energy*, 121, 377-388. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.044>
- Hirich, A., & Chouk-Allah, R. (2017). *Water Resources in Arid Areas: The Way Forward*, Springer Water, Water and Energy Use Efficiency of Greenhouse and Net house Under Desert Conditions of UAE: Agromonic and Economic Analysis. *Water Resources in Arid Areas: The Way Forward*, Springer Water, 481-499. doi: [10.1007/978-3-319-51856-5\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51856-5_28)
- Hong, M., Zhang, Zh., Fu, Q., & Liu, Y. (2022). Water Requirement of Solar Greenhouse Tomatoes with Drip Irrigation under Mulch in the Southwest of the Taklimakan Desert. *Water*, 14(19), 3050. <https://doi.org/10.3390/w14193050>
- Kaya, M. (2020). Evaluation of the Existing Solar Energy and Rainwater Potential in the Total Roof Area of Buildings: Izmit District Example, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020(2020), Article ID 8167402. <https://doi.org/10.1155/2020/8167402>
- Maraveas, Ch., Karavas, Ch, S., Loukatos, D., Bartzanas, Th., Arvanitis, K. G., & Symeonaki, E. (2023). Agricultural Greenhouses: Resource Management Technologies and Perspectives for Zero Greenhouse Gas Emissions. *Agriculture*, 13(7), 1464. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071464>

- Zarezadeh, M. (2023). Simultaneous Supply of Energy and Water by Rainwater Harvest from the Roof of the Greenhouse Structure with a Solar Panel. *Water Harvesting Research*, 6(1), 55-69. <https://doi.org/10.22077/jwhr.2023.6846.1111>
- Zarezadeh, M. (2024). Investigating the Installation of Solar Panels in Reducing the Evaporation of Canal Water. *Journal of Water and wastewater*, 34(6), 58-68. doi: [10.22093/wwj.2023.382886.3317](https://doi.org/10.22093/wwj.2023.382886.3317)



## Investigating Factors Affecting Changes in Surface and Ground Water Resources Using Satellite Products (Case Study: Kabul-Afghanistan)

S. J. Hedayat<sup>1</sup>, M. Ebrahimi-Khusfi<sup>2\*</sup>, K. Omidvar<sup>3</sup>,  
M. Sharifi Paicoon<sup>4</sup>

1, 2, 3, 4- MSc in Remote Sensing, Assistant Professor of Remote Sensing, Professor of Climatology and Meteorology, & Assistant Professor of Geomorphology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran.

\*(Corresponding Author Email: Mohsen.ebrahimi@yazd.ac.ir)

Received: 16-12-2023

Revised: 12-03-2024

Accepted: 26-03-2024

Available Online: 26-05-2024

## بررسی عوامل موثر بر تغییرات منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از محصولات ماهواره‌ای (مطالعه موردی: کابل-افغانستان)

سیدجواد هدایت<sup>۱</sup>، محسن ابراهیمی خوسفی<sup>۲\*</sup>، کمال امیدوار<sup>۳</sup>، محمد شریفی پیچون<sup>۴</sup>

۱، ۲، ۳، ۴- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور، استادیار ارشد سنجش از دور، استاد آب و هواشناسی و استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

\*(نویسنده مسئول، E-Mail: Mohsen.ebrahimi@yazd.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۰۷

### Abstract

Fresh water availability and its shortage is one of the most important issues in the world today that some countries are facing. In the last two decades, Kabul province, Afghanistan, has seen a decrease in water resources under the influence of natural and human factors. The purpose of this research is to use satellite data and remote sensing techniques to investigate changes in surface and underground water resources in Kabul province. For this purpose, the satellite data and products available in the Google Earth Engine in the period 2000 to 2022 and the climate data of ground stations in the period 2006 to 2021 have been used, which include: evaporation data- Transpiration, Enhanced Vegetation Index (EVI), Global Product of Surface Water Areas (JRC), GRACE data, OLS Satellite Night Images, Sentinel 2 Satellite Image, Landsat 7 Satellite Image, Temperature, Humidity and Rainfall Data. The change process of the used data was analyzed through the Mann-Kendall test and the significance level of these data was checked. The supervised classification method was used on the two mentioned images to calculate the area of vegetation, water area, residential areas, and barren lands. The obtained results show the reduction of underground water resources (significant reduction trend of GRACE satellite data) and the reduction of the surface water area changes in Kabul province, under the influence of natural and human factors, which among these factors can reduce He pointed out the amount of rainfall, increase in temperature, increase in evaporation-transpiration, increase in the level of vegetation and physical development of Kabul city and increase in the population using water resources.

**Keywords:** Remote Sensing, GRACE Satellite, Afghanistan, Google Earth Engine, Satellite Images.

### چکیده

دسترسی به منابع آب و کمبود آن یکی از مهمترین مسائل جهان امروزی است که بعضی از کشورها با آن مواجه هستند. استان کابل در کشور افغانستان در دو دهه اخیر شاهد کاهش منابع آبی تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسانی است. هدف این پژوهش، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور برای بررسی تغییرات منابع آب سطحی و زیرزمینی در این استان است. به این منظور از داده‌ها و محصولات ماهواره‌ای موجود در سامانه گوگل ارث انجین در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ و داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های زمینی در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۱ استفاده شده است. این داده‌ها عبارتند از: داده‌های تبخیر-تعرق، شاخص پوشش گیاهی (EVI)، محصول جهانی پهنه‌های آب سطحی، داده ماهواره ثقل‌سنجی (GRACE)، تصاویر شبانه ماهواره OLS، تصویر ماهواره سنتینل ۲، تصویر ماهواره لندست ۷، داده‌های دما، رطوبت و بارندگی. روند تغییرات داده‌های مورد استفاده از طریق آزمون من-کندال مورد تحلیل قرار گرفت و سطح معنی‌داری این داده‌ها بررسی شد. روش طبقه‌بندی نظارت شده بر روی تصاویر لندست سال ۲۰۰۲ و سنتینل سال ۲۰۲۲ برای محاسبه مساحت پوشش گیاهی، پهنه آبی، مناطق مسکونی و اراضی بایر استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد در اکثر ماه‌های سال روند سطح آب زیرزمینی در سطح ۹۵ درصد معنی‌داری و کاهشی است و کاهش روند تغییرات مساحت پهنه‌های آب سطحی استان کابل، تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسانی است. از جمله این عوامل کاهش میزان بارندگی، افزایش دما، افزایش تبخیر-تعرق، افزایش مساحت پوشش گیاهی و توسعه کالبدی شهر کابل و افزایش جمعیت بهره‌بردار از منابع آب می‌باشد.

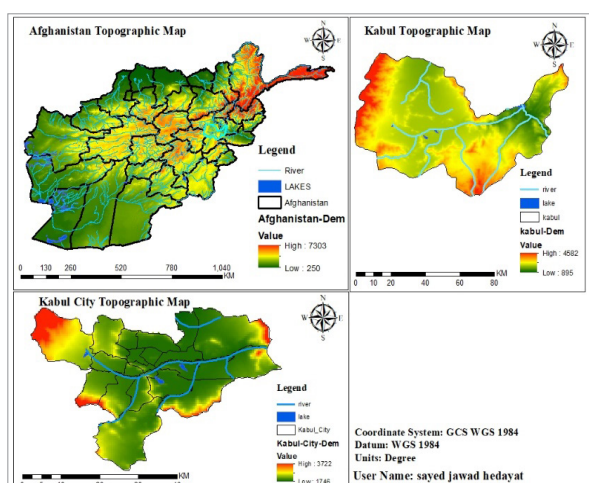
**واژه‌های کلیدی:** سنجش از دور، ماهواره گریس، افغانستان، گوگل ارث انجین، تصاویر ماهواره‌ای.

بحران آب و به خصوص تأمین منابع آب شیرین، امروزه یکی از بحث برانگیزترین مسائل دنیای مدرن است که همه جهان با این مشکل بزرگ مواجه‌اند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۶). کمبود آب و عدم مدیریت درست منابع آب قابل دسترس، بحران آبی را ایجاد می‌کند که وقوع خشکسالی‌ها باعث تشدید آن می‌شود و ابعاد مختلف محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی دارند (مسلمی و درویشی، ۱۳۹۶). استان (ولایت) کابل ۱۴ شهرستان دارد، شهر کابل در استان کابل، پایتخت کشور افغانستان قرار دارد و جمعیت این شهر بعد از سال ۲۰۰۲ افزایش یافت (عظیمی، ۱۳۹۱). آب سطحی و زیرزمینی این استان با افزایش جمعیت و تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی، به شدت کاهش یافته است. بررسی‌های میدانی نگارنده نشان داد آب سطحی و زیرزمینی در این استان کاهش یافته است به نحوی که عمق چاه آب در منطقه دارالامان از ۲۵ متر در سال ۲۰۰۸ به ۸۵ متر در سال ۲۰۲۱ رسیده است و همچنان رودخانه کابل هم که در گذشته آب دائمی داشته در حال حاضر آب آن به صورت فصلی تغییر کرده است و فقط در فصل بهار آب در این رودخانه جریان دارد و در سایر فصل‌های سال خشک می‌باشد. به دلیل توپوگرافی شدید و شیب بالای رودخانه‌های استان کابل، برداشت از منابع آب سطحی در این استان به میزان محدودی در برخی شهرستان‌ها صورت می‌گیرد و عمدتاً در دیگر مناطق این استان به دلیل عدم وجود رودخانه و کانال، برای آبیاری کشاورزی و شرب از آب زیرزمینی استفاده می‌شود (Noori و همکاران، ۲۰۱۹). به دلیل افزایش جمعیت در شهر کابل، مردم این استان برای رفع نیاز آب آشامیدنی خویش از آب زیرزمینی استفاده می‌کنند که تقریباً می‌توان بیان نمود بیش از ۸۵٪ خانه‌ها در این استان چاه عمیق دارند و سایر خانه‌ها از آب لوله‌کشی شده استفاده می‌کنند و حتی شرکت‌های آبرسانی هم آب مورد نیاز خویش را از آب زیرزمینی تأمین می‌کنند (عظیمی، ۱۳۹۱). از منابع آبی در استان کابل به منظور کشاورزی، دامداری، آب آشامیدنی، فعالیت‌های اقتصادی (کارواش‌ها، فرش‌شویی و ...) استفاده می‌شود. کشاورزی در این استان به صورت سنتی می‌باشد و این نوع کشاورزی میزان آب زیادی را نسبت به آبیاری قطره‌ای نیاز دارد. در شهر کابل پس از سال ۲۰۰۵ اراضی کشاورزی در مناطق شهری کم شده و تبدیل به مناطق مسکونی شده است اما در حومه‌های شهر کابل و در تمام استان کابل کشاورزی در حال افزایش است. به دلیل محدودیت‌های مالی و فقدان شبکه‌های پایش و ارزیابی زمینی برای نظارت بر میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی و سطحی در استان کابل، هیچ

چشم‌اندازی از عواقب و نتایج این برداشت‌های بی‌رویه پیش روی مسئولین و تصمیم‌گیران دولت افغانستان وجود ندارد (آزادمنش آزادزوی، ۱۴۰۰). داده‌های ماهواره‌ای جایگزین مناسبی برای مناطقی است که فاقد داده زمینی می‌باشد. امروزه علم و فناوری سنجش‌ازدور به طور گسترده در سراسر جهان در بسیاری از زمینه‌های کاربردی مانند منابع طبیعی، اقلیم‌شناسی، علوم خاک، کشاورزی، آب‌های زیرزمینی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد (سعیدی، ۱۴۰۰). سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای این امکان را فراهم نموده که بتوان منابع آبی سطحی و زیرزمینی را به صورت مداوم در بازه‌های زمانی روزانه پایش و نظارت نمود. ضمن اینکه وجود آرشیوی غنی از تصاویر ماهواره‌ای از دهه ۱۹۷۰ میلادی تاکنون، این امکان را فراهم می‌کند تا عوامل موثر بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب را شناسایی و راهکارهایی را برای مواجهه با تغییرات بیشتر در آینده توصیه نماید (ابراهیمی خوسفی، ۱۴۰۱).

Noori و همکاران (۲۰۱۹) پژوهشی درباره تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی شهر کابل انجام دادند. بر اساس این پژوهش سطح آب زیرزمینی در شهر کابل از سال ۱۹۶۳ میلادی کاهش قابل توجهی داشته است. براساس گزارش سازمان زمین‌شناسی افغانستان و سازمان زمین‌شناسی آمریکا، سطح آب زیرزمینی در حوضه فرعی کابل تا ۲۵ متر کاهش یافته است که با ادامه این روند شهر کابل در چند سال آینده با کمبود جدی آب مواجه خواهد شد. ایشان بر این نظر هستند که عوامل اصلی کاهش سطح آب‌های زیرزمینی شهر کابل حفر غیرقانونی چاه‌های عمیق، استفاده بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی برای تأمین نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی، بیلان منفی آب‌های زیرزمینی و کاهش بارندگی است. نتایج حاصل از پژوهش ایشان نشان داد میزان برداشت آب‌های زیرزمینی در شهر کابل بسیار بیشتر از میزان تغذیه این آب است. Thomas (۲۰۱۸) در پژوهشی به موضوع آب‌های زیرزمینی در دسترس در حوضه کابل، در مورد آب‌های زیرزمینی شهر کابل چنین بیان داشته است: «این شهر بعد از سال ۲۰۰۱ میلادی در حال رشد بوده و روزبه‌روز به جمعیت این شهر اضافه می‌شود. بعد از گذشت ۱۵ سال، در سال ۲۰۱۵ جمعیت این شهر به ۴/۸ میلیون نفر رسیده است که تقریباً ۱۵٪ جمعیت افغانستان را شامل می‌شود. رشد سریع جمعیت در این شهر به همراه اثرات تغییر اقلیم نگرانی شدیدی را در مورد کاهش آب‌های زیرزمینی به وجود آورده است». طبق پژوهش ایشان، تمام جمعیت این شهر آب آشامیدنی مورد نیاز خویش را از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌کنند. ایشان بیان کرده‌اند عوامل طبیعی مانند تغییرات آب‌وهوایی و عوامل انسانی مانند رشد سریع جمعیت، برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی

یکی از استان‌های ۳۴ گانه کشور افغانستان با مساحتی بالغ بر ۶۵۲۸۶ کیلومتر مربع است. این استان ازجمله استان‌های مرکزی افغانستان می‌باشد که در میان عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه و ۳۴ درجه و ۹۱ دقیقه شمالی و ۶۸ درجه و ۷۳ دقیقه و ۶۹ درجه و ۹۵ دقیقه طول جغرافیایی شرقی واقع شده و به طور متوسط ۱۸۰۳ متر از سطح آب‌های آزاد ارتفاع دارد (شکل ۱). مساحت شهر کابل به‌عنوان مرکز استان و پایتخت افغانستان، ۱۰۳۰ کیلومتر مربع است که به ۲۲ ناحیه تقسیم شده است. براساس گزارش اداره ملی احصائیه جمعیت شهر کابل در سال ۱۴۰۰ هجری شمسی، ۵,۳۸۵,۵۲۶ نفر می‌باشد (اداره ملی احصائیه افغانستان، ۱۴۰۰).



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

#### • داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش به شرح زیر از سامانه گوگل ارث انجین تهیه شده است. سامانه گوگل ارث انجین یک مجموعه چندین پتابیتی از تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای به‌صورت رایگان می‌باشد که در اختیار کاربران قرار گرفته است (Tamiminia و همکاران، ۲۰۲).

۱) مجموعه اطلاعاتی پیکره آب‌های سطحی جهان<sup>۱</sup> حاصل از پردازش تصاویر سنجنده‌های لندست ۵، ۷ و ۸ در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۰ (Pekel و همکاران، ۲۰۱۶) به‌منظور بررسی روند تغییرات زمانی پیکره آب‌های سطحی.

۲) محصول تبخیر و تعرق ماهواره ای سنجنده مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱.

۳) محصول سری زمانی پوشش گیاهی (EVI) سنجنده MODIS ماهواره Terra در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰.

۴) تصاویر سنتینل ۲ در سال ۲۰۲۲ و لندست ۷ در سال ۲۰۰۲ برای تعیین پهنه‌های آب سطحی و طبقه‌بندی نظارت شده.

۵) تصاویر ثقل سنجی ماهواره GRACE: پروژه GRACE، یکی

باعث کاهش آب‌های زیرزمینی این شهر به اندازه ۱/۵ متر شده است. Rateb و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از داده‌های ماهواره GRACE و پایش و مدل‌سازی سفره‌های زیرزمینی ایالات متحده، تغییر ذخیره آب زیرزمینی را مقایسه کردند. بازه زمانی این پژوهش از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ در ۱۴ آبخوان اصلی ایالات متحده آمریکا که متشکل از ۲۳۰۰۰ چاه می‌باشد انتخاب شده است. نتایج این پژوهش بیانگر کاهش روند GWS داده‌های GRACE در شش سفره آبخوان جنوب غربی و جنوب ایالات متحده آمریکا است که در مجموع ۹۰ کیلومتر مکعب در ۱۵ سال (مربوط به خشک‌سالی‌های بلند مدت) کاهش یافته است (Rateb و همکاران، ۲۰۲۰). افزایی و شاهدهی (۱۳۹۳) روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت آمل-بابل را بررسی کردند؛ به دلیل افزایش جمعیت، نیاز فراوان به غذا و کمبود منابع آب سطحی به ویژه در دهه‌های اخیر، مساحت مناطق تحت آبیاری را افزایش یافته است که این امر سیاست استفاده از منابع آب و خاک را به کلی دگرگون کرده است. در سال‌های اخیر خشک‌سالی باعث کاهش بیش از حد آب سطحی شده و استفاده از آب‌های زیرزمینی را افزایش داده است که این امر باعث افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی و همچنان موجب تغییر کیفیت این منابع شده است. عمادالدین و همکاران (۱۳۹۹) روند تغییرات کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند با کمبود منابع آب سطحی استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان صورت گرفته که سطح سفره‌های آب زیرزمینی را پایین برده است و همچنان افزایش روزافزون جمعیت برداشت بی‌رویه از این ذخایر طبیعی را با تهدید جدی مواجه کرده است و از طرف دیگر، تغییرات کاربری اراضی بر روی منابع آب زیرزمینی موثر بوده و کمیت و کیفیت این آب‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مرور پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد تا کنون مطالعه‌ای برای بررسی روند تغییرات بلند مدت منابع آب سطحی و زیرزمینی در استان کابل-افغانستان که از اهمیت زیادی دارد، انجام نشده است. بنابراین هدف این پژوهش بررسی تغییرات منابع آب سطحی و زیرزمینی استان کابل و تحلیل عوامل موثر بر آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های مختلف سنجش‌ازدور می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

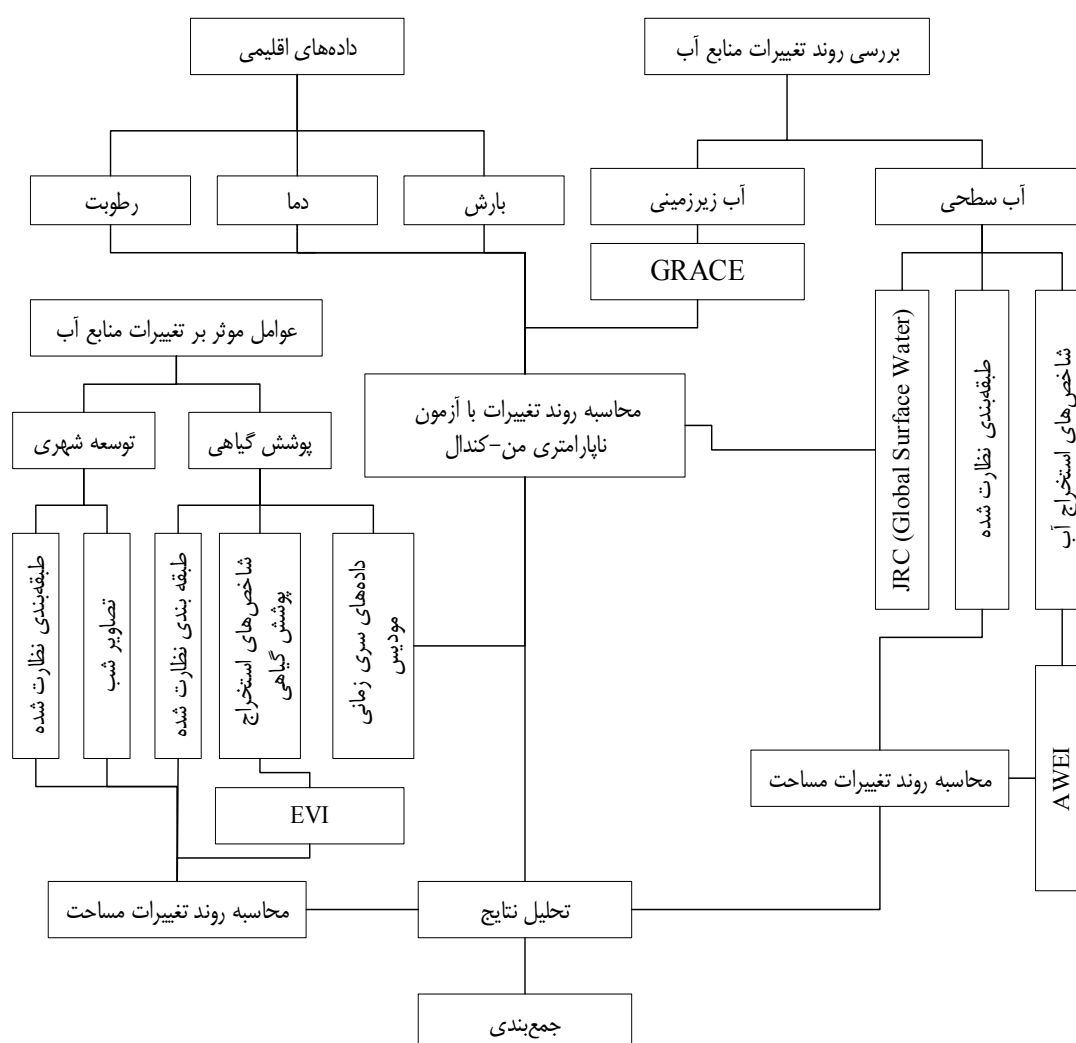
##### • منطقه مورد مطالعه

براساس گزارش اداره ارگان‌های محلی افغانستان در سال ۱۳۹۶ (اداره ملی ارگان‌های محلی افغانستان، ۱۳۹۶)، استان کابل

(۶) استفاده از تصاویر شب ماهواره OLS برای بررسی روند گسترش شهر کابل به عنوان یکی از شاخص‌های افزایش تقاضا برای آب در سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳.

(۷) میانگین داده‌های حداقل دما، حداکثر دما، دما، بارش و رطوبت از مجموع ایستگاه‌های هواشناسی استان کابل.

فلوچارت روش کار در این پژوهش در شکل (۲) نمایش داده شده است. گام‌های روش پژوهش به شرح زیر است:



شکل ۲- فرآیند پژوهش و نحوه بررسی روند تغییرات منابع آب سطحی و زیرزمینی استان کابل

۳- در این پژوهش، با استفاده از آزمون من-کندال روند تغییرات پارامترهای اقلیمی شامل بارش، دمای حداکثر، دمای حداقل، میانگین دما و رطوبت در سطوح معنی‌داری مختلف بررسی شد. این آزمون به‌عنوان یک روش ناپارامتری مزایایی دارد که سبب شده به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرواقلمی به‌کار گرفته شود. در این آزمون فرض صفر بیانگر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری زمانی داده‌ها بوده و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دلالت بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. در روش من-کندال فرض بر این است که یک سری زمانی به‌صورت  $x_1, x_2, \dots, x_n$  وجود دارد. آماره آزمون من-کندال با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. در این رابطه  $j$  و  $k$  مرتبه مشاهدات هستند و تابع علامت  $sgn(x)$  به‌صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j + x_k) \quad (2)$$

$$sgn(x) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

بر اساس این آزمون در صورتی که مقدار  $S$  اختلاف معنی‌داری با صفر نداشته باشد روند وجود ندارد و در غیر این صورت روند، صعودی و یا نزولی خواهد بود. برای آزمون معنی‌دار بودن روند، از متغیر  $Z$  نرمال استاندارد براساس رابطه (۴) استفاده می‌شود فرض صفر ( $H_0$ ) در آزمون من-کندال عدم وجود روند و فرض  $H_1$  وجود روند می‌باشد (Salmi و همکاران، ۲۰۰۲).

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S-1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Var}(S) = \{n(n-1)(2n+5)\} \quad (5)$$

۴- از عوامل اصلی موثر بر کاهش منابع آب زیرزمینی می‌توان به توسعه کشاورزی اشاره نمود. به‌منظور بررسی روند تغییرات سطح پوشش گیاهی از محصول سری زمانی شاخص EVI ماهواره مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ استفاده شد. علاوه بر این، به‌منظور محاسبه مساحت پوشش گیاهی و مقایسه تغییرات آن، از دو روش طبقه‌بندی نظارت شده و اعمال شاخص EVI بر روی تصویر سنتینل سال ۲۰۲۲ و تصویر لندست سال ۲۰۰۲ استفاده شد. شاخص EVI مطابق با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$EVI = G * \frac{(NIR - RED)}{(NIR + (C_1 * RED) + (C_2 * B) + L)} \quad (6)$$

در این روابط  $R$ ،  $B$  و  $NIR$  به ترتیب بیانگر بازتاب سطح در باندهای مادون قرمز نزدیک، قرمز و آبی می‌باشند. درحالی‌که  $G$  بیانگر gain factor،  $C_1$  و  $C_2$  ضرایبی برای تصحیح ذرات معلق پراکنده و  $L$  فاکتور تعدیل خاک می‌باشد. در حالت کلی  $L=1$ ،  $C_2=7.5$ ،  $C_1=6$ ،  $G=2.5$  می‌باشد (Huete و همکاران، ۱۹۹۷). لازم به ذکر است، برای بررسی روند تغییرات درازمدت EVI، در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲، از محصول شاخص پوشش گیاهی ماهواره مودیس استفاده شده است.

۵- یکی دیگر از عوامل برداشت منابع آب، توسعه مناطق شهری و افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش تقاضا برای مصرف آب است. برای بررسی روند تغییرات توسعه شهری در استان کابل، از روش طبقه‌بندی نظارت شده بر روی دو تصویر سنتینل سال ۲۰۲۲ و تصویر لندست سال ۲۰۰۲ استفاده شد. باتوجه به اینکه، بافت بسیاری مناطق مسکونی در شهر کابل، خشت و گلی می‌باشد و به‌دلیل اختلاط طیفی با خاک زمینه، نتایج حاصل از طبقه‌بندی نظارت شده ممکن است خطا داشته باشد. به همین دلیل، از تصاویر ماهواره‌ای نور شب برای بررسی روند توسعه شهری کابل نیز استفاده شد.

۶- برای صحت‌سنجی طبقه‌بندی نظارت شده تصویر سنتینل ۲۰۲۲، ۱۰۰ نقطه از گوگل ارث دریافت و استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج بررسی روند تغییرات داده‌های سالانه بارندگی، دمای حداقل، دمای حداکثر، میانگین دما و رطوبت از میانگین داده‌های کل ایستگاه‌های هواشناسی کابل از سال ۲۰۰۶ الی ۲۰۲۰ در جدول (۱) نشان داده شده است. بارندگی و رطوبت در این بازه زمانی روندی کاهشی داشته و دمای حداقل، دمای حداکثر و میانگین دما در این بازه زمانی دارای روند افزایشی است. روند تغییرات پارامترهای اقلیمی در جدول (۱) از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

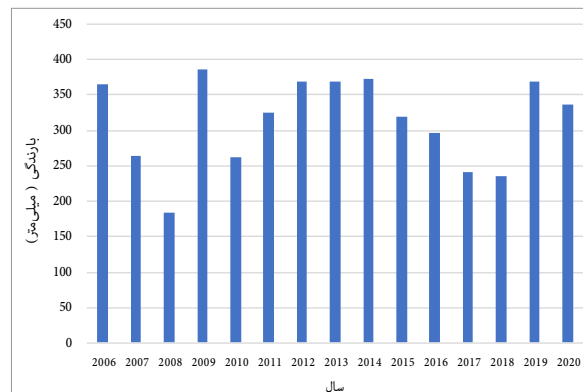
جدول ۱- نتایج آزمون من-کندال بر روی پارامترهای اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی استان کابل

| پارامترها   | روند    | آزمون Z | سطح معنی‌داری ( $\alpha$ ) |
|-------------|---------|---------|----------------------------|
| بارش سالانه | کاهشی   | -۰/۱    | -                          |
| دمای حداکثر | افزایشی | ۰/۲     | -                          |
| دمای حداقل  | افزایشی | ۱/۳۹    | -                          |
| میانگین دما | افزایشی | ۰/۸۹    | -                          |
| رطوبت       | کاهشی   | -۰/۸۹   | -                          |

+ سطح معنی‌داری ۰/۱، \* سطح معنی‌داری ۰/۰۵، \*\* سطح معنی‌داری ۰/۰۱، \*\*\* سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱ - بدون معنی‌داری



در شکل (۳)، روند تغییرات متوسط بارندگی استان کابل نمایش داده شده است. میزان بارندگی استان کابل از سال ۲۰۰۶ به بعد در سطح معنی داری ۹۵ درصد، روند کاهشی داشته است. داده‌های مربوط به این ایستگاه، قبل از سال ۲۰۰۶ در دسترس نمی‌باشد.



شکل ۳- تغییرات سری زمانی بارندگی استان کابل از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰

نتایج به دست آمده از محصول ماهواره‌ای JRC که مساحت پیکره‌های آب سطحی را بررسی می‌کند در جدول (۲) نمایش داده شده است. با استفاده از این محصول مساحت پیکره آب سطحی استان کابل بررسی شده و نشان داد مساحت پیکره آب سطحی در بازه زمانی ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۲ کاهش یافته است. این محصول در ماه‌های ژانویه و دسامبر داده ندارد و در سایر ماه‌ها داده‌های به دست آمده بیانگر کاهش مساحت پیکره‌های آب سطحی می‌باشد. در ماه‌های فوریه، مارس، سپتامبر، اکتبر و نوامبر در سطح آماری ۹۰ تا ۹۹ درصد معنی دار و روند کاهشی می‌باشد و در ماه‌های آوریل، مه، ژوئن، جولای و اوت روندی کاهش اما از نظر آماری غیرمعنی دار می‌باشد. در مجموع مساحت پیکره آب‌های سطحی استان کابل در سطح یک درصد معنی داری و روند آن کاهشی است. مساحت به دست آمده برای آب سطحی در استان کابل در سال ۲۰۰۰ برابر با (۱۶۱۶ هکتار) و برای سال ۲۰۲۲ برابر با (۱۷۰۶ هکتار) محاسبه شده است. لازم به ذکر است آب سطحی استان کابل از سال ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۵ روند افزایشی داشته و سپس تا سال ۲۰۲۰ روند آن کاهشی می‌باشد. مساحت آب سطحی ثبت شده در سال ۲۰۰۵ برابر با (۲۹۰۲ هکتار) محاسبه شده است (شکل ۴). باتوجه به اینکه میزان بارندگی نیز از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۵ افزایشی بوده اما بعد از سال ۲۰۰۶ میزان بارندگی سال به سال کاهش یافته است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کاهش بارندگی بر منابع آب سطحی استان کابل تأثیرگذار بوده است.

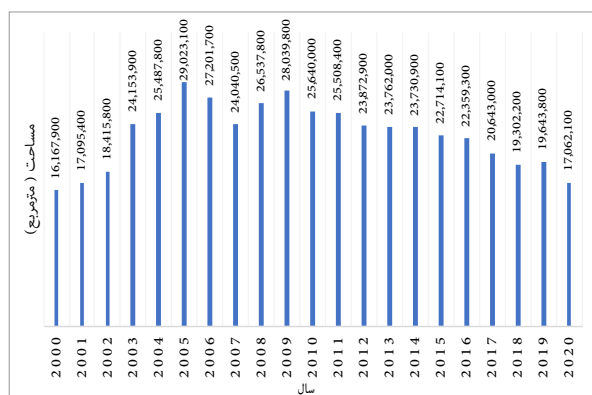
در جدول (۳) نتایج آزمون من-کندال بر روی پارامترهای ماهواره‌ای مورد بررسی، شامل پوشش گیاهی (EVI)، مساحت پهنه‌های آب سطحی، داده‌های ماهواره GRACE برای بررسی

تغییرات منابع آب زیرزمینی و داده تبخیر-تعرق (ET) در بازه زمانی ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۱، نشان داده شده است.

جدول ۲- آزمون من-کندال مساحت پیکره‌های آب سطحی استان کابل

| ماه       | روند  | آزمون z | سطح معنی داری ( $\alpha$ ) |
|-----------|-------|---------|----------------------------|
| January   | -     | -       | -                          |
| February  | کاهشی | -۲/۸۷   | **                         |
| March     | کاهشی | -۲/۱۱   | *                          |
| April     | کاهشی | -۰/۹۴   | -                          |
| May       | کاهشی | -۰/۸۸   | -                          |
| June      | کاهشی | -۰/۷۹   | -                          |
| July      | کاهشی | -۱/۰۳   | -                          |
| August    | کاهشی | -۰/۵۷   | -                          |
| September | کاهشی | -۳/۴۱   | ***                        |
| October   | کاهشی | -۳/۱۱   | **                         |
| November  | کاهشی | -۳/۴۷   | ***                        |
| November  | -     | -       | -                          |
| ANNUAL    | کاهشی | -۱/۷۸   | +                          |

+ سطح معنی داری ۰/۱، \* سطح معنی داری ۰/۰۵، \*\* سطح معنی داری ۰/۰۱، \*\*\* سطح معنی داری ۰/۰۰۱، بدون معنی داری



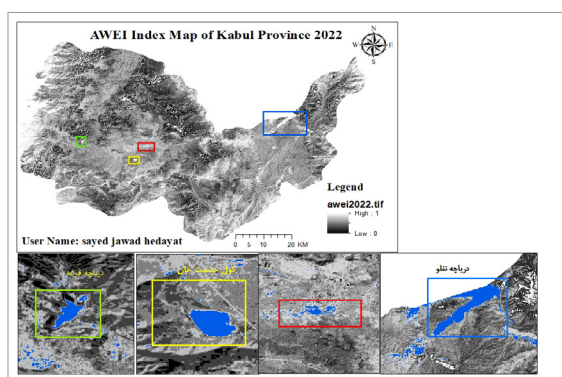
شکل ۴- سری زمانی تغییرات پهنه‌های آب سطحی استان کابل از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

جدول ۳- آزمون من-کندال پارامترهای ماهواره‌ای استان کابل

| پارامترها                 | روند    | آزمون Z | سطح معنی داری ( $\alpha$ ) |
|---------------------------|---------|---------|----------------------------|
| پوشش گیاهی                | افزایشی | ۳/۷۶    | ***                        |
| تغییرات آب زیرزمینی       | کاهشی   | -۱/۹۰   | +                          |
| تغییرات پیکره‌های آب سطحی | کاهشی   | -۱/۷۸   | +                          |
| تبخیر-تعرق                | افزایشی | ۲/۰۹    | *                          |

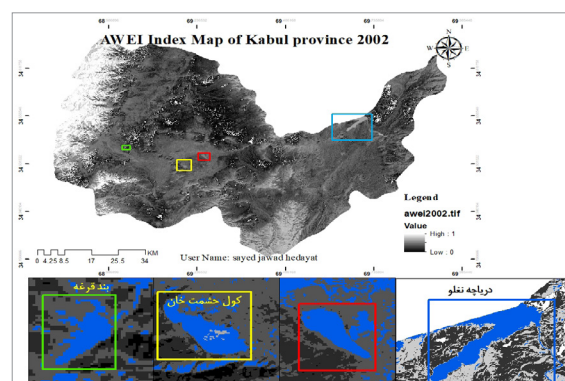
+ سطح معنی داری ۰/۱، \* سطح معنی داری ۰/۰۵، \*\* سطح معنی داری ۰/۰۱، \*\*\* سطح معنی داری ۰/۰۰۱، بدون معنی داری

در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار و روند آن افزایشی است. در شکل‌های (۵) و (۶) مساحت پهنه‌های آب سطحی استان کابل، به‌دست آمده از اعمال شاخص AWEI بر روی تصاویر ماهواره سنتینل ۲ و لندست ۷ نشان داده شده است. این دو تصویر در ماه‌های جولای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۲ اخذ شده است به دلیل اینکه در ماه جولای رودخانه‌ها و تالاب‌های فصلی خشک می‌شود و تنها پهنه‌های آب دائمی باقی می‌ماند. در این شکل‌ها دریاچه‌های قرغه و نغلو، کول حشمت خان و آب سطحی منطقه ۹ شهر کابل نمایش داده شده است.



شکل ۶- شاخص پهنه‌های آب استان کابل در سال ۲۰۲۲

در جدول (۲) بیان شد بارندگی سالانه استان کابل روند کاهشی دارد و دمای استان کابل روند افزایشی دارد که در جدول (۳) می‌توان تأثیرات آن را مشاهده کرد. در این جدول مساحت پهنه‌های آبی استان کابل در سطح ۹۰ درصد معنی‌دار و روند آن کاهشی می‌باشد چرا که بارندگی در این استان کم بوده و مساحت پهنه‌های آب‌های سطحی در حال کاهش است از سوی دیگر با افزایش دما میزان تبخیر-تعرق افزایش یافته که در جدول (۳) می‌توان مشاهده نمود داده‌های سری زمانی تبخیر-تعرق در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار و روند آن افزایشی است. در جدول (۳) پارامتر پوشش گیاهی هم



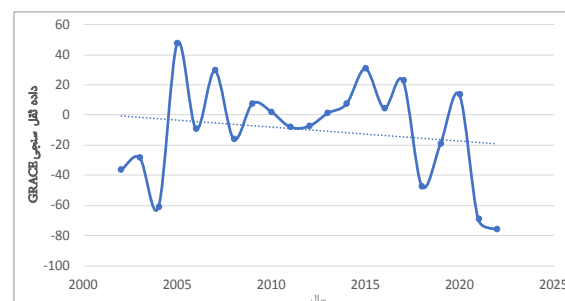
شکل ۵- شاخص پهنه‌های آب استان کابل در سال ۲۰۰۲

جدول ۴- آزمون من-کندال آب زیرزمینی استان کابل

| ماه       | روند  | آزمون z | سطح معنی‌داری ( $\alpha$ ) |
|-----------|-------|---------|----------------------------|
| January   | کاهشی | -۲/۶۵   | **                         |
| February  | کاهشی | -۳/۵۰   | ***                        |
| March     | کاهشی | -۲/۸۰   | **                         |
| April     | کاهشی | -۱/۲۶   |                            |
| May       | کاهشی | -۲/۲۷   | *                          |
| June      | کاهشی | -۲/۴۳   | *                          |
| July      | کاهشی | -۲/۱۲   | *                          |
| August    | کاهشی | -۱/۶۷   | +                          |
| September | کاهشی | -۲/۰۲   | *                          |
| October   | کاهشی | -۱/۷۷   | +                          |
| November  | کاهشی | -۰/۸۷   |                            |
| November  | کاهشی | -۲/۵۸   | *                          |
| ANNUAL    | کاهشی | -۱/۹۰   | +                          |

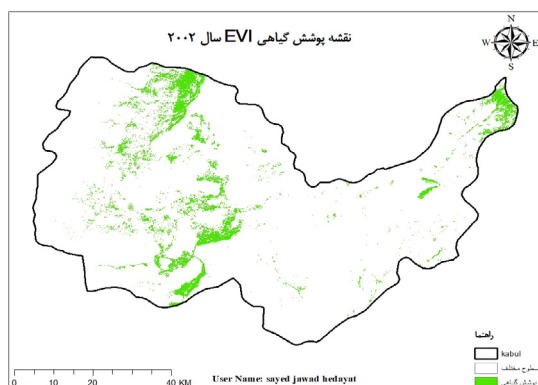
+ سطح معنی‌داری ۰/۱، \* سطح معنی‌داری ۰/۰۵، \*\* سطح معنی‌داری ۰/۰۱، \*\*\* سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱، بدون معنی‌داری

در جدول (۴) نتایج نهایی آزمون من-کندال داده‌های آب زیرزمینی نمایش داده شده است. نتیجه به‌دست آمده نشان داد آب زیرزمینی استان کابل در سطح ۹۰ تا ۹۹ درصد معنی‌دار و روند آن در تمام ماه‌های سال (به‌جز ماه اپریل) کاهشی است. در شکل (۷) نمودار سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای تغییرات ثقل‌سنجی ماهواره GRACE در محدوده استان کابل نمایش داده شده که تأییدکننده روند کاهشی منابع آب زیرزمینی در این استان است.

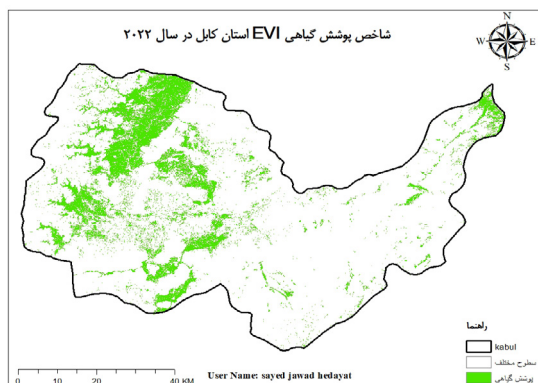


شکل ۷- نمودار سری زمانی تغییرات آب زیرزمینی استان کابل از ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲

آمده برای پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۲ برابر با ۲۸۳ کیلومترمربع است. شکل (۶) نتیجه اعمال شاخص (EVI) بر روی تصویر سنتینل ۲ در سال ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. مساحت به‌دست آمده برای پوشش گیاهی در این استان در سال ۲۰۲۲ برابر با ۴۳۶ کیلومترمربع محاسبه شده است. با استفاده از اعمال این شاخص این نتیجه حاصل شد که میزان پوشش گیاهی در این استان نسبت به سال ۲۰۰۲ افزایش یافته است. مساحت افزایش یافته پوشش گیاهی برابر با ۱۵۳ کیلومترمربع است.



شکل ۹- نقشه شاخص EVI استان کابل سال ۲۰۰۲



شکل ۱۰- نقشه شاخص EVI استان کابل سال ۲۰۲۲

در شکل (۱۱-الف تا ۱۱-د) مساحت مناطق شهری بر مبنای تصاویر نور شب محاسبه شده است که افزایش جمعیت و گسترش شهری شهر کابل را نشان می‌دهد. مساحت به‌دست آمده برای سال ۱۹۹۲ برابر با (۴۵۹ کیلومترمربع)، برای سال ۲۰۰۰ برابر با (۳۶۰ کیلومترمربع)، برای سال ۲۰۰۸ برابر با (۶۴۱ کیلومترمربع) و برای سال ۲۰۱۳ برابر با (۸۲۷ کیلومترمربع) محاسبه شده است.

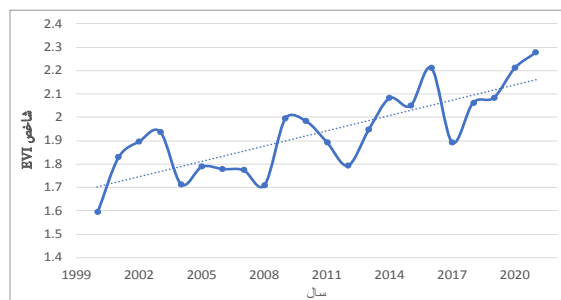
جدول (۵) روند تغییرات و سطح معنی‌داری روند تغییرات داده‌های سری زمانی پوشش گیاهی (محصول EVI سنجنده مودیس) را به تفکیک ماه نشان می‌دهد که بیانگر روند افزایشی در تمام ماه‌های سال است. این افزایش در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس، از نظر آماری غیرمعنی‌دار است.

جدول ۵- آزمون من-کندال پوشش گیاهی EVI

| ماه       | روند    | آزمون z | سطح معنی‌داری (α) |
|-----------|---------|---------|-------------------|
| January   | افزایشی | ۰/۹۱    | -                 |
| February  | افزایشی | ۱/۱۰    | -                 |
| March     | افزایشی | ۱/۵۵    | -                 |
| April     | افزایشی | ۲/۰۳    | *                 |
| May       | افزایشی | ۳/۵۵    | ***               |
| June      | افزایشی | ۳/۵۳    | ***               |
| July      | افزایشی | ۴/۴۶    | ***               |
| August    | افزایشی | ۴/۲۳    | ***               |
| September | افزایشی | ۴/۳۵    | ***               |
| October   | افزایشی | ۲/۲۶    | *                 |
| November  | افزایشی | ۲/۷۷    | **                |
| November  | افزایشی | ۳/۱۳    | **                |
| ANNUAL    | افزایشی | ۴/۰۶    | ***               |

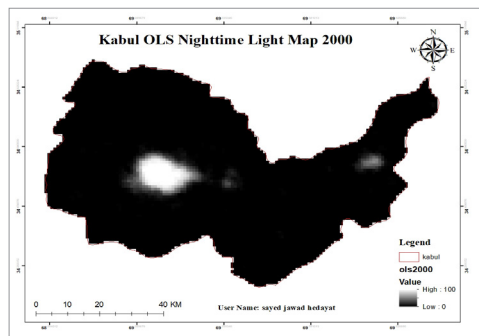
+ سطح معنی‌داری ۰/۰۱؛ \* سطح معنی‌داری ۰/۰۵؛ \*\* سطح معنی‌داری ۰/۰۱؛ \*\*\* سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱؛ بدون معنی‌داری

در شکل (۸) نمودار سری زمانی متوسط سالانه پوشش گیاهی (EVI) دریافت شده از محصولات ماهواره‌ای مودیس، نمایش داده شده که بیانگر روند افزایشی تغییرات پوشش گیاهی در سال‌های مورد مطالعه است.

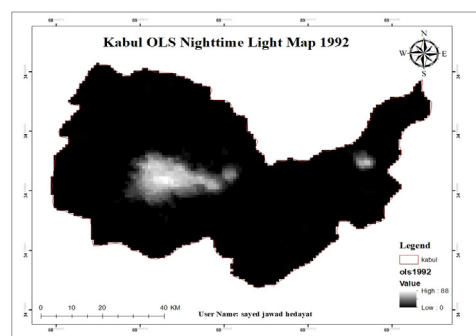


شکل ۸- تغییرات سری زمانی پوشش گیاهی استان کابل از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

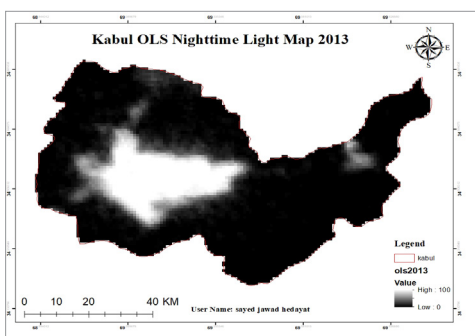
شکل (۹) و (۱۰) نتیجه اعمال شاخص پوشش گیاهی (EVI) بر روی تصویر لندست ۲۰۰۲ را نشان می‌دهد. مساحت به‌دست



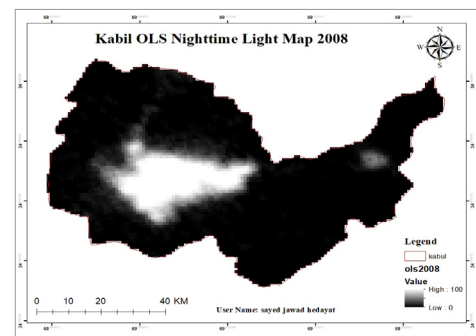
OLS۲۰۰۰ (ب)



OLS۱۹۹۲ (الف)



OLS۲۰۱۳ (د)

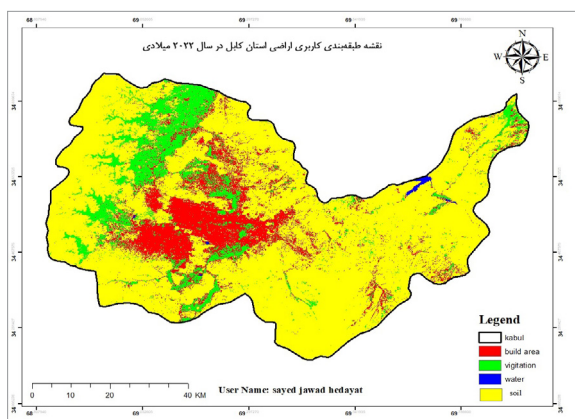


OLS۲۰۰۸ (ج)

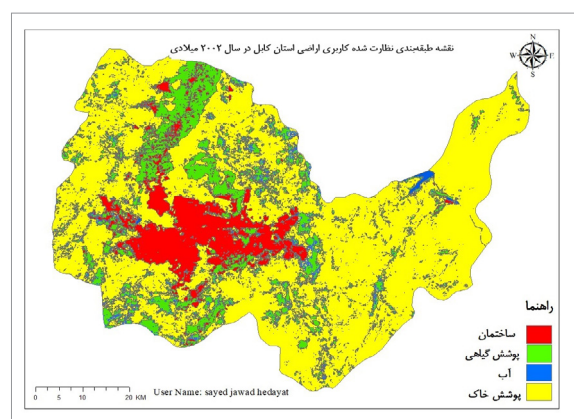
شکل ۱۱- تغییرات میزان نور شب استان کابل، در بازه زمانی ۱۹۹۲ - ۲۰۱۳

نظارت شده نسبت به تصاویر شب، خانه‌های گلی حومه‌های شهر کابل می‌باشد. بازتابش خانه‌های گلی مانند بازتابش خاک می‌باشد اگر در طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شود باعث بروز خطا در طبقه‌بندی می‌شود اما این خانه‌ها در طول شب بازتابش نور را دارند به همین دلیل مساحت داده‌های نور شب از مساحت طبقه‌بندی نظارت شده بیشتر محاسبه شده است. جدول (۶)، نتایج به‌دست آمده از ارزیابی دقت طبقه‌بندی نظارت شده تصویر سنتینل سال ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. ضریب کاپا به‌دست آمده برای این طبقه‌بندی برابر با ۰/۸۶ و صحت کلی برابر با ۹۰/۰۹ درصد به‌دست آمد.

نتایج به‌دست آمده از طبقه‌بندی نظارت شده بر روی تصاویر لندست ۷ سال ۲۰۰۲ و سنتینل ۲ سال ۲۰۲۲ در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است. در سال ۲۰۰۲، مساحت پهنه‌های آبی برابر با ۱۱۴۸ هکتار، پوشش گیاهی ۳۱۴ کیلومترمربع و مناطق مسکونی ۴۹۸ کیلومترمربع محاسبه شده است. به دلیل نداشتن نقاط زمینی در سال ۲۰۰۲ از عارضه‌ها، اعتبارسنجی برای طبقه‌بندی نظارت شده در این سال، صورت نگرفته است. در سال ۲۰۲۲، مساحت پهنه‌های آبی برابر با ۱۱۲۸ هکتار، پوشش گیاهی ۵۱۹ کیلومترمربع و مناطق مسکونی ۶۲۷ کیلومترمربع محاسبه شده است. دلیل کم بودن مساحت مناطق مسکونی توسط طبقه‌بندی



شکل ۱۳- نقشه طبقه‌بندی نظارت‌شده کاربری اراضی استان کابل سال ۲۰۲۲



شکل ۱۲- نقشه طبقه‌بندی نظارت‌شده کاربری اراضی استان کابل سال ۲۰۰۲

جدول ۶- نتیجه طبقه‌بندی، ضریب کاپا و صحت کلی

| کلاس              | پوشش گیاهی | آب   | مناطق مسکونی | خاک  | مجموعه | خطای Comission   | User Accuracy     |
|-------------------|------------|------|--------------|------|--------|------------------|-------------------|
| پوشش گیاهی        | ۲۴         | ۰    | ۰            | ۰    | ۲۵     | ٪۰               | ٪۱۰۰              |
| آب                | ۰          | ۲۱   | ۰            | ۰    | ۲۱     | ٪۰               | ٪۱۰۰              |
| مناطق مسکونی      | ۰          | ۱    | ۲۰           | ۰    | ۲۱     | ٪ ۴/۷۶           | ٪ ۹۵/۲۴           |
| خاک               | ۱          | ۲    | ۵            | ۲۵   | ۳۲     | ٪ ۲۴/۲۴          | ٪ ۷۵/۷۶           |
| طبقه‌بندی نشده    | ۰          | ۱    | ۰            | ۰    | ۱      |                  |                   |
| مجموعه            | ۲۶         | ۲۵   | ۲۵           | ۲۵   | ۱۰۱    | Overall Accuracy | Kappa Coefficient |
| خطای Omission     | ٪ ۳/۸۵     | ٪ ۱۶ | ٪ ۲۰         | ٪۰   |        | ٪ ۹۰/۰۹          | ٪ ۰/۸۶            |
| Producer Accuracy | ٪ ۹۶/۱۵    | ٪ ۸۴ | ٪ ۸۰         | ٪۱۰۰ |        |                  |                   |

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به بررسی روند تغییرات منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی با استفاده از محصولات ماهواره‌ای و داده‌های اقلیمی پرداخته شد. داده‌های به‌دست آمده در خصوص پهنه‌های آب سطحی و تغییرات آب زیرزمینی نشان داد این دو منبع آب کاهش یافته است. اما میزان پوشش گیاهی در استان کابل پس از سال ۲۰۰۰ رو به افزایش بوده است. بررسی داده‌های آب سطحی این استان نشان داد روند کلی مساحت پهنه‌های آب سطحی این استان کاهش یافته و بعضی از آب‌های دائمی به آب‌های فصلی تبدیل شده است که نمونه بارز آن آب رودخانه کابل می‌باشد. داده‌های به‌دست آمده نشان داد مجموع سالانه مساحت آب سطحی استان کابل در سال ۲۰۰۰، ۱۶۱۷ هکتار ثبت شده است. از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۵ مساحت آب سطحی استان کابل رو به افزایش بوده و به میزان ۲۹۰۲ هکتار رسیده و از سال ۲۰۰۵ به بعد از مساحت آب سطحی کابل کاسته شده است، به نحوی که تا سال ۲۰۲۰، به ۱۷۰۶ هکتار کاهش یافته است. همچنین مساحت به‌دست آمده برای پهنه‌های آب سطحی استان کابل توسط طبقه‌بندی نظارت شده سال ۲۰۲۲ برابر با (۱۱۲۸ هکتار) محاسبه شد. از طرفی، روند تغییرات داده‌های ثقل سنجی ماهواره GRACE نشان داد منابع آب زیرزمینی این استان در همه ماه‌های سال رو به کاهش بوده است.

به‌طورکلی می‌توان دو عامل طبیعی و انسانی را به‌عنوان عوامل موثر بر کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی استان کابل برشمرد. ۱- عوامل طبیعی: بر اساس نتایج به‌دست آمده از داده‌های هواشناسی استان کابل میزان بارندگی و رطوبت از سال ۲۰۰۶ به بعد، روند کاهشی داشته است و میزان دما در این استان افزایش یافته است. این تغییر اقلیم و گرم‌تر شدن هوای استان کابل، بر روی افزایش تبخیر-تعرق تأثیر داشته است. محصولات ماهواره‌ای دریافت شده از سامانه گوگل ارث انجین در بخش تبخیر-تعرق

نشان می‌دهد میزان تبخیر-تعرق در این استان از سال ۲۰۰۰ به بعد روند افزایشی داشته است.

۲- عوامل انسانی: ازجمله عوامل انسانی اثرگذار بر روی تغییرات منابع آب استان کابل می‌توان به توسعه کشاورزی و توسعه کالبدی مناطق مسکونی و در نتیجه آن افزایش جمعیت اشاره نمود. نتایج بررسی شده از داده‌های ماهواره‌ای پوشش گیاهی نشان داد روند تغییرات پوشش گیاهی در این استان افزایش یافته است. به جز شهرستان‌های شمال و شمال غرب استان کابل که آب مورد نیاز برای کشاورزی را بیشتر از آب سطحی تأمین می‌کنند، سایر مناطق آب مورد نیاز را از چاه برداشت می‌کنند. همچنین برای دریافت مساحت پوشش گیاهی از شاخص EVI بر روی تصاویر سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۲ استفاده شده و مساحت به‌دست آمده برای سال ۲۰۰۲ برابر با ۲۸۳ کیلومترمربع و سال ۲۰۲۲ برابر با ۴۳۶ کیلومترمربع و همچنین مساحت به‌دست آمده پوشش گیاهی در سال ۲۰۲۲ به روش طبقه‌بندی نظارت شده نیز برابر با ۵۱۹ کیلومترمربع محاسبه شد. در سال‌های اخیر حفر چاه‌ها زیاد شده و باعث افزایش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی در این استان شده است. همچنین کشاورزی در این استان به‌صورت سنتی می‌باشد و این نوع کشاورزی نسبت به روش‌های آبیاری نوین آب بیشتری نیاز دارد. با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای در شب مساحت شهر کابل در سال ۲۰۰۰ برابر با ۳۶۰ کیلومترمربع و سال ۲۰۱۳ برابر با ۸۲۷ کیلومترمربع محاسبه شده است. به دلیل دردسترس نبودن تصاویر OLS بعد از سال ۲۰۱۳ برای محاسبه مساحت شهر در سال ۲۰۲۲ از طبقه‌بندی نظارت شده بر روی تصویر سنتینل ۲ استفاده و مساحت شهر برابر با ۶۲۷ کیلومترمربع محاسبه شد. دلیل اینکه مساحت شهر در سال ۲۰۲۲ نسبت به سال ۲۰۱۳ کمتر محاسبه شده این است که در حومه‌ها شهر کابل خانه‌های گلی موجود است و درجه روشنایی خانه‌های گلی با خاک یکسان است به همین دلیل، مساحت مربوط به بافت‌های



قدیمی شهر در طبقه‌بندی نظارت شده دچار خطا شده است. در مجموع، مساحت اراضی شهری در استان کابل در طی دو دهه گذشته افزایش داشته و در نتیجه باعث افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای منابع محدود سطحی و زیرزمینی آب در این استان شده است.

#### پی‌نوشت‌ها

1-Global Surface Water (JRC)

2-Automated Water Extraction Index

#### منابع

- آزادمنش آزادزوی، محمد اسرافیل. (۱۴۰۰). تأثیرات اقلیم بالای آب‌های زیرزمینی شهر کابل. جلد اول. چاپ اول. انتشارات دانشگاه پروان. کابل، افغانستان.
- ابراهیمی خوسفی، محسن. (۱۴۰۱). تحلیل تغییرات مساحت تالاب‌های هامون و سایر پهنه‌های آبی منطقه سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. مجله جغرافیا و توسعه، ۷۱، ۱۳۴-۱۱۳. Doi: [10.22111/GDIJ.2023.7598](https://doi.org/10.22111/GDIJ.2023.7598)
- اداره ملی احصائیه افغانستان. (۱۴۰۰). گزارش سرشماری نفوس در سال ۱۴۰۰. کابل، افغانستان.
- اداره ملی ارگان‌های محلی افغانستان. (۱۳۹۶). گزارش معرفی ولایت کابل در سال ۱۳۹۶. کابل، افغانستان.
- افضلی، آتیکه. و شاهدهی، کاکا. (۱۳۹۳). بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت آمل-بابل. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. ۵(۱۰)، ۱۴۴-۱۵۶. URL: <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-419-fa.html>
- سعیدی، فهیمه. (۱۴۰۰). بررسی امکان استخراج فاکتورهای فیزیکی-فضایی مبتنی بر تصویر برای تشخیص مناطق محروم و بهره‌مند. پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- عظیمی، محمدعظیم. (۱۳۹۱الف). درآمدی بر جغرافیای طبیعی افغانستان. جلد اول. انتشارات خراسان. چاپ دوم. کابل، افغانستان.
- عظیمی، محمد عظیم. (۱۳۹۱ب). جغرافیای انسانی افغانستان. جلد اول. انتشارات خراسان. چاپ اول. کابل، افغانستان.
- عظیمی، سعید، اژدری مقدم، مهدی، و هاشمی منفرد، سید آرمان. (۱۳۹۶). ارزیابی پراکنش مکانی و ارتباط وقوع خشکسالی با کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی بر پایه شاخص‌های GRI در محیط GIS (مطالعه موردی: ۶۰۹ دشت ایران). پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۷۳-۸۹، (۲۹). [https://clima.irimio.ir/article\\_62692.html](https://clima.irimio.ir/article_62692.html)

عمادالدین، سمیه، شیدایی مجد، نسرین، و آرخی، صالح. (۱۳۹۹). بررسی تأثیر روند تغییرات کاربری اراضی روی افت تراز آب زیرزمینی (محدوده مطالعاتی: ماهیدشت کرمانشاه). مجله علمی پژوهشی مخاطرات طبیعی، ۹(۲۵)، ۱۲۵-۱۴۲. Doi: [10.22111/JNEH.2020.31698.1565](https://doi.org/10.22111/JNEH.2020.31698.1565)

مسلمی، حمید، و درویشی، راحله. (۱۳۹۶). راهکارهای کاهش افت سطح آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت لاور- استان هرمزگان). نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، ۵(۲)، ۱۳۵-۱۲۵. <https://doi.org/10.22092/lmj.2018.115868>

Feyisa, G.L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S.R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, 140, 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>

Huete, A.R, Liu, H.Q, Batchily, K., & van Leeuwen, W. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS, Remote Sensing of Environment, 59(3), 440-451. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)

Noori, K., & Nasimi, M. (2019). Kabul City Groundwater and Need for Artificial Recharge. 4th International Conference on Civil. Structural and Transportation Engineering (ICCSTE 19). Ottawa -Canada. DOI: [10.11159/iccste19.215](https://doi.org/10.11159/iccste19.215)

Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A.S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. Nature, 540, 418-422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>

Rateb, A., Scanlon, B., Pool, D., Sun, A., Zhang, Z., Chen, J., Clark, B., Faunt, C., Haugh, C., Hill, M., Hobza, C., McGuire, V., Reitz, M., Schmied, H., Sutanudjaja, E., Swenson, S., Wiese, D., Xia, Y., & Zell, W. (2020). Comparison of Groundwater Storage Change from GRACE Satellite with Monitoring and Modeling of Major U.S Aquifers, American Geophysical Union. Water resources research, 56(12), 1-19. <https://doi.org/10.1029/2020WR027556>

Salmi, T., Maata, A., Anttila, Pia, Ruoho-A., & Tuija. (2002). Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Solpe Estimates the Excel Template Application MAKESENS. Publications on Air Quality. No 31.

- Finnish Meteorological Institute. Helsinki, Finland.
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152-170. DOI: [10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001)
- Thomas, J. M. (2018). Groundwater Availability in the Kabul Basin, Afghanistan, Springer Nature Singapore. In book: *Groundwater of South Asia*. (pp.23-35). DOI: [10.1007/978-981-10-3889-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3889-1_2)

## An Evaluation and Critique of Research on the Issues Facing the Kashafrud River, Along with Proposing a Comprehensive Solution

R. Salajegheh<sup>1</sup>, S.R. Khodashenas<sup>2\*</sup>, S.A. Hashemi Monfared<sup>3</sup>, K. Esmaili<sup>4\*</sup>, F. Modaresi<sup>5</sup>

1, 2, 4, 5- Ph.D. Candidate of Water Structures, Associate Professor, Professor and Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 3- Associate Professors, Department of Civil Engineering, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran.

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

Received: 17-08-2023

Revised: 04-03-2024

Accepted: 12-03-2024

Available Online: 20-06-2024

## نقد و بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه چالش‌های کشف‌رود و ارائه راه‌حل جامع

رضوان سلاجقه<sup>۱</sup>، سعیدرضا خداشناس<sup>۲</sup>، سیدآرمان هاشمی منفرد<sup>۳</sup>، کاظم اسماعیلی<sup>۴</sup>، فرشته مدرسی<sup>۵</sup>

۱، ۲، ۴ و ۵- به ترتیب دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، استاد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

### Abstract

Critical to human survival, water resources, including groundwater and particularly rivers, are under threat from anthropogenic pollution. The major Kashafrud River, located in northeastern Iran, is a seasonal watercourse currently encountering numerous challenges. At present, a stretch of this historic river (Parkandabad to the basin's exit) carries wastewater, comprising industrial, urban, agricultural, and even livestock effluents, transforming it into a conduit for sewage. This study reviews existing research on the challenges faced by the Kashafrud River, including pollution, climate change, and its impacts, as well as reduced runoff and drought. It outlines the crisis afflicting the river and then explores solutions to mitigate the current conditions. This research process involved reviewing previous studies on the challenges of Kashafrud, conducting field visits, engaging in discussions with local residents, and validating these findings through consultation with regional water experts responsible for overseeing this water course. Research indicates that there has been a limited focus on the pollution issue in Kashafrud, underscoring the evident necessity for comprehensive scientific inquiry aimed at presenting suitable solutions to tackle river contamination. In conclusion, through analyzing solutions proposed in previous studies and summarizing their strengths and weaknesses, 13 practical solutions were presented to provide the most effective strategies for addressing the challenges of this significant river.

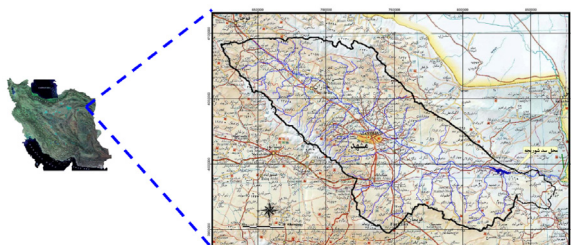
**Keywords:** Kashafrud, Sewage, River Pollution, Climate Change, Drought.

### چکیده

از مهمترین منابع حیات انسانی که در معرض خطر آلودگی‌های انسان‌ساز است منابع آبی همچون آب‌های زیرزمینی و به‌خصوص رودخانه‌ها هستند. رودخانه بزرگ کشف‌رود در شمال شرق ایران، رودخانه‌ای فصلی است که امروزه با چالش‌های زیادی مواجه می‌باشد. در حال حاضر در محدوده‌ای از این رودخانه تاریخی (پرکندآباد تا خروجی حوضه) فاضلاب شامل انواع فاضلاب‌های صنعتی، شهری، کشاورزی و حتی دامی جاری است و آن را به آبراهه‌ای برای انتقال فاضلاب تبدیل کرده است. در این پژوهش، با رویکرد بررسی پژوهش‌ها و مطالعات انجام شده در زمینه مسائل و مشکلات این رودخانه همچون آلودگی، تغییر اقلیم و اثرات آن و نیز کاهش رواناب و خشکسالی به بیان بحران گریبان‌گیر کشف‌رود و سپس به بررسی راهکارهای برون رفت از شرایط موجود پرداخته شده است. در فرآیند این تحقیق برای بررسی مشکلات کشف‌رود از پژوهش‌های پیشین، بازدید منطقه و گفتگو با اهالی محل و نیز در جهت راستی آزمایی موارد فوق از نظر کارشناسان آب منطقه‌ای به‌عنوان متولی این آبراهه استفاده شده است. بررسی‌ها نشان داد راجع به مسئله آلودگی کشف‌رود پژوهش‌های محدودی صورت گرفته است و ضرورت مطالعه‌ای جامع که به‌صورت علمی در آن به ارائه راهکارهای مناسب حل مشکل آلودگی رودخانه بپردازد آشکار است. در نهایت با تحلیل راه‌حل‌های ارائه شده در مطالعات پیشین و جمع‌بندی نکات مثبت و منفی در پیشنهاد‌های ارائه شده، با ارائه ۱۳ راهکار کاربردی سعی شد بهترین راه‌حل‌ها برای رفع مشکل این رودخانه مهم ارائه شود.

**واژه‌های کلیدی:** کشف‌رود، فاضلاب، آلودگی رودخانه، تغییر اقلیم، خشکسالی.

کشف رود یک رودخانه فصلی در شمال خراسان رضوی و در حوضه آبریز قره‌قوم و به طول حدود ۳۲۰ کیلومتر و با مساحتی معادل ۱۶۵۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. حوضه قره‌قوم در سیستم تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز به‌عنوان ششمین حوضه اصلی کشور شناخته می‌شود که ۱۳ محدوده مطالعاتی دارد. حوضه آبریز کشف رود چهار محدوده (آق‌دریبد، نریمانی، مشهد و سنگ‌بست) از ۱۳ محدوده مطالعاتی را شامل می‌شود و در طول جغرافیایی "۶° ۲۲' ۵۸" تا "۵° ۰۸' ۶۱" شرقی و عرض جغرافیایی "۵۸° ۳۷' ۳۵" تا "۵۶° ۰۳' ۳۷" شمالی واقع شده است. این حوضه شامل ۱۰ شهر مشهد، طر‌قه، شاندیز، چناران، ملک‌آباد، رضویه، چکنه، فرهادگرد، مزداوند و گلپهار است. سرچشمه کشف رود نزدیک به سرچشمه اترک است و با گذشتن از شهرستان‌های قوچان، چناران و دشت مشهد و همچنین افزوده شدن شاخه‌هایی از دو سو به آن در جنوب مزداوند وارد ناحیه مرزی شهرستان سرخس شده است و در مرز ترکمنستان به رودخانه بزرگ هریرود می‌پیوندد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد (سالاریان و همکاران، ۱۳۹۸؛ شفایی و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز کشف رود در ایران

#### • ناهنجاری‌های کشف رود

عامل اصلی آلودگی رودخانه کشف رود، جهت شیب این رودخانه در شهر مشهد است. شیب عمومی شهر مشهد از سمت جنوب به شمال موجب شده است تا تمام کانال‌های خروج آب و فاضلاب شهر مشهد به رودخانه کشف رود وارد شود و رودخانه‌ای از آب‌های آلوده به وجود آید؛ وجود کارگاه‌ها و کارخانجات در حاشیه این رودخانه آلودگی کشف رود را مضاعف کرده است. بزرگ شدن شهر مشهد و مهاجرت‌های بی‌رویه از مناطق مختلف کشور حاشیه‌نشینی را در مشهد پر رونق کرده و مردم هم به جهت مواجه شدن با مشکلات اقتصادی به این مناطق هجوم آورده و تعرض به حریم رودخانه را آغاز کرده‌اند. به نظر می‌رسد که سهل‌انگاری مردم و مسئولین موجب شده تا روز به روز مشکلات منطقه بیشتر شود (گل‌محمدی تولانی، ۱۳۸۷). لشکری‌پور و همکاران (۱۳۸۸) عمده دلایل آلودگی آب سطحی و زیرسطحی منطقه کشف رود را به‌صورت زیر بیان کردند: ۱- پساب

کشف رود از بزرگ‌ترین رودخانه‌های فصلی شمال شرق کشور است. این رودخانه پرآب‌ترین رودخانه دشت مشهد است که در مسیر خود آب شرب مورد نیاز ده‌ها روستا، صدها هکتار اراضی کشاورزی، چندین طرح پرورش ماهی و کارخانجات صنعتی مهمی را تامین می‌کرده است (شفایی و همکاران، ۱۴۰۰). حوضه آبریز این رودخانه با مساحت ۱۶۵۰۰ کیلومتر مربع به‌عنوان زهکش اصلی دشت مشهد شناخته می‌شود.

کشف رود در گذشته رودخانه‌ای پرآب و مناسب کشاورزی بوده است اما متأسفانه در حال حاضر به دلیل احداث سد روی سرشاخه‌های تغذیه کننده آن، خشکسالی و ورود بی‌رویه و بدون نظارت انواع فاضلاب، این رودخانه به شدت آلوده و قسمتی از آن در محدوده پرکنده‌آباد تا خروجی حوضه تبدیل به آبراهه ای برای عبور جریان فاضلاب شده است (گل‌محمدی تولانی، ۱۳۸۷؛ علایی، ۱۳۸۹؛ رضایی رنجبر و قزل سوفلو، ۱۳۹۸). فاضلاب جاری در رودخانه توسط کشاورزان برای آبیاری محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه، فلزات سنگین وارد چرخه غذایی انسان می‌شود (سیدنژادگل خطمی و همکاران، ۱۴۰۱؛ برات‌زاده‌پوستچی، ۱۳۹۸؛ مدرس‌شیخ و همکاران، ۱۳۹۲)؛ همچنین این ناحیه به دلیل مهاجرت زیاد و کنترل نشده، جمعیت زیادی دارد که به دلیل آلودگی زیاد، بوی نامطبوع و مسائل دیگر زندگی را برای ساکنین بسیار دشوار کرده است. چنانکه می‌توان گفت اکنون کشف رود به یک مشکل محیط‌زیستی جدی تبدیل شده است (سیدنژادگل خطمی و همکاران، ۱۴۰۱؛ گل‌محمدی تولانی، ۱۳۸۷) و مسئولین درصدد یافتن راهکار برای رفع این معضل هستند.

برای رفع هر مشکلی اول باید آن را شناخت و تلاش‌ها و پژوهش‌هایی که تاکنون برای حل آن انجام شده‌اند را بررسی نمود. مشکلات اصلی که بر عملکرد رودخانه کشف رود اثر گذاشته است را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود: اول، اثرات طبیعی مانند تغییر اقلیم و کاهش بارندگی‌ها و دوم، اثرات انسانی شامل ساخت انواع سدها و بندها بر روی رودخانه و یا سرشاخه‌های آن و نیز ورود فاضلاب خام و گاهی تصفیه شده به رودخانه (بانژاد و شجاعان، ۱۳۹۴؛ مدرس‌شیخ و همکاران، ۱۳۹۲؛ علایی، ۱۳۸۹؛ لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۸؛ گل‌محمدی تولانی، ۱۳۸۷). عدم نظارت بر شرایط محیط‌زیستی رودخانه و دخل و تصرف‌های انجام شده در آن موجب ایجاد شرایط بحرانی و محیط‌زیستی برای این رودخانه شده است.

از این رو اطلاع و آشنایی با مسائل کشف رود از زوایای مختلف و به‌خصوص محیط‌زیستی و نیز اثرات تغییر اقلیم با جستاری در تحقیقات گذشته می‌تواند در ارائه یک راه‌حل مناسب بسیار با اهمیت باشد. لذا این پژوهش با چنین رویکردی به مشکلات و مسایل این رودخانه مهم پرداخته است.

(پساب خانگی و صنعتی) تولیدی روستاهای حاشیه منطقه که بدون ملاحظات محیط‌زیستی وارد رودخانه می‌شود، ۲- پساب‌های خانگی شهر بزرگ مشهد؛ هر چند که این پساب در نهایت به تصفیه‌خانه‌های پرکندآباد واقع در غرب مشهد و اولنگ‌اسدی در قسمت شرقی شهر تخلیه می‌شود، اما تصفیه‌خانه پرکندآباد به دلیل افزایش بار ورودی به تصفیه‌خانه و شوک ناشی از آن همچنین به دلیل عدم کارایی سیستم تصفیه‌کنندگی (لاگون هوادهی) در شرایط کنونی قدرت تصفیه‌کنندگی نامناسبی داشته و پساب خروجی تصفیه‌خانه که به کشف‌رود وارد می‌شود شرایط مناسبی ندارد. همچنین، پساب خروجی از تصفیه‌خانه اولنگ‌اسدی در اکثر مواقع با کاهش پارامترهای کیفی پساب مواجه است، ۳- ورود پساب شهرک صنعتی طوس از بخش غربی مشهد که بدون هیچ‌گونه تصفیه‌ای به شبکه فاضلاب شهری و در نهایت به تصفیه‌خانه پرکندآباد وارد شده و موجب کاهش کیفیت پساب خروجی از این تصفیه‌خانه می‌شود. از آنجایی که در قسمت شرقی شهر هیچ‌کدام از صنایع اجازه تخلیه فاضلاب‌های صنعتی به شبکه منتهی به تصفیه‌خانه اولنگ‌اندازند، این فاضلاب‌ها توسط تانکرهای لجن‌کش مستقیماً وارد کشف‌رود می‌شوند، ۴- وجود کارگاه‌های منابع معدنی و شن و ماسه در حاشیه رودخانه که حوضچه ترسیب ندارند، ۵- آلودگی ناشی از ورود پساب‌های کشاورزی شامل مازاد سموم، کودهای شیمیایی و انواع افت‌کش‌ها و قارچ‌ها، ۶- افزایش فرسایش در سطح حوضه آبریز این منطقه که موجب گل‌آلودگی و افزایش کدورت آب منطقه می‌شود، ۷- آلودگی توسط آب باران که با جذب آلودگی هوا و شستشوی محیط آلوده این آلودگی را به آبخوان هدایت می‌کند (میزان سرب در بارندگی ۱۳۸۵/۹/۲۸ برابر با ۰/۲۴ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد). نمونه‌برداری از ۱۷ حلقه چاه عمیق مورد استفاده در بخش صنعت در شمال غرب شهر نشان داد میزان کمینه فلزات سنگین (سرب، مس، کادمیوم، جیوه، آرسنیک، روی نیکل، وانادیوم، آهن دوظرفیتی و کروم) بسیار بیشتر از میزان بیشینه تعریف شده توسط استانداردهای سلامت است که این ناشی از وجود عوامل فوق‌الذکر می‌باشد. از طرفی تخصیص غیر یکپارچه و کمبود آب و در پی آن، تنزل کیفیت منابع آب، موجب مضاعف شدن مشکل منطقه شده است (سالاریان و همکاران، ۱۳۹۸).

با گذشت زمان مسائلی ازجمله ایجاد باغات، برداشت بی‌رویه آب و بستن سد در بالادست باعث خشک شدن این رودخانه شد (رضایی‌رنجبر و قزل‌سوفلو، ۱۳۹۸). همچنین سالاریان و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی مشکلات حوضه آبریز کشف‌رود به بررسی کنشگران اصلی این حوضه پرداختند و در مجموع کنشگران این حوضه را به ۳ گروه شامل گروه‌های دولتی، خصوصی و جامعه مدنی تقسیم‌بندی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد مهم‌ترین دغدغه آبران این حوضه آلودگی آب و وضعیت معیشت مردم به‌خصوص کشاورزان و مسئله اصلی سیاستمداران، مسئولان و مدیران بهبود

وضعیت کمی و کیفی منابع آب حوضه است. سیدنژاد گل‌ختمی و همکاران (۱۴۰۰) فهرست برخی از مشکلات کشف‌رود را که در سال‌های اخیر در رسانه‌ها مطرح و خبرساز شده است، چنین برمی‌شمارند: ۱- تجاوز به بستر و حریم کشف‌رود و تغییر کاربری آن: وجود آلودگی‌های فراوان در اطراف کشف‌رود، احداث انبار، کارگاه‌های صنعتی سبک، کارگاه‌های خدماتی و آغل دام، وجود قالیشویی‌ها و کارگاه‌های آلاینده در بستر رودخانه، ۲- آسیب‌پذیری ساکنان رودخانه در زمان سیلابی شدن کشف‌رود ۳- بوی نامطبوع رودخانه، ۴- اختلال در امنیت اجتماعی و ناامنی در محدوده رودخانه، ۵- تخلیه نخاله‌های ساختمانی، پسماندهای گوناگون، فاضلاب خانگی، صنعتی و تجاری، زهاب‌های کشاورزی حاوی سموم و کودهای شیمیایی و فاضلاب‌های تصفیه نشده، ۶- آلوده شدن خاک اطراف کشف‌رود، ۷- وجود ده‌ها موتور تلمبه که با انتقال فاضلاب خام از رودخانه کشف‌رود به زمین‌های کشاورزی مجاور و آبیاری آن‌ها، منجر به تولید محصولات کشاورزی بیماری‌زا (۱۶ محصول) و ابتلا به بیماری‌های پوستی و انگلی شده‌اند، ۸- افزایش سطح آلودگی در منطقه و رشد عوامل بیماری‌زا مانند انواع بیماری‌های قارچی، میکروبی، ویروسی و آفات مانند پشه سالک و مالاریا در نتیجه جاری شدن فاضلاب، ۹- به‌روز نبودن و ناکافی بودن تعداد تصفیه‌خانه‌های موجود و همچنان آلاینده بودن آب تصفیه شده خروجی برخی تصفیه‌خانه‌ها، ۱۰- عدم وجود و یا عدم انتشار آمار و اطلاعات به‌روز در مورد میزان آلوده بودن پساب‌ها، میزان سطح زیرکشت با آب‌های آلوده و میزان آلودگی محصولات کشاورزی تولید شده، ۱۱- عدم کفایت بودجه‌های دولتی و لزوم جذب سرمایه، ۱۲- دریافت فاضلاب توسط تصفیه‌خانه‌ها بیش از ظرفیتشان و در نتیجه جاری شدن فاضلاب مازاد در رودخانه، ۱۳- عدم رصد صحیح تانکرهای حمل فاضلاب و نیاز به رصد برخط با استفاده از GPS ۱۴- فروش غیرقانونی فاضلاب خام و استفاده در بخش کشاورزی، ۱۵- ارتباط مستقیم با زندگی ۶۰۰ هزار نفر از همسایگان مشهودی ۱۶- اعلام نیاز به تعیین الگوی کشت مناسب رودخانه کشف‌رود، ۱۷- غیرقابل استفاده شدن خاک حاشیه کشف‌رود برای کشاورزی و نیز، نابودی اکوسیستم و محیط‌زیست که امروزه توجه کمتری به آن می‌شود (که دلیل اهمیت نجات رودخانه کشف‌رود از وضعیت موجود و ارائه راه‌حلهایی برای جلوگیری از ورود این آلاینده‌ها به رودخانه است) (شفایی و همکاران، ۱۴۰۰؛ شجاعان و بانژاد، ۱۳۹۴؛ شاکری و علیزاده، ۱۴۰۱).

بر اساس موارد پیش‌گفته می‌توان انواع منشأ آلودگی در بازه مورد بررسی را شامل موارد زیر دانست: ۱- استاندارد نبودن پساب تخلیه شده از تصفیه‌خانه‌ها، ۲- تخلیه سرریز اضافی فاضلاب خام از تصفیه‌خانه‌ها، ۳- تخلیه فاضلاب کارگاه‌ها و کارخانجات صنعتی حاشیه کشف‌رود که احتمالاً حاوی فلزات سنگین می‌باشند، ۴- توسعه حاشیه‌نشینی مشهد در امتداد کشف‌رود و تخلیه پساب



خانگی، ۵- ورود فاضلاب بخش کشاورزی که حاوی سموم، کودهای شیمیایی، انواع قارچ کش ها و افت کش ها هستند، ۶- تخلیه تانکرهای حمل فاضلاب صنایع قسمت شرقی مشهد. که از مهمترین دلایل آلودگی کشف رود بیان شده است. علاوه بر این، با احداث سد مخزنی شورچه با هدف کنترل سیلاب بر روی کشف رود و نیز فصلی بودن این رودخانه و در نهایت استفاده از آب آن به عنوان آب شرب و کشاورزی شهر مشهد، اهمیت حل مشکلات کشف رود به خصوص در بحث فلزات سنگین، چندین برابر می شود.

با توجه به موارد مطرح شده اکنون سوال اساسی این است که راهکار حل مشکلات کشف رود چیست؟ برای پاسخگویی به این سوال باید اقدامات و تلاش های صورت گرفته در این زمینه را بررسی و ارزیابی کرد و چکیده آن را به عنوان راهکار برون رفت از مشکلات کشف رود ارائه نمود. به این منظور با بررسی پژوهش های انجام شده روی میزان آلودگی، خشکسالی و کاهش نزولات جوی، تغییر اقلیم و در نهایت

کاهش رواناب و تغذیه کشف رود، مشکل کشف رود باید بررسی و ارزیابی شود. در نهایت با تحلیل تمام این موارد دلایل عدم حل مشکلات این رودخانه و راهکارهای حل مشکلات ارائه خواهد شد.

## عوامل تاثیرگذار بر مسئله کشف رود

### - آلودگی

باتوجه به اهمیت اندازه گیری انواع آلودگی در این رودخانه چکیده پژوهش های انجام شده در این زمینه در جدول (۱) آورده شده است. همان طور که جدول (۱) نشان می دهد باوجود اهمیت آلودگی در این رودخانه و اطلاع از میزان انواع آلودگی، از دیدگاه های مختلف، مطالعات محدودی در این زمینه انجام شده است. این پرسش به وجود می آید که چرا با وجود اهمیت موضوع، مطالعه و پایش رودخانه از نظر کیفی تا این حد ضعیف است؟

جدول ۱- پژوهش های انجام شده در رابطه با ارزیابی میزان آلودگی در کشف رود

| عنوان و مشخصات پژوهش                                                                                                                                | خلاصه پژوهش انجام شده و نتایج                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| بررسی غلظت سرب، کروم و جیوه در رودخانه کشف رود، خاک و برخی محصولات کشاورزی (مدرس شیخ و همکاران، ۱۳۹۲)                                               | آنها با نمونه برداری از آب رودخانه خاک و برخی محصولات کشاورزی آلودگی سرب، کروم و جیوه را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن است که غلظت فلزهای سرب و کروم اختلاف معنی داری در آب رودخانه با حداکثر مجاز برای کاربردهای آشامیدن کشاورزی و حیات آبریان دارد. میزان جیوه در تمام نمونه گیری ها به جز پرکندآباد بیش از حد مجاز آشامیدن بود. ولی همبستگی معنی داری بین غلظت سرب در برگ ذرت، بذر گندم و خاک به دست نیامد. هر چند که همبستگی معنی داری بین غلظت کروم در بذر گندم، برگ ذرت و خاک به دست آمد. با این وجود همبستگی معنی داری بین غلظت جیوه در برگ ذرت، بذر گندم و خاک وجود نداشت. |
| ارزیابی کیفیت آب رودخانه کشف رود مشهد با استفاده از شاخص های زیست محیطی (علی پناهی و رضائی، ۱۳۹۴)                                                   | با بررسی میزان فلزات سنگین سرب، آهن، آرسنیک و کادمیوم در رودخانه کشف رود نتیجه گرفتند که حد مجاز تمامی فلزات از استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای آشامیدن بیشتر است. و این آب غیر قابل مصرف بوده، به نحوی که در برخی از ایستگاه ها میزان سرب به بیش از ۵۰۰ برابر حد مجاز رسیده است.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| ارزیابی وضعیت کیفی رسوبات رودخانه کشف رود مشهد با استفاده از شاخص شدت آلودگی رسوبات (IPOP) (علی پناهی و رضائی، ۱۳۹۴)                                | با بررسی میزان فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه کشف رود مشهد دریافتند که میزان آلودگی رسوبات به آرسنیک، شدید؛ به کادمیوم، زیاد و به سرب، کمترین مقدار نسبت به سایر عناصر تحت آزمایش بود.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| اثرات آبیاری طولانی مدت با پساب تصفیه خانه پرکندآباد بر برخی خصوصیات شیمیایی و زیستی خاک (حاجی تمکی و همکاران، ۱۳۹۵)                                | بررسی اثر ۱۰ ساله آبیاری با پساب بر خصوصیات شیمیایی و زیستی خاک در حاشیه رودخانه کشف رود نشان داد، شوری خاک به میزان ۱۸ درصد و قلیائیت به میزان ۴ درصد نسبت به نمونه آبیاری با آب زیرزمینی افزایش داشته است. همچنین به علت تفاوت در ورودی های پساب به رودخانه در بازه های مختلف تغییر در فعالیت های زیستی و شیمیایی در مسیر انتخابی متفاوت بوده است.                                                                                                                                                                                                                               |
| مطالعه غلظت برخی از عناصر سنگین در گندم، گوجه فرنگی و ذرت و ارزیابی ریسک کمی غیرسرطان زایی: حاشیه رودخانه کشف رود، مشهد (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۹) | با هدف پایش میزان تجمع فلزات سنگین سرب، آرسنیک و کادمیوم در برگ، ریشه و دانه محصولات گوجه فرنگی، ذرت و گندم این پژوهش انجام شد و نتایج نشان داد میزان تجمع این فلزات در محصولات نام برده کمتر از محدوده پیشنهادی استاندارد جهانی بود.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| بررسی وضعیت آلودگی رودخانه کشف رود با رویکرد انگل های تک یاخته (مولوی و همکاران، ۱۳۹۸)                                                              | با رویکرد اندازه گیری انگلی از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ از ۱۲ نقطه یازده نوبت نمونه برداری انجام شد. نتایج نشان داد محدوده تصفیه خانه اولنگ اسدی بیشترین نرخ آلودگی را دارد. آلوده ترین ماه های سال فروردین، اردیبهشت و شهریور هستند و به طور کلی در ماه هایی که شهر مشهد پذیرای حضور فراوان زائران است آلودگی این آب بسیار زیاد شده و تهدیدی جدی برای سلامت عمومی شهر به شمار می رود.                                                                                                                                                                                                     |
| بررسی تاثیرات زیست محیطی و هیستوپاتولوژیکی فلز سنگین کروم در حومه چرم شهر قزقان مشهد (برات زاده پوستچی و همکاران، ۱۳۹۸)                             | فاضلاب این منطقه بدون هیچ پیش تصفیه ای به کشف رود وارد می شود و از آنجایی که که عمده آلودگی این فاضلاب کروم است تهدیدی جدی برای گیاهان، جانوران، دام و در نهایت انسان است تحقیق انجام شده نشان دهنده این تاثیرات می باشد.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

## - تغییر اقلیم در حوضه آبریز کشف رود

تغییر اقلیم به عنوان یک مسئله ملی و فراملی مورد توجه بسیاری از کشورهای جهان قرار گرفته است و به عنوان یک چالش حیاتی در پیش روی بشر قرار دارد. لذا با توجه به افزایش روند رشد جمعیت جهان و گسترش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سوخت‌های فسیلی و در نتیجه اثرات آن که باعث گرم‌تر شدن کره زمین و به تبع آن کاهش بارندگی می‌شود، باید به مسئله تغییرات اقلیم به عنوان یک ضرورت اصلی در مدیریت منابع آب نگریست. تغییر اقلیم اثرات مستقیمی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی نظیر تبخیر از سطح آب، تعرق از گیاه، تغذیه آب‌های زیرزمینی، رواناب یا ذوب برف دارد. سیاری و همکاران (۱۳۸۹) تاثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش در حوضه آبریز کشف رود را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد دما افزایش یافته ولی میانگین سالانه بارش تفاوت معنی داری پیدا نکرده است اما توزیع آن در فصل‌های مختلف متفاوت می‌باشد. میزان تبخیر تعرق تحت افزایش دما افزایش و با افزایش دما به میزان ۲،۱ و ۴ درجه سانتی‌گراد نیاز آبی گیاهان به ترتیب ۶، ۱۰ و ۱۶ درصد افزایش خواهد یافت (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). با بررسی تاثیر گرمایش جهانی بر حداقل و حداکثر دما، الگوی بارش و تبخیر تعرق پتانسیل گیاهانی همچون گندم، ذرت، گوجه فرنگی و چغندر قند در حوضه کشف رود به این نتیجه رسیدند که حداقل و حداکثر دما افزایش، تبخیر تعرق پتانسیل افزایش و میانگین بارش سالانه تغییر چندانی نداشته است (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰ ب). سیاری و همکاران (۱۳۹۰) سه شاخص خشکسالی را برای پیش مدت و فراوانی خشکسالی در حوضه کشف رود استفاده کردند. نتایج حاکی از افزایش فراوانی وقوع خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم برای هر سه دوره مورد مطالعه بود. با هدف بررسی تغییرات فصلی بارش و درجه حرارت حوضه آبخیز کشف رود در دوره‌های آینده، آقاخانی افشار و همکاران (۱۳۹۵) دو پارامتر بارش و درجه حرارت را به عنوان مهمترین پارامترهای اقلیمی در حوضه‌های آبریز در نظر گرفتند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین و کمترین بارش‌ها در فصل‌های بهار و تابستان رخ خواهد داد و درجه حرارت متوسط در تمامی فصول سال بیشتر از دوره پایه (دوره انتخاب شده برای پیش ۱۳۷۱-۱۳۸۴) می‌باشد. همچنین، به طور متوسط در همه مدل‌ها و سناریوها، بیشترین و کمترین درجه حرارت متوسط در فصل‌های تابستان و زمستان حاصل خواهد شد و به تبع آن میزان بارش‌های فصلی نیز در این فصول به ترتیب کاهش و افزایش خواهد یافت. در بررسی اثرات تغییر اقلیم و تعیین بهترین مدل گردش عمومی جو در حوضه آبخیز کشف رود با رویکرد گزارش پنجم هیأت بین الدول (AR5) کاهش بارش، افزایش دمای حداکثر و حداقل در مقایسه با دوره پایه (دوره مطالعاتی ۱۹۹۲-۲۰۰۶) رخ می‌دهد؛ به طوری که بارش از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ به میزان ۲۹/۸۹ درصد کاهش و دما به میزان ۱۴/۰۹ درصد افزایش می‌یابد (آقاخانی افشار و همکاران، ۱۳۹۴؛ آقاخانی افشار و همکاران، ۱۳۹۵ ب).

حسینی و زرین (۱۳۹۷) با مطالعه‌ای نشان دادند، افزایش دمای حداقل ۲ درجه و تبخیر و تعرق پتانسیل تا ۰/۲۵ میلیمتر در روز در تمامی حوضه آبریز کشف رود و همچنین افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل و دما در آینده در بالادست حوضه آبریز کشف رود به ترتیب به میزان ۰/۷ میلیمتر در روز و ۸ درجه نسبت به دوره پایه محتمل است. با توجه به تغییرات اقلیم، الگوی دما و بارش مناطق مختلف در آینده روند متفاوتی را در پیش خواهد گرفت. به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر دبی حوضه رودخانه کشف رود و تامین آب شرب مشهد نتایج حاکی از آن است که کاهش جریان در فصل زمستان، بهار و پاییز به ترتیب مقادیر ۳۵، ۲۰ و ۱۰ درصد را ثبت شده است. با توجه به مقادیر به دست آمده از این پژوهش و همچنین با توجه به اینکه عمده حجم رواناب در حوضه در فصول زمستان و بهار اتفاق می‌افتد، نتایج تحلیل سناریوهای مختلف در مورد پیش‌بینی شرایط آبی حاکی از آن است که حجم ورودی به مخازن کاهش می‌یابد که می‌تواند بیانگر کم‌آبی در سال‌های آینده باشد (سیف و همکاران، ۱۳۹۷).

خسروی و آذری (۱۴۰۱) روند بارش و دما در مقیاس‌های سالانه، فصلی و ماهانه در طول دوره آماری ۱۳۶۴-۱۳۹۵ در حوضه آبریز کشف رود را بررسی کردند. ایشان دریافتند روند دمای بیشینه در فصول بهار و زمستان و همچنین در مقیاس سالانه برای کلیه ایستگاه‌های حوضه افزایشی بوده است. اما در فصل تابستان و پاییز الگوی یکسانی وجود ندارد. روند دمای کمینه ایستگاه‌های حوضه در تمامی فصول از الگوی واحدی برخوردار نیست. نتایج تحلیل روند بارش نشان می‌دهد بارش سالانه حوضه تغییر نکرده در حالی که در فصل زمستان مقدار بارش حوضه روند کاهشی داشته است و در پاییز نیز در نیمه جنوبی روند افزایشی است. کاهش شدید بارش در زمستان و ماه‌های دی و بهمن و افزایش آن در آبان می‌تواند مدیریت منابع آب حوضه را در فصل خشک با چالش جدی مواجه کند زیرا خشکسالی اثرات معنی‌دار محیطی و اقتصادی-اجتماعی در ایران دارد.

حسینی و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از مدل SWAT و مدل اقلیمی CCT اثرات تغییر اقلیم بر تغذیه آب‌های زیرزمینی در حوضه آبریز کشف رود را پیش‌بینی کردند. نتایج حاصل از ارزیابی تغییرات اقلیم در حوضه مطالعاتی این پژوهش حاکی از آن است که افزایش تبخیر در اثر افزایش دما و سهم کمتر نزولات جوی، زمینه‌ساز کاهش تغذیه آب زیرزمینی در سطح حوضه خواهد بود. پژوهش‌های بررسی شده بیانگر تغییر روند الگوی بارش و دما در حوضه کشف رود منطقه که ناشی از تغییر اقلیم است، می‌باشند. بنابراین اهمیت آلودگی کشف رود آشکارتر و پررنگ‌تر می‌شود زیرا با افزایش دما و کاهش بارندگی، انتشار بوی نامطبوع (براساس پژوهش‌های قسمت بحث در مورد آلودگی کشف رود که میزانی از این بوی نامطبوع ناشی از کروم شش ظرفیتی است که به شدت روی سیستم تنفسی تاثیرگذار است) حداقل مسئله این منطقه خواهد بود همانطور که این منطقه در فصل تابستان شاهد این پدیده است.

## - خشکسالی و کاهش تغذیه

از دیدگاه اقلیم‌شناسی وقوع خشکسالی از ویژگی‌های اصلی آب‌وهوای ایران محسوب می‌شود که هم در قلمرو آب‌وهوای مرطوب و هم خشک قابل مشاهده است. این حالت در نتیجه وجود نوسانات آب‌وهوایی شدید در مقیاس‌های مختلف زمانی حاصل می‌شود. از منظر کلی ویژگی‌های خشکسالی ایران نشان می‌دهد هیچ منطقه‌ای از کشور از این پدیده در امان نبوده و بخش‌های جنوبی، شرقی و مرکزی خصوصاً خراسان به علت نوسانات بیشتر در مقادیر بارندگی، آسیب‌پذیری بیشتری دارند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که حوضه آبریز کشف‌رود بیشتر تحت تأثیر خشکسالی‌های ملایم تا متوسط قرار خواهد گرفت تا خشکسالی‌های شدید (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰ ب). وفاخواه و بشری‌سه‌قلعه (۱۳۹۱) با بررسی تمام ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز کشف‌رود و انتخاب داده‌های هیدرومتری ۱۶ ایستگاه و با استفاده از زنجیره مارکوف احتمال وقوع خشکسالی هیدرولوژیک در این منطقه را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد احتمال وقوع خشکسالی در منطقه بسیار بالا و نزدیک به ۹۵/۵ درصد، احتمال وقوع ترسالی ۲/۲۸ درصد و با احتمال ۱/۷۸ درصد نیز منطقه حالت متوسط را خواهد داشت. فرج‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای پیرامون نوسانات رواناب سطحی حوضه آبریز کشف‌رود به این نتیجه رسیدند که شدت خشکی‌ها در حال افزایش است، روند کلی بارش و دبی حوضه کاهشی بوده، همچنین از نظر فصلی بیشترین تغییرات ماهانه بر روی رواناب سطحی در فصل بهار و در فروردین ماه مشاهده شده است و کمترین این تغییرات در اواخر تابستان می‌باشد (دلیل آن خشک شدن رودخانه در این فصل در طی سال‌های مورد مطالعه ۱۳۴۷-۱۳۸۷ است). همچنین یافته‌های آن‌ها نشان داد با تغییر آماره آزمون من-کندال از مثبت به منفی که نشان‌دهنده تغییر جهت روند و کاهش دبی است در برخی از ایستگاه‌ها این تغییر از محدوده اطمینان ۹۵ درصد خارج شده و موجب تغییر اقلیم در سطح ایستگاهی شده است. با مطالعه روی ۱۳ ایستگاه هواشناسی در طی سال‌های ۱۳۵۱-۱۳۸۵ مشخص شد دبی رودخانه کشف‌رود هیچ‌رود افزایش نداشته است که می‌تواند به دلیل احداث سدها و برداشت بی‌رویه آب باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد بارندگی سالانه تنها در ۵ ایستگاه افزایشی و بارندگی فصلی در فصل پاییز در بیشتر ایستگاه‌ها افزایشی بوده اما در فصل بهار در بیشتر ایستگاه‌ها کاهش می‌باشد که این نشان‌دهنده تغییر اقلیم در این منطقه می‌باشد (وفاخواه و همکاران، ۱۳۹۱). آذرخشی و همکاران (۱۳۹۵) اقلیم حوضه آبریز کشف‌رود را بر اساس روش دمارتن نیمه‌خشک با بارندگی کم و تبخیر و تعرق پتانسیل زیاد معرفی کردند. پزشکی و همکاران (۱۳۹۷) پارامترهای هواشناسی موثر بر دبی به پیش‌بینی تغییرات دبی در دو ایستگاه سینوپتیک گلمکان و مشهد در حوضه کشف‌رود پرداختند. نتایج آنها نشان داد در سال‌های آینده در ایستگاه مشهد شاهد دوره ترسالی و

افزایش دبی اما در ایستگاه گلمکان که از تغذیه‌کنندگان کشف‌رود است، شاهد دوره خشکسالی و کاهش دبی خواهیم بود. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهند که روند تغییر اقلیم (افزایش دما و تشدید نوسانات بارندگی) منجر به خشک‌تر شدن حوضه آبریز کشف‌رود می‌گردد. این خشک‌تر شدن به نوبه خود باعث افزایش آلودگی در این منطقه می‌شود؛ زیرا از طرفی تغذیه رودخانه محدود شده و از طرف دیگر با تبخیر از حوضه میزان غلظت آلودگی افزایش می‌یابد.

## ارزیابی راهکارهای ارائه شده در پژوهش‌های پیشین برای حل مشکل کشف‌رود (از دیدگاه منابع آب و محیط‌زیست)

باتوجه به نقش مهم رودخانه کشف‌رود در تعادل زیستی، اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی منطقه و احتمال تامین آب شرب مشهد در آینده (به علت کاهش تراز سفره آب زیرزمینی)، شناسایی منابع آلاینده و پایش مستمر از تغییرات کیفی این رودخانه اولین قدم در راستای مدیریت پایدار منابع آب بر روی این رودخانه می‌باشد. به این منظور پژوهش‌های انجام شده که در آن پژوهشگران راهکارهایی را ارائه کردند، بررسی شد. سیدنژاد گل‌خطمی و همکاران (۱۴۰۱) بیان کردند به نظر می‌رسد مسائل به طور جامع تبیین نشده، نقش دستگاه‌ها در حل مسائل به طور واضح مشخص نشده و به برخی مشکلات نسبت به برخی دیگر توجه بیشتری شده است. اگر توجه به مسائلی بیشتر بوده به دلیل اهمیت و پرننگتر بودن آن‌ها است که محققین با مراجعه به محل و یا نمونه‌برداری و غیره به این نتایج دست یافته‌اند. مسائلی که بیشترین توجه را به خود جلب کرده بودند همانطور که در قسمت آلودگی بیان شد مسائل مربوط به انسان، محیط‌زیست که عمده دلایل آلودگی کشف‌رود بود.

سیدنژاد گل‌خطمی و همکاران (۱۴۰۱) بیان کردند حل مشکلات کشف‌رود به روش پیشنهادی برای ترسیم شبکه جامع مسائل مرتبط با رودخانه کشف‌رود، برگزاری سلسله جلسات «گفتگو برای تعیین شبکه مسائل رودخانه کشف‌رود» با حضور نخبگان، متخصصان و نمایندگان نهادهای مربوطه وابسته است. این روش در برخی موارد کارایی دارد چرا که بحث و گفتگو با متخصصین همیشه سودمند بوده است. باین‌وجود قبلاً پژوهشگران دیگری همچون شفایی و همکاران (۱۴۰۰)، گل‌محمدی‌تولانی (۱۳۸۷)، شاکری و علیزاده (۱۴۰۱)، شجاعان و بانژاد (۱۳۹۴)، آقاصفیری و قربانی (۱۳۹۴) به‌طور کامل به شرح مشکلات کشف‌رود پرداخته‌اند.

راهکارهای پیشنهادی توسط گل‌محمدی‌تولانی (۱۳۸۷) عبارتند از: هماهنگی و همکاری قاطعانه تمام ارگان‌ها و نهادهای دولتی که به گونه‌ای سهمی در حل بحران می‌توانند داشته باشند، اختصاص بودجه کارآمد برای حل مشکلات فعلی، حفر یک کانال بزرگ فاضلاب در حاشیه کشف‌رود، هدایت تمام آب‌های فاضلاب شهری، روستایی و

صنعتی به این کانال، ادامه کاشت درختان مناسب از جمله صنوبر، فعال سازی شورای محل برای بسیج عمومی مردم، برخورد با دلالتن زمین های کشاورزی (که باعث تغییر کاربری این اراضی می شوند)، مبارزه جدی با ساخت وسازهای غیر مجاز در حاشیه رودخانه، مبارزه جدی با کشاورزانی که از آب های آلوده رودخانه استفاده می کنند، برخورد جدی با کارگاه های صنعتی و کارخانه های منطقه و انتقال آن ها به شهرک های صنعتی، اقدام قاطع و به موقع نیروی انتظامی و دادگستری با معتادها، قاچاقچیان مواد مخدر و افراد شرور و ولگرد حواشی رودخانه، رسیدگی جدی به وضعیت بهداشتی مردم منطقه و محیط های اطراف و جمع آوری حیوانات ولگرد و مریض که بهداشت مردم منطقه را به خطر می اندازند. در خصوص موارد فوق به نظر می رسد با وجود پیشنهادهای ساده و قابل اجرا تاکنون در مورد اجرایی شدن آنها اقدامات موثری صورت نگرفته که ممکن است ناشی از بی توجهی یا عدم آگاهی متولیان کشف رود از نتایج این پژوهش باشند. شفایی و همکاران (۱۴۰۰) موارد زیر را به عنوان پیشنهادهایی کاربردی برای کاهش آلودگی رودخانه کشف رود بیان کردند: ۱- وضع قوانین و نظارت بر اجرای صحیح آن در زمینه تخلیه پسماندهای صنعتی برای صنایع فعال در محل عبور رود و تعیین جرایم سنگین برای خاطیان و تشویق صنایع به استفاده از پساب ها در مصرف صنایع خود به جای استفاده از آب های دیگر، ۲- تشویق کشاورزان و دامپروران منطقه برای استفاده از کودهای آلی و حیوانی به جای استفاده از کودهای شیمیایی و جلوگیری از سم پاشی های بیش از حد توسط کشاورزان منطقه، ۳- در نظر گرفتن مشوق های مالی برای بومیان منطقه در گزارش دادن تخلف های واحدهای صنعتی و کشاورزی آلوده کننده رودخانه و حمایت از کشاورزان و صنعتگرانی که قوانین مربوطه را رعایت می کنند، ۴- وضع مالیات برای استفاده مازاد از کود و آفت کش ها، ۵- ملزم نمودن واحدهای صنعتی فعال در مسیر رود به اختصاص مبلغی سالانه برای جلوگیری از آلودگی آب رودخانه و پیگیری دقیق وصول این مبالغ در زمینه کاهش آلودگی آب رودخانه. علایی (۱۳۹۸) بهترین راهکار را کاشت صنوبر می داند و بیان کرده است ۱۸۰ هکتار از اراضی که قبلاً تحت کشت صیفی جات بوده با صنوبر جایگزین شده است.

رضایی رنجبر و قزل سولفو (۱۳۹۸) در بررسی احیاء کشف رود راهکارهای زیر را عنوان کردند: ۱- کشت جایگزین محصولات صنعتی در اراضی کشاورزی سبزی کاری شده، ۲- آزادسازی بستر و حریم کشف رود در کل محدوده طرح، ۳- ساماندهی و مدیریت بهره برداران پساب و فاضلاب کشف رود و سرشاخه های آن، ۴- ایجاد پارک خطی در حریم رودخانه کشف رود، ۵- ایجاد تصفیه خانه های استاندارد و ارتقاء سیستم تصفیه فاضلاب موجود، ۶- استفاده از پساب تصفیه شده استاندارد در طرح جایگزینی پساب با منابع آب کشاورزی و ذخیره سازی پساب تصفیه خانه های فاضلاب شهر مشهد، ۷- استفاده از ژئولیت به جای کود و سموم شیمیایی در اراضی کشاورزی حاشیه

کشف رود، ۸- تصفیه بیولوژیکی با استفاده از تکنولوژی گیاه پالایی به وسیله گونه های سوپر جاذب فلزات سنگین، ۹- ایجاد سکوی صافی شنی در مقاطع مختلف بستر رودخانه برای بهبود کیفیت آب، ۱۰- تشکیل کارگروه ساماندهی صنایع آلاینده در محدوده کشف رود، ۱۱- جایگزینی پساب با حقابه اراضی پایین دست سدهای داخل حوضه آبریز، خصوصاً محدوده غرب و پایین دست سد ارداگ، ۱۲- جایگزینی پساب با کیفیت مناسب با آب چاه های کشاورزی با کیفیت و کمیت بالا، موجود در غرب مشهد (محدوده حوضه آبریز)، ۱۳- انحراف و ذخیره سیلاب های فصلی برای مصارف کشاورزی، فضای سبز و تفریحی و ۱۴- ذخیره نمودن پساب تصفیه شده در مخازن نزدیک به کشف رود برای متعادل نمودن عرضه و تقاضا.

شجاعان و بانژاد (۱۳۹۴) به تفصیل هم آلودگی را بررسی کردند و هم راه کارهای بلندمدت، میان مدت و کوتاه مدت را پیشنهاد کرده اند که به شرح زیر است:

**راهکارهای بلندمدت:** اجرای طرح جمع آوری و انتقال فاضلاب در بخش هایی از شهر که فاقد شبکه جمع آوری فاضلاب می باشد، احداث تصفیه خانه های جدید فاضلاب برابر با استانداردهای محیط زیستی، برنامه ریزی در راستای تغییر الگوی کشت در سطح حوضه آبریز کشف رود بر مبنای استفاده از پساب ها و آب های نامتعارف با در نظر گرفتن استانداردهای محیط زیست و در نهایت تدوین و پیشنهاد الگوی کشت استاندارد، توسعه نگرش به موضوع آب به عنوان یک کالای اقتصادی و گران بها.

**راهکارهای میان مدت:** ۱- راه اندازی و بهره برداری هر چه سریعتر از تصفیه خانه های تیمور و خین عرب در دست احداث، ۲- جلوگیری از تخلیه روزانه ۳۰۰ تانکر فاضلاب خانگی، صنعتی و درمانی در کشف رود، ۳- جلوگیری از کاشت صیفی جات در حریم رودخانه کشف رود، ۴- جلوگیری از آبیاری اراضی کشاورزی با فاضلاب، ۵- ارتقا تصفیه خانه های اطراف حوضه آبریز کشف رود و دستیابی به پسابی با کیفیت استاندارد، ۶- جلوگیری از تخلیه فاضلاب های خانگی، صنعتی و تجاری به خیابان ها و مسیرها، ۷- جلوگیری از اختلاط فاضلاب های درمانی و صنعتی با فاضلاب های خانگی.

**راهکارهای کوتاه مدت:** جلوگیری از کاشت صیفی جات و آبیاری آنها با فاضلاب و کاشت درختان غیر مثمر و نهال صنوبر، کاشت گیاهانی که خاصیت خودپالایی دارند و در کاهش آلودگی آب ها موثرند، برخورد قانونی با واحدهای صنعتی و تجاری حاشیه رودخانه که استانداردهای محیط زیست را رعایت نمی کنند و اطلاع رسانی برای پرهیز مردم از خرید و مصرف محصولات کشاورزی با فاضلاب آبیاری شده و جلوگیری از عرضه محصولات آلوده به بازار.

در حال حاضر تصفیه خانه خین عرب در دست بهره برداری است، نگارش مقاله شجاعان و بانژاد (۱۳۹۸) مربوط به سال های قبل از بهره برداری تصفیه خانه است. همچنین کاشت درخت صنوبر در مطالعه علایی (۱۳۹۸) نیز اشاره شده که ممکن است گزینه مناسبی

باشد. درباره جلوگیری از کشت صیفی جات در منطقه باید به این نکته توجه شود که اقتصاد برخی از کشاورزان این ناحیه وابسته به این نوع کشت بوده و راه دیگری برای کسب درآمد ندارند شاید بهتر باشد برای استفاده از این راهکار این نکته را در نظر گرفت. موارد مطرح شده در راهکارهای میان مدت موارد ۲، ۵، ۶ و ۷ قابل اجرا می باشد که برعهده شرکت آب و فاضلاب مشهد بوده ولی توجه لازم به موضوع آلودگی کشف رود ندارد. موارد اطلاع رسانی به مردم و برخورد با متجاوزین با تحقیقات تولایی (۱۳۸۷) و شفایی و همکاران (۱۴۰۰) همخوانی دارد و قابل اجرا است.

آقاصفری و قربانی (۱۳۹۲) انگیزه های لازم در کشاورزان حوزه کشف رود برای کاهش آثار نامطلوب آب آلوده بر محیط زیست وجود دارد که می توان از این انگیزه ها با ایجاد حوضچه های تصفیه آب های آلوده در جهت کاهش آلودگی های تهدید کننده سلامت آب و خاک و به تبع آن انسان استفاده کرد. هزینه های سرمایه گذاری در این مورد می تواند از آلوده کننده ها، دریافت و هزینه های اجرایی آن از محل تعیین عوارض (به میزان آب آلوده ورودی به حوضچه) تأمین شود. همچنین هر چه کشاورزان آگاهی بیشتری داشته باشند که فاضلاب شهری و روستایی به رودخانه کشف رود وارد می شود، همکاری مشارکت مالی آن ها بیشتر خواهد بود. محمدی و همکاران (۱۳۸۸) بهترین راه حل کنترل آلودگی کشف رود را استفاده از نیازهای مصنوعی بیان کردند. باوجود مزایای کاشت نی از آنجایی که کشف رود در محدوده شهر مشهد واقع است و در حاشیه آن روستاها و اماکن مسکونی بسیاری وجود دارد و باتوجه به حضور افراد قاچاقچی مواد مخدر و ... و احتمال ایجاد آتش سوزی این روش راهکاری پرخطر برای شهر و ساکنین منطقه است.

### نتایج و راهکارهای پیشنهادی

باتوجه به پژوهش های انجام شده مورد بررسی مشخص شد کشف رود شرایط بحرانی دارد و آلوده به انواع آلودگی ها است. باتوجه به بروز تغییر اقلیم و خشکسالی در منطقه و عدم تغذیه رودخانه به دلایل ذکر شده شرایط حتی دشوارتر هم خواهد شد. در کنار آن مسائل فرهنگی، اجتماعی و محیط زیستی منطقه نیز بسیار حائز اهمیت هستند. اینکه چرا با وجود آلودگی کشف رود پژوهش های انجام شده در این زمینه بسیار کم است؟ باید بیان کرد، نبود آگاهی و عدم توجه کافی مسئولان (هر چند آگاهی کلی از مسئله کشف رود دارند)، متخصصین و مردم نسبت به مسئله است، که می تواند ناشی از اقدامات ناکافی برای آگاهی و اطلاع رسانی افکار عمومی، جمعیت های مردم نهاد و مسئولان باشد. از طرفی نهادهای علمی پژوهشی در فرآیند اقدامات تحقیق خود در ارتباط با مسائل کشف رود با چالش های ایجاد شده از طرف دست اندرکاران روبه رو می شوند. در مورد مشارکت ذی نفعان همانطور که پیشتر بیان شد اگر

کشاورزان به درستی از عواقب ورود آلودگی به کشف رود آگاه شوند، نه تنها حاضر به مشارکت هستند بلکه به تغییر نوع کشت هم رضایت می دهند و این مشروط بر آن است که از نظر تأمین معاش و ایجاد درآمد پایدار مطمئن شوند. در یک جمع بندی برای بیان راه حل مشکلات کشف رود باید اظهار نمود باتوجه به جمیع تحقیقات و ارزیابی های پژوهشگران راهکارهای زیر به عنوان کاربردی ترین راهکارها معرفی می شوند. با این وجود به نظر می رسد اطلاع رسانی می تواند اولین گام باشد چرا که باتوجه به پژوهش های انجام شده و نیز پژوهش سیدنژاد گل ختمی و همکاران (۱۴۰۱) به نظر می رسد پژوهشگران، اندیشمندان، جامعه علمی و حتی ساکنین شهر مشهد از مسائل و مشکلات کشف رود اطلاعات کامل و درستی ندارند. بنابراین اطلاع رسانی به عنوان گام نخست در حل این معضل معرفی می شود. با اطلاع رسانی هم پژوهشگران و جامعه علمی به پژوهش و ارائه راهکار می پردازند و هم ساکنین و عموم مردم آگاه شده و می توانند رویکرد مناسب تری در برخورد با خرید محصولات یا حتی کاشت آن ها داشته باشند. لذا به طور خلاصه می توان بیان نمود:

۱- تمامی راه حل های پیشنهادی باید مسئله امرار معاش کشاورزان و آسودگی زندگی برای ساکنین را در بر داشته باشد و موجب ایجاد یک معضل محیط زیستی جدید نشده و از نظر اقتصادی قابل قبول و انجام باشد.

۲- حضور و گفتمان با متخصصین و پژوهشگران با محوریت حل مشکلات.

۳- ایجاد یک کارگروه با ترکیبی از متخصصین و مسئولان مستقیم هر سازمان مرتبط با مسئله کشف رود به صورت تمام وقت؛ در نتیجه، حل مشکلات با این همکاری، و حفظ هماهنگی بین سازمان ها از جنبه تخصص و تجربه.

۴- برخورد قاطعانه با صنایع متخلف که منجر به آلودگی رودخانه می شوند.

۵- آگاهی و اطلاع رسانی به کشاورزان برای مشارکت در رفع مشکل و استفاده از ژئولیت و کودهای حیوانی جایگزین کودهای شیمیایی.

۶- احداث شبکه های بهداشت عمومی با تخصص برای درمان بیماری های ناشی از آلودگی همچون سالک و ... و کمک به قشر کم درآمد و جلوگیری از افزایش افراد مبتلا.

۷- آموزش مردم برای جلوگیری از حضور کودکان و افراد ناآگاه در معرض آب آلوده.

۸- اطلاع رسانی به مردم از آلوده بودن محصولات و خرید کمتر این محصولات هم زمان جلوگیری از عرضه محصولات به بازار (البته باید راهکار محصولات جایگزین برای کشت در منطقه و ارائه به بازار نیز مد نظر باشد).

۹- جایگزینی محصولاتی که ره آورد اقتصادی دارند. همچون کاشت نهال صنوبر و پرورش آن ها برای استفاده از چوب این محصول.

۱۰- استفاده از سیلاب دشت رودخانه برای حل مشکلات فاضلاب



البتة به صورت علمی و مطالعه شده.

۱۱- بررسی فنی تصفیه خانه پرکندآباد برای جلوگیری از ورود پساب با کیفیت نامطلوب به رودخانه.

۱۲- احداث تصفیه خانه های جدید که بار فاضلاب شهر را پاسخگو باشند و انواع فاضلاب ها با یکدیگر ادغام نشده و تصفیه خانه های موجود را هم به خطر نیندازند.

۱۳- مالیات برای صناعی که به هر طریقی موجب آلودگی هستند و استفاده از این مالیات برای حل مشکل رودخانه و بیماری های ساکنین منطقه.

۱۴- ورود جمعیت های مردم نهاد و تشکیلات غیردولتی مردمی به مسائل مختلف شهری از جمله موضوع کشف رود.

## منابع

آذرخشی، مریم، سعادت پور، سیدجواد، و اسلامی، علیرضا. (۱۳۹۵). رابطه ویژگی های فیزیکی حوضه های آبخیز و دبی های حداقل با دوره های برگشت متفاوت (بررسی موردی: حوضه آبخیز کشف رود). اکوهیدرولوژی، ۲۳(۲)، ۲۶۷-۲۷۷. doi: 10.22059/ije.2016.59670

آقاخان افشار، امیرحسین، حسن زاده، یوسف، بسالت پور، علی اصغر، و پوررضاییلندی، محسن. (۱۳۹۴). بررسی اثرات تغییر اقلیم و تعیین بهترین مدل گردش عمومی جو در حوضه آبخیز کشف رود با رویکرد گزارش پنجم هیات بین الدول (AR5). دهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران. <https://civil-ica.com/doc/676998>

آقاخان افشار، امیرحسین، حسن زاده، یوسف، بسالت پور، علی اصغر، و پوررضاییلندی، محسن. (۱۳۹۵). تغییرات فصلی بارش و درجه حرارت حوضه آبخیز کشف رود در دوره های آبی با رویکرد مدل های گردش کلیسری CMIP5. آب و خاک، ۳۰(۵)، ۱۷۱۸-۱۷۳۲. doi: 10.22067/jsw.v0i0.56154

آقاخان افشار، امیرحسین، حسن زاده، یوسف، بسالت پور، علی اصغر، و پوررضاییلندی، محسن. (۱۳۹۵). ارزیابی سالیانه مولفه های اقلیمی حوضه آبخیز کشف رود در دوره های آبی با استفاده از گزارش پنجم هیات بین الدول تغییر اقلیم. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۶)، ۲۱۷-۲۳۳. doi: 10.22069/JWFEST.2017.11186.2553

آقاصفری، حنا، و قربانی، محمد. (۱۳۹۴). آیا کشاورزان حاضرند برای کاهش اثرات سوء زیست محیطی آب آلوده مشارکت مالی داشته باشند؟ (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه کشف رود). نشریه بوم شناسی کشاورزی، ۷(۲)، ۲۰۲-۲۱۴. doi: 10.22067/jag.v7i2.33105

برات زاده پوستچی، فریده، طباطبائی یزدی، فاطمه، موسوی، زهرا، و حیدری، آوا. (۱۳۹۸). بررسی تأثیرات زیست محیطی و هیستوپاتولوژیکی فلز سنگین کروم در حومه چرم شهر قزقان مشهد. دومین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم کشاورزی و منابع طبیعی ایران. مرکز بین المللی همایش ها و سمینارهای توسعه پایدار علوم جهان اسلام تهران، تهران،

ایران. <https://civilica.com/doc/931650>

پزشکی، آتنا، اسماعیلی، کاظم، و فریدحسینی، علیرضا. (۱۳۹۷). تأثیر خشکسالی بر روند تغییر و پیش بینی خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبریز موثر بر دبی مطالعه موردی (حوضه کشف رود). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲(۲)، ۲۳۹-۲۴۷.

حاجی نمکی، سامان، امامی، حجت، فتوت، امیر، و حق نیا، غلامحسین. حاجی نمکی، س، امامی، ح، فتوت، ا، و حق نیا، غ. (۱۳۹۵). اثرات آبیاری طولانی مدت با پساب تصفیه خانه پرکندآباد بر برخی خصوصیات شیمیایی و زیستی خاک. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰(۲)، ۲۰۸-۲۲۰.

حسینی، فاطمه، و زرین، آذر. (۱۳۹۷). پیش بینی اثرات تغییر اقلیم بر تأخیر تعرق پتانسیل در حوضه آبریز کشف رود با استفاده از مدل RegCM4 و روش هارگریوز سامانی. دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد. ایران. <https://civil-ica.com/doc/781022>

حسینی، امیرحسین، عباسی، علی، و زرین، آذر. (۱۴۰۱). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تغذیه منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل کوپل شده اقلیمی-هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کشف رود). سیزدهمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

خسروی، آمنه، و آذری، محمود. (۱۴۰۱). تعیین روند زمانی و مکانی و نقطه تغییر دما و بارش در حوضه کشف رود. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۲(۶۶)، ۲۸۹-۳۰۶. <http://dorl.net/dor/20.306-289>. doi: 10.1001.1.22287736.1401.22.66.8.3

ذوالفقاری، قاسم، دلسوز، مهری، سازگار، آمنه، و اخگری سنگ آتش، زهره. (۱۳۹۹). مطالعه غلظت برخی از عناصر سنگین در گندم، گوجه فرنگی و ذرت و ارزیابی ریسک کمی غیر سرطانزایی: حاشیه رودخانه کشف رود، مشهد. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۲)، ۲۲۵-۲۳۹. doi: 10.22034/JEST.2018.21938.3102

رضایی رنجبر، فرزانه، و قزل سوفلو، عباسعلی. (۱۳۹۸). بررسی راهبرد احیا برای نجات رودخانه تاریخی کشف رود. ششمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری و پنجمین نمایشگاه تخصصی انبوه سازان مسکن و ساختمان استان. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران. <https://civil-ica.com/doc/927905>

سالاریان، محمد، داوری، کامران، علیزاده، امین، لگزیان، محمد، و فاضلی، محمد. (۱۳۹۸). چارچوب دستیابی به چشم انداز مشترک در مدیریت مشارکتی-راهبردی آب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کشف رود). اکوهیدرولوژی، ۶(۴)، ۸۶۵-۸۸۶. <https://doi.org/10.22059/ije.2019.279111.1088>

سالاریان، محمد، داوری، کامران، علیزاده، امین، لگزیان، محمد، و فاضلی، محمد. (۱۳۹۸). سیاست های دستیابی به مدیریت مطلوب مشارکتی-راهبردی آب (مطالعه موردی: حوضه آبریز کشف رود). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۶)، ۱۷۴۳-۱۷۶۰. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1398.13.6.18.4>

سیاری، نسرین، علیزاده، امین، بنایان اول، محمد، حسامی کرمانی، مسعودرضا، و فریدحسینی، علیرضا. (۱۳۸۹). پیش‌بینی تغییرات اقلیم در حوضه کشف‌رود استان خراسان طی دوره‌های آماری با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری. اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا. دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

سیاری، نسرین، علیزاده، امین، بنایان اول، محمد، فریدحسینی، علیرضا، و حسامی کرمانی، مسعودرضا. (۱۳۹۰). بررسی روند خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه کشف‌رود (ایستگاه مشهد) در دوره‌های آتی با استفاده از مدل HadCM3 و دو سناریوی انتشار A2 و B2. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲(۸-۷)، ۴۲-۲۱. <https://sid.ir/paper/392747/fa>

سیاری، نسرین، علیزاده، امین، بنایان اول، محمد، فریدحسینی، علیرضا، و حسامی کرمانی، مسعودرضا. (۱۳۹۰). مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3، CGCM2) در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه کشف‌رود). آب و خاک، ۲۵(۴)، ۹۱۲-۹۲۵. doi: [10.22067/JSW.V0I0.10261](https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.10261)

سیف، امیر، مریدی، علی، و خزایی پول، احمد. (۱۳۹۷). بررسی اثر تغییر اقلیم بر دبی حوضه رودخانه کشف‌رود و تامین آب شرب مشهد. اولین کنفرانس کاربرد ابزار مدیریت آب و خاک (SWAT) در مدیریت منابع آب کشور. دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. [civilica.com/doc/820043](https://civilica.com/doc/820043)

سیدنژاد گل‌ختمی، نفیسه، سلیمی گل‌شیخی، محمد، و براتی، رضا. (۱۴۰۱). گفتگو برای تعیین شبکه مسائل رودخانه کشف‌رود. نشریه آب و توسعه پایدار، ۲۹(۲)، ۱۳۵-۱۳۷.

شجاعان، سمیرا، و بانژاد، حسین. (۱۳۹۴). همایش آب و محیط زیست: بررسی نقش اثرات واحدهای صنعتی و تصفیه‌خانه‌ها بر آلودگی رودخانه کشف رود دشت مشهد. کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. <https://sid.ir/paper/869639/fa>

شاکری، ساعد، و علیزاده، محمود. (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات کیفیت آب حوزه رودخانه کشف‌رود. ششمین کنفرانس بین‌المللی توسعه فناوری علوم آب، آب‌خیزداری و مهندسی رودخانه. انجمن مدیریت و مهندسی توسعه فناوری، تهران، ایران. <https://civilica.com/doc/1558903>

شفایی، کیارش، خامچین مقدم، فرهاد، و باشی‌ازغدی، سیدناصر. (۱۴۰۰). اولویت‌بندی راهکارهای کاهش آلودگی رودخانه کشف‌رود: کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره. اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب. انجمن آب و فاضلاب ایران و دانشگاه تهران، تهران، ایران. <https://civilica.com/doc/1442894>

علایی، محمد. (۱۳۸۹). فاضلاب خام جاری در کشف‌رود: تهدید یا فرصت؟ دومین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب. مهندسین مشاور سروآب، مشهد، ایران. <https://civilica.com/doc/103542>

علی‌پناهی، امین، و رضایی، محمدرضا. (۱۳۹۴). ارزیابی کیفیت آب

رودخانه کشف‌رود مشهد با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی. دومین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط زیست پایدار. همدان، ایران. <https://civilica.com/doc/423770>

علیزاده، امین، سیاری، نسرین، حسامی کرمانی، مسعودرضا، بنایان اول، محمد، و فریدحسینی، علیرضا. (۱۳۸۹). بررسی پتانسیل اثرات تغییر اقلیمی بر منابع و مصارف آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود). آب و خاک، ۲۴(۴)، ۸۱۵-۸۳۵. Doi: [10.22067/JSW.V0I0.3907](https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.3907)

فرج‌زاده اصل، منوچهر، رجایی‌نجد آبادی، سعید، و قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۹۱). آشکارسازی اثر نوسانات بارش بر رواناب سطحی حوضه آبریز سرخس (کشف‌رود). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۳(۷)، ۱۱-۲۴.

گل‌محمدی تولانی، سیدمهدی. (۱۳۸۷). بررسی مشکلات و تنگناهای زیست‌محیطی کشف‌رود مشهد. نشریه علوم جغرافیایی، ۳(۹)، ۱۶۳-۱۶۴. [magiran.com/p1198454](https://magiran.com/p1198454)

لشکری‌پور، غلامرضا، غفوری، محمد، موسوی مداح، سیدمحمد، و بابایی، منیره. (۱۳۸۸). بررسی منشاء و عوامل موثر در آلودگی منابع آب سطحی و زیرسطحی مسیر رودخانه کشف‌رود (دشت مشهد). نخستین کنفرانس سراسری آب‌های زیرزمینی، بهبهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان، بهبهان، ایران. <https://civilica.com/doc/75382>

محمدی، زهره، بابایی، یاسمن، ادیبیان، حسن، و ساقی، غلامرضا. (۱۳۸۸). راهکارهای مناسب کنترل آلودگی و تصفیه پساب‌های ورودی به رودخانه کشف‌رود مشهد با رویکرد استفاده مجدد از آن‌ها. همایش ملی الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب. شرکت مهندسین مشاور مهتاب ثامن، مشهد، ایران. <https://civilica.com/doc/79379>

محمدیان، آزاده، و کوهی، منصوره. (۱۳۹۹). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دبی حوضه آبریز کشف‌رود با استفاده از SWAT. هشتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. <https://civilica.com/doc/1171987>

مدرس شیخ، محمد، رضایی، محمدرضا، و ناصری، محمدعلی. (۱۳۹۲). بررسی غلظت سرب، کروم و جیوه در رودخانه کشف رود، خاک و برخی محصولات کشاورزی. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۷(۳)، ۳۵۷-۳۶۸. doi: [10.22092/jwra.2013.128841](https://doi.org/10.22092/jwra.2013.128841)

مولوی، فرحناز، دهقان، حامد، علیزاده، امیر، و حسینی‌فاطمی، سید مصطفی. (۱۳۹۸). بررسی وضعیت آلودگی رودخانه کشف‌رود با رویکرد انگل‌های تک یاخته. فصلنامه زیست‌شناسی جانوری تجربی، ۸(۱)، ۳۸-۲۹. <https://doi.org/10.30473/eab.2019.5978>

وفاخواه، مهدی، و بشری سه قلعه، مهدی. (۱۳۹۱). بررسی احتمال وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از زنجیره مارکوف در حوزه آبخیز کشف رود. پژوهش‌های آب‌خیزداری (پژوهش و سازندگی)، ۱(۱ (پیاپی ۹۴)، ۹۰-۱. <https://sid.ir/paper/200597/fa>

وفاخواه، مهدی، بخشی‌تیرگانی، محمد، و خزایی، مجید. (۱۳۹۱). تحلیل روند بارندگی و دبی در حوزه آبخیز کشف‌رود. نشریه جغرافیا و توسعه، ۱۰(۲۹)، ۷۷-۹۹. doi: [10.22111/gdij.2013.123](https://doi.org/10.22111/gdij.2013.123)

## The Impact of Climate Change on Temperature and Precipitation in Afghanistan with Emphasis on the Helmand and Hariroud Basins

S. Parsa<sup>1</sup>, A. Zarrin<sup>2\*</sup>, A. Mofidi<sup>2</sup>, A.A. Dadashi-Roudbari<sup>3</sup>

1, 2, 3- MSc, Associate Professor and Postdoctoral Researcher of Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

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

Received: 22-12-2023

Revised: 17-04-2024

Accepted: 20-04-2024

Available Online: 02-06-2024

## پیامدهای تغییر اقلیم بر دما و بارش کشور افغانستان با تأکید بر حوضه‌های هیرمند و هریرود

سمیه پارسا<sup>۱</sup>، آذر زرین<sup>۲\*</sup>، عباس مفیدی<sup>۲</sup>، عباسعلی داداشی رودباری<sup>۳</sup>

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و پژوهشگر پس‌دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

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

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱

### Abstract

One of the most challenging issues in water resource management is the impact of climate change on the water supply. It is necessary to examine the effects of climate change on Afghanistan, which is vital to Iran's water resources. To investigate the temperature and precipitation and their variability in Afghanistan and the two basins of Helmand and Hariroud, MSWX data was used from 1981 to 2020. To project the future climate, the output of five CMIP6 models was used for the near future (2026-2050). To reduce the uncertainty of individual models, a multi-model ensemble was generated. The area-averaged precipitation trend showed that the precipitation in Afghanistan, Helmand, and Hariroud basins has decreased by 11.2, 12.2, and 12.3 mm/decade, respectively. The area-averaged temperature has increased by 0.43, 0.45, and 0.57 oC/decade over Afghanistan, Helmand, and Hariroud basins, respectively. The results showed that the temperature in all three investigated regions will have a positive anomaly in the near future under SP2-4.5 and SSP5-8.5. On the other hand, the precipitation anomaly will be negative under SSP2-4.5 in the northern regions of Afghanistan and the two studied basins. The entire area of Afghanistan and two basins will experience a negative anomaly of precipitation under SSP5-8.5.

**Keywords:** CMIP6-MME, Precipitation Changes, Multi-Model Ensemble, Afghanistan.

### چکیده

یکی از مسائل پرچالش در مدیریت منابع آب، پیامدهای تغییر اقلیم بر پیکره آبی هر سرزمین است. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر افغانستان که سرچشمه‌ای مهم برای منابع آب ایران است، ضروری است. به منظور بررسی ویژگی‌های دما و بارش و روند تغییرات آن‌ها در افغانستان و دو حوضه هیرمند و هریرود از داده‌های شبکه‌ای MSWX در یک دوره ۴۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۲۰) استفاده شد. جهت بررسی پیش‌نگری‌های آینده از برون‌داد پنج مدل CMIP6 در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) استفاده و به منظور کاهش عدم قطعیت مدل‌های منفرد، یک چندمدلی همادی تولید شد. بررسی متوسط پهنه‌ای بارش نشان داد که به ترتیب ۱۱/۲، ۱۲/۲ و ۱۲/۳ میلی‌متر/دهه از بارش افغانستان، حوضه‌های هیرمند و هریرود در چهار دهه اخیر کاسته شده است. در مقابل، متوسط پهنه‌ای دما ۰/۴۳، ۰/۴۵ و ۰/۵۷ درجه سلسیوس/دهه به ترتیب در افغانستان، هیرمند و هریرود افزایش یافته است. نتایج نشان داد دما در هر سه منطقه مورد بررسی طی دوره آینده نزدیک تحت دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 دارای بی‌هنجاری مثبت خواهد بود. در مقابل، بارش تحت سناریو SSP2-4.5 در مناطق شمالی افغانستان و دو حوضه مورد بررسی و تحت سناریو SSP5-8.5 در کل پهنه افغانستان و دو حوضه، بی‌هنجاری منفی خواهد داشت.

**واژه‌های کلیدی:** CMIP6-MME، تغییرات بارش، چند مدلی همادی، کشور افغانستان.

متغیرهای دما و بارش از جمله متغیرهای اصلی اقلیم هستند که در مطالعات مرتبط با تغییر اقلیم به شکل گسترده‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرند. پژوهش‌های انجام شده بر روی تغییرات دما و بارش را در یک دسته‌بندی کلی و اولیه می‌توان در سه گروه بررسی تغییرات زمانی-مکانی (Kumar و همکاران، ۲۰۲۰؛ Men و همکاران، ۲۰۲۰)، تحلیل روند (Bloecker و Dai، ۲۰۱۹؛ Bevacqua و همکاران، ۲۰۲۲) و ارائه پیش‌نگری (Zarrin و Asadi-Roudbari، ۲۰۲۱؛ Politi و همکاران، ۲۰۲۳؛ RahimBeygi و همکاران، ۲۰۲۳) تقسیم‌بندی کرد. بررسی نتایج این مطالعات نشان داده است که دما در بیشتر مناطق جهان روند افزایشی داشته و بارش‌ها نیز تحت گرمایش جهانی فرین‌تر شده‌اند و در بسیاری از مناطق کره زمین روند کاهشی را نشان دادند. بررسی مطالعات مربوط به پیش‌نگری نشان داده است که مدل همادی نسبت به مدل‌های منفرد CMIP6 کارایی بالاتری دارند. افزایش دما و بارش‌های فرین در مناطق مختلفی همانند ایران (Zarrin و Asadi-Roudbari، ۲۰۲۱؛ Asadi-RahimBeygi و همکاران، ۲۰۲۳) گزارش شده است. به رغم پژوهش‌های زیادی که در سطح جهانی انجام شده، پژوهش محدودی در افغانستان انجام شده است که می‌توان به پژوهش Babar و همکاران (۲۰۱۶)، Aliyar و همکاران (۲۰۲۲)، Sediqi و همکاران (۲۰۲۲) و Farhat و همکاران (۲۰۲۲) و Suryavanshi و همکاران (۲۰۲۲) اشاره کرد. نتایج این تحقیقات نشان داده است که بارش در کشور افغانستان بخصوص در فصول بهار و زمستان روند کاهشی و دما روند افزایشی خواهد داشت. جمع‌بندی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که به رغم مطالعات بسیاری که از اقلیم مناطق مختلف جهان انجام شده است اما به دلایل گفته شده اقلیم افغانستان و به‌ویژه دو حوضه مرزی مشترک هیرمند و هریرود چندان مورد توجه قرار نگرفته‌اند و لازم است تا تحقیقی مستقل در این حوزه انجام شود. از سوی دیگر اقلیم افغانستان و تغییرات آن، از آن جهت برای ایران بسیار مهم است که هر گونه تغییرات در متغیرهای اصلی اقلیم همانند دما و بارش می‌تواند پیامدهای مستقیمی را بر منابع آبی دو حوضه هیرمند و هریرود داشته باشد. هدف از این پژوهش، پیش‌نگری متغیرهای دما و بارش در کشور افغانستان با تأکید بر حوضه آبریز هریرود و هیرمند تحت سناریوهای SSP به کار رفته در فاز ششم پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده (CMIP6) است. برای نیل به این هدف پژوهش حاضر به شکل زیر سازماندهی شده است. ابتدا منطقه مورد مطالعه در سه سطح کشور افغانستان، حوضه‌های هریرود و هیرمند معرفی می‌شود. سپس داده‌ها و روش‌های به کار رفته در پژوهش معرفی می‌شوند. در بخش نتایج، تغییرات پهنه‌ای و روند دهه‌ای متغیرهای دما و بارش بررسی و پیش‌نگری آن‌ها تا افق ۲۰۵۰ ارائه خواهد شد.

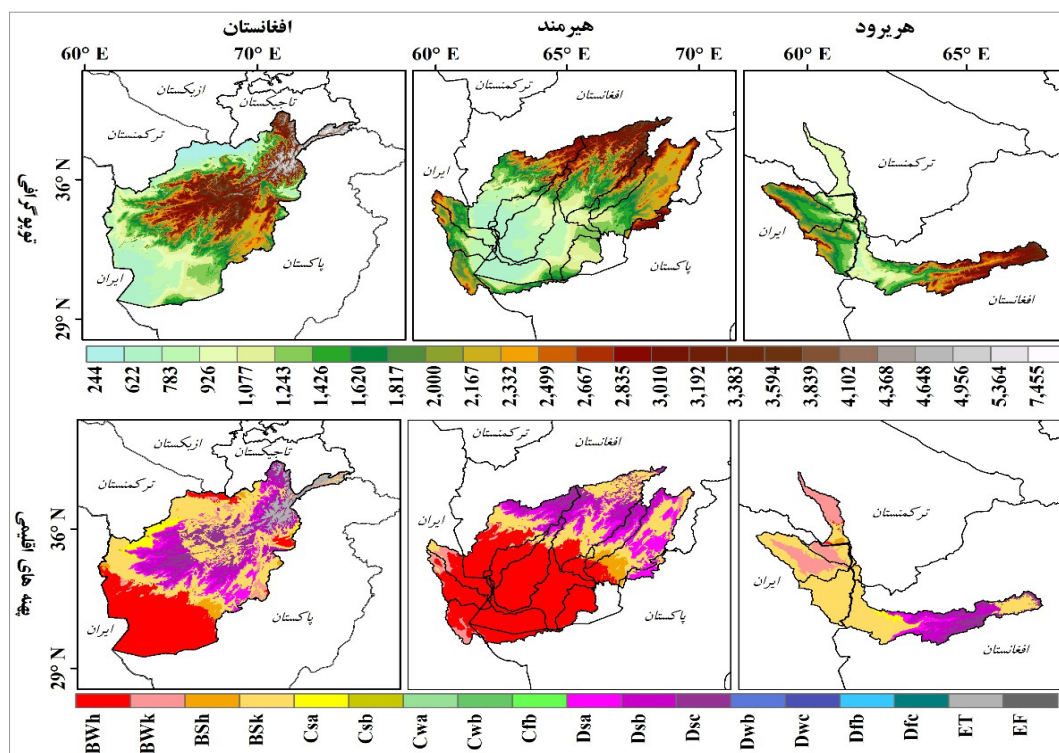
دسترسی به منابع آب برای مصارف انسانی و اکوسیستم‌ها تا حد زیادی به توزیع زمانی-مکانی بارش و دما بستگی دارد (Mishra و همکاران، ۲۰۱۱). در نتیجه، تغییرات ویژگی‌های بارش و دما منجر به تغییراتی در دسترسی به آب شود که پیامدهایی، هم برای انسان و هم برای زیست‌کره دارد. مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که تغییر اقلیم یک تهدید جهانی است که بر بخش‌های مختلف سامانه زمین تأثیر گذاشته و پایداری بخش‌های مختلف در سراسر جهان را دستخوش تغییر کرده است (Abbass و همکاران، ۲۰۲۲). افزایش دما و نوسانات بارش بر دسترسی به آب و تولید محصول در آینده تأثیر می‌گذارد (Kang و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین، آگاهی از شرایط کنونی و پیش‌نگری اقلیمی برای تعیین آسیب‌پذیری‌ها و توسعه راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم بسیار ضروری است. جنگ‌های داخلی طولانی مدت، اقلیم متنوع، توپوگرافی پیچیده و کمبود ایستگاه‌های هواشناسی از جمله عواملی هستند که سبب شده است کشور افغانستان داده‌های مشاهداتی اقلیمی مناسبی نداشته و هرگونه بررسی اقلیمی با استفاده از داده‌های ایستگاهی بر روی این پهنه را با مشکل اساسی مواجه کرده است. برای غلبه بر نقص داده‌های ایستگاهی و فراهم نمودن داده‌های شبکه‌ای با کیفیت بالا، در سال‌های اخیر مجموعه داده‌های همادی-وزنی چندمنبعی همانند MSWEP<sup>۱</sup> و MSWX<sup>۲</sup> با هدف تصحیح اربابی داده‌های بازتحلیل و ماهواره‌ای در دسترس قرار گرفته‌اند. این داده‌ها قابلیت بکارگیری مناسبی را در سطح حوضه‌های آبخیز و کشورهای با اقلیم متنوع (Beck و همکاران، ۲۰۲۲) همانند افغانستان دارند که در این تحقیق نیز از داده‌های MSWX برای بررسی وضعیت فعلی دما و بارش بر روی کشور افغانستان استفاده شده است. مدل‌های گردش کلی (GCMs)<sup>۳</sup> قابل اعتمادترین ابزار برای بررسی وردایی تاریخی و پیش‌نگری آینده متغیرهای اقلیمی هستند (Sachindra و همکاران، ۲۰۱۴). GCMها براساس اصول فیزیکی بنیان نهاده شده‌اند که به زبان ریاضی سامانه اقلیم را توصیف کرده و می‌توانند ویژگی‌های مشاهده شده اقلیم فعلی را بازتولید و تغییرات آن را در آینده پیش‌نگری کنند (Scafetta، ۲۰۲۳). مدل‌های گردش کلی تحت پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده (CMIP)<sup>۴</sup> ارائه می‌شوند که هم‌اکنون این پروژه در فاز ششم (موسوم به CMIP6) با بکارگیری سناریوهای اجتماعی-اقتصادی (SSPs)<sup>۵</sup> به بررسی متغیرهای اقلیمی در آینده می‌پردازد (Eyring و همکاران، ۲۰۱۹). در این تحقیق از برونداد مدل‌های مشارکت یافته در پروژه CMIP6 برای بررسی وضعیت آینده اقلیمی دما و بارش در کشور افغانستان استفاده شده است.



• منطقه مورد مطالعه

افغانستان کشوری محصور در خشکی در جنوب غرب آسیاست که جغرافیای پیچیده و در عین حال متنوعی دارد. از رشته کوه‌های مرتفع هندوکش در شمال شرقی این کشور با قله نوشاخ که ارتفاعی برابر با ۷۴۵۵ متر دارد تا جلگه‌های شمالی آن در امتداد رودخانه آمودریا با ارتفاع ۲۴۴ متر و دشت خشک سیستان در جنوب غربی آن، پهنه‌های اقلیمی متنوعی را برای این کشور در همسایگی ایران رقم زده‌اند (شکل ۱). حدود ۶۳ درصد از

این کشور کوهستانی است. با توجه به توپوگرافی پیچیده این کشور، اقلیم آن بسیار متنوع است؛ بطوریکه ۱۸ پهنه اقلیمی کوپن-گایگر را در بر می‌گیرد (شکل ۱) توضیحات مربوط به هر یک از پهنه‌های اقلیمی در جدول (۱) ارائه شده است. توپوگرافی و پهنه‌های اقلیمی حوضه‌های مرزی مشترک با ایران نیز بسیار متنوع است. افغانستان دارای چهار حوضه آبریز اصلی شامل هریرود-مرغاب، هلمند (هیرمند)، کابل و آمودریا است. در این میان، دو حوضه هریرود و هیرمند، از حوضه‌های هستند که با کشور ایران مشترک بوده و آب مورد نیاز مناطق شرقی و شمال شرقی کشور ایران را تأمین می‌کنند.



شکل ۱- توپوگرافی و پهنه‌های اقلیمی کوپن-گایگر افغانستان و حوضه‌های هیرمند و هریرود

جدول ۱- توصیف پهنه‌های اقلیمی کوپن-گایگر موجود در کشور افغانستان و حوضه‌های هیرمند و هریرود

| ردیف | نام پهنه | توصیف                                           | ردیف | نام پهنه | توصیف                                     |
|------|----------|-------------------------------------------------|------|----------|-------------------------------------------|
| ۱    | BWh      | خشک، بیابانی، بسیار گرم                         | ۱۰   | Dsa      | اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم |
| ۲    | BWk      | خشک، بیابانی، سرد                               | ۱۱   | Dsb      | اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و گرم       |
| ۳    | BSh      | خشک، استپی، بسیار گرم                           | ۱۲   | Dsc      | اقلیم برفی با تابستان‌های سرد             |
| ۴    | BSk      | خشک، استپی، سرد                                 | ۱۳   | Dwb      | سرد با زمستان‌های خشک و تابستان گرم       |
| ۵    | Csa      | معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم            | ۱۴   | Dwc      | سرد با زمستان‌های خشک و تابستان سرد       |
| ۶    | Csb      | معتدل با تابستان‌های خشک و گرم                  | ۱۵   | Dfb      | سرد با بدون فصل خشک و تابستان گرم         |
| ۷    | Cwa      | معتدل با زمستان‌های خشک و تابستان‌های بسیار گرم | ۱۶   | Dfc      | سرد با بدون فصل خشک و تابستان سرد         |
| ۸    | Cwb      | معتدل با زمستان‌های خشک و تابستان‌های گرم       | ۱۷   | ET       | قطبی، تندرا                               |
| ۹    | Cfb      | معتدل با بدون فصل خشک و تابستان‌های گرم         | ۱۸   | EF       | قطبی، یخبندان                             |



## • داده‌های مورد استفاده

### - داده‌های همادی-وزنی چند منبعی (MSWX):

بکارگیری داده‌های چند منبعی بخصوص در کشورهایی با توپوگرافی پیچیده همانند افغانستان که داده‌های مشاهداتی چندانی نیز در دسترس ندارد یک منبع قابل اطمینان با عدم قطعیت پایین محسوب می‌شود. در این تحقیق برای بررسی وضعیت دما و بارش در کشور افغانستان از داده‌های اقلیمی تصحیح شده اریبی با تفکیک افقی بالا (GloH2O) مبتنی بر برونداد مجموعه داده همادی-وزنی چند منبعی (Beck) (MSWX و همکاران، ۲۰۲۲) (قابل دسترس از <https://www.glob2o.org/mswx>) با تفکیک افقی ۱/۱ درجه قوسی طی یک دوره اقلیمی ۴۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۲۰) استفاده شد. ابعاد این ماتریس برای کشور افغانستان ۶۲۴۲×۴۰، حوضه هیرمند ۳۲۹۷×۴۰ و برای حوضه هریرود ۸۴۱×۴۰ به دست آمده است (۴۰، تعداد گام‌های زمانی است و ۳۲۹۷، ۶۲۴۲ و ۸۴۱ تعداد نقطه شبکه‌ها است).

### - پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده فاز ششم (CMIP6):

در این تحقیق پنج مدل CMIP6 از اولین اجرا (r1i1p1f1) شامل GFDL-ESM4، IPSL-CM6A-LR، MPI-ESM1-2-HR، MRI-ESM2-0 و UKESM1-0-LL با تفکیک افقی ۱/۵ درجه قوسی برای دو متغیر دما و بارش تحت دو سناریوی حد واسط (SSP2-4.5) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) بررسی شد. این پنج مدل از سوی پروژه تحقیقات هماهنگ در سامانه زمین و اقلیم: آزمایش‌ها، دانش، انتشار و گسترش (CRESCENDO)<sup>۱۱</sup> به عنوان مدل‌هایی که فرآیندهای اقلیمی را به خوبی نمایش می‌دهند، معرفی شدند. از نظر حساسیت اقلیمی، این مدل‌ها نمایندگان خوبی برای مدل‌های مشارکت یافته در پروژه CMIP6 هستند (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۱). به طوریکه سه مدل ارائه شده توسط موسسه‌های GFDL، MPI و MRI مدل‌هایی با حساسیت اقلیمی کم و دو مدل ارائه شده توسط موسسه‌های IPSL و MOHC (مدل UKESM) مدل‌هایی با حساسیت اقلیمی بالا هستند. برای بررسی تغییرات متغیرهای دما و بارش در کشور افغانستان و حوضه‌های مرزی مشترک هیرمند و هریرود در آینده، یک دوره ۲۵ ساله در آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) استفاده شده و نتایج آن با دوره تاریخی در یک دوره ۲۵ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۴) برای بررسی بی‌هنجاری استفاده شد.

## • روش‌های مورد استفاده

### - سنج‌های آماری درستی سنجی:

برای درستی سنجی مجموعه داده MSWX (به عنوان داده مشاهداتی در این تحقیق)، چهار سنج آماری شامل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۱۲</sup> (رابطه ۱)، درصد اریبی (PBIAS)<sup>۱۳</sup> (رابطه ۲)، ضریب توافق (d) (رابطه ۳) و اریبی

(Bias) (رابطه ۴) استفاده شد. سنج اریبی و درصد اریبی مقدار بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی داده‌های MSWX را در برابر داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهند. سنج RMSE اختلاف بین مقادیر مجموعه داده MSWX و مشاهداتی را نشان می‌دهد و به بررسی دقت برآورد مجموعه داده در برابر داده‌های مشاهداتی می‌پردازد. در نهایت سنج ضریب توافق بیانگر تطابق بین مقادیر برآورد شده توسط مجموعه داده MSWX و مقادیر مشاهداتی است. این سنج بین صفر و یک در تغییر است و هر چه به مقدار یک نزدیک‌تر باشد بیانگر توافق بیشتر بین دو سری داده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})}{\sum_{i=1}^n Y_i^{obs}} \times 100 \quad (2)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \right] \quad (3)$$

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \quad (4)$$

در روابط ارائه شده،  $P_i$  مقدار برآورد شده توسط مجموعه داده MSWX،  $O_i$  مقدار مشاهداتی و  $n$  تعداد کل داده‌ها است. همچنین obs و sim به ترتیب بیانگر مقادیر مشاهداتی و مجموعه داده MSWX هستند.

### - تصحیح اریبی و تولید چند مدلی همادی (MME)<sup>۱۴</sup> از مدل‌های منفرد CMIP6:

جهت تصحیح اریبی برونداد مستقیم متغیرهای دما و بارش از روش تصحیح مرتبه متوالی (SEC)<sup>۱۵</sup> (Weedon و همکاران، ۲۰۱۱) استفاده شد. این روش یک روش نگاشت چندک پارامتری است که برای تصحیح اریبی‌ها در تمام صدک‌های توزیع و حفظ روند آن در این صدک‌ها طراحی شده است. روش نگاشت چندک (QM)<sup>۱۶</sup> یک رویکرد تصحیح اریبی است که اخیراً در مطالعات جوّی محبوبیت زیادی پیدا کرده است (Thrasher و همکاران، ۲۰۱۲). مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که QM از سایر روش‌های ساده‌تر (همانند روش‌های نسبت‌گیری) برای دما و بارش و ویژگی‌های آماری مختلف آن‌ها (مانند انحراف معیار و صدک‌ها) بهتر عمل می‌کند (Worku و همکاران، ۲۰۲۰). Lange (۲۰۱۹) این روش را به همراه روابط آماری آن شرح داده است. برای تولید چند مدلی همادی (CMIP6-MME) از مدل‌های منفرد CMIP6 ذکر شده در بخش داده‌ها از روش میانگین وزنی مستقل (IWM)<sup>۱۷</sup> استفاده شد (Bai و همکاران، ۲۰۲۱؛ Zarrin و همکاران، ۲۰۲۱) (برای توضیحات بیشتر به منابع نامبرده رجوع شود).

- محاسبه روند با استفاده از آزمون‌های من-کندال تصحیح شده (MMK)<sup>۱۸</sup> و شیب خط سن (SSE)<sup>۱۹</sup>:

به منظور تشخیص روند متغیرهای اقلیمی (بارش و دما) از آزمون من-کندال تصحیح شده (MMK) و آزمون شیب خط سن استفاده شد. آزمون من-کندال (MK) یک روش ناپارامتریک برای بررسی روند است که توسط Mann (۱۹۴۵) و Kendall (۱۹۴۸) توسعه یافته است. سازمان هواشناسی جهانی (WMO)<sup>۲۰</sup> استفاده از این آزمون را در مطالعات اقلیمی توصیه نموده است (Zhai و همکاران، ۲۰۲۰). Rao و Hamed (۱۹۹۸) آزمون MMK را پیشنهاد دادند. این آزمون یک ضریب تصحیح را به محاسبات واریانس بر اساس اندازه نمونه مؤثر (ESS)<sup>۲۱</sup> اضافه می‌کند تا از تأثیر خودهمبستگی سری زمانی داده‌ها بر مقدار روند جلوگیری شود. ثابت شده است که آزمون MMK نسبت به آزمون MK برای محاسبه روند داده‌های اقلیمی قابل اعتمادتر و بهتر است (Daufresne و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین آزمون MMK حساسیت کمی را نسبت به داده‌های پرت نشان می‌دهد و هیچ الزامی برای داشتن یک توزیع مشخص آماری (همانند توزیع نرمال) ندارد. مقدار مثبت آزمون به معنای روند افزایشی داده‌ها است، در حالی که مقدار منفی نشان‌دهنده روند کاهشی در طول زمان است. معنی‌دار بودن روند را می‌توان در سطوح معنی‌داری مختلف (۰/۰۵ و ۰/۰۱) بررسی کرد تا فرضیه صفر مبنی بر اینکه هیچ روندی در سری زمانی وجود ندارد رد شود (Rao و Hamed، ۱۹۹۸). همانطور که گفته شد برای تشخیص روند در سری‌های زمانی دما و بارش بر روی کشور افغانستان و حوضه‌های مرزی مشترک با ایران از آزمون ناپارامتریک Sen's استفاده شد. آزمون شیب سن (Sen's)، بزرگی روند یا شیب روند را محاسبه می‌کند (Sen، ۱۹۶۸). مقادیر مثبت در خروجی این آزمون روند افزایشی و مقادیر منفی نشان‌دهنده روند کاهشی در سری زمانی دما و بارش است.

## نتایج و بحث

### • تغییرات دما و بارش و روند آن‌ها در افغانستان و حوضه‌های مرزی مشترک با ایران

به دلیل در دسترس نبودن داده‌های بلندمدت ایستگاهی از کشور افغانستان، برای درستی‌سنجی دما و بارش مجموعه داده MSWX از داده‌های ایستگاه هواشناسی همدید سرخس استفاده شد. نتایج نشان داد که به طور کلی این مجموعه داده دما را بهتر از بارش برآورد می‌کند. بطوریکه ضریب توافق بین داده‌های دمای مجموعه داده MSWX با داده ایستگاه سرخس ۰/۹۱ و برای بارش ۰/۸۷ به‌دست آمده است. همچنین بررسی درصد اریبی نشان داد که این مجموعه داده در برآورد بارش ۲/۸ درصد و برای دما ۱/۴۰

درصد نسبت به داده‌های ایستگاهی بیش‌برآوردی دارد. مقدار سنجه RMSE نیز برای بارش ۳۱/۵۱ میلی‌متر و برای دما ۱/۰۴ درجه سلسیوس محاسبه شده است. در نهایت سنجه اریبی نیز نشان می‌دهد که این مجموعه داده دارای بیش‌برآوردی برای هر دو متغیر دما و بارش است. بطوریکه مقدار اریبی دما ۰/۶۴ درجه سلسیوس و بارش ۵/۴۹ میلی‌متر به‌دست آمده است (جدول ۲). این مقادیر نشان می‌دهند که مجموعه داده MSWX کارایی مناسبی را در برآورد دما و بارش دارد و از این مجموعه داده می‌توان به عنوان جایگزین داده‌های مشاهداتی در مناطق فاقد داده همانند کشور افغانستان استفاده کرد.

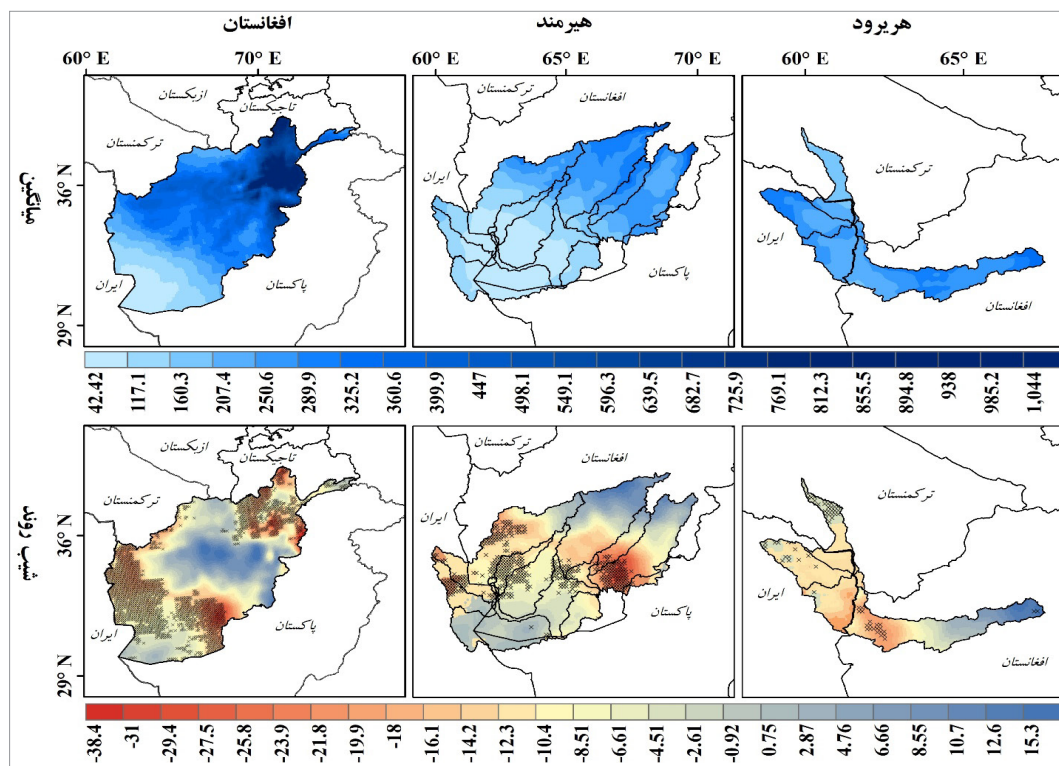
جدول ۲- درستی‌سنجی داده‌های بارش و دمای مجموعه داده MSWX در برابر داده‌های مشاهداتی (ایستگاه منتخب سرخس)

| نام سنجه | Bias | PBIAS | RMSE  | d    |
|----------|------|-------|-------|------|
| بارش     | ۵/۴۹ | ۲/۸۰  | ۳۱/۵۱ | ۰/۸۷ |
| دما      | ۰/۶۴ | ۱/۴۰  | ۱/۰۴  | ۰/۹۱ |

بررسی پراکنش فضایی بارش سالانه در افغانستان نشان می‌دهد که مجموع بارش سالانه در این کشور طی یک دوره اقلیمی ۴۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۲۰) بر اساس مجموعه داده MSWX بین حداقل ۴۲/۴ میلی‌متر در جنوب غربی این کشور در مرز با ایران و حداکثر ۱۰۴۴ میلی‌متر در گوشه شمال‌غربی این کشور در مرز با کشور تاجیکستان است. الگوی بارش در افغانستان به‌طور کلی منطق بر ارتفاعات است بطوریکه بارش در این کشور از آرایش توپوگرافی پیروی می‌کند و از جنوب‌غرب به شمال‌شرق شیب افزایشی دارد. دو حوضه مرزی مشترک هیرمند و هریرو که از کشور افغانستان سرچشمه می‌گیرند بارش سالانه زیادی را ندارند. بطوریکه بیشینه بارش در مناطق بالادست حوزه هیرمند حداکثر تا ۳۰۰ میلی‌متر و در حوضه هریرو حداکثر تا ۳۵۰ میلی‌متر است. شیب کاهشی بارش از سمت افغانستان به ایران برای هر دو حوضه قابل مشاهده است. روند بارش نیز طی چهار دهه گذشته در بیشتر مناطق افغانستان کاهش یافته است که این مقدار کاهشی نیز در بیشتر مناطق دارای روند معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ بوده است (مناطق با هاشور در شکل ۲ روند معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ دارند). بطوریکه در مناطق بالادست این کشور که جزو مناطق پربارش آن محسوب می‌شوند بارش با شیب قابل توجهی با مقدار ۳۸/۴ میلی‌متر/دهه کاهش یافته است. در مقابل بارش در بخش‌های میانی افغانستان و بخصوص در مجاورت با مرز پاکستان روند افزایشی دارد. این روند افزایشی بارش می‌تواند در نتیجه فعالیت‌های بیشتر سامانه موسمی تابستانه آسیایی باشد. در توافق با نتیجه به دست آمده Xue و همکاران (۲۰۲۳) روند افزایشی بارش‌های موسمی را در دوره مشاهداتی و همچنین در دوره‌های آتی گزارش کرده‌اند. روند

مناطق مرزی مشترک با ایران و بخش‌های واقع در داخل کشور ایران روند کاهشی را نشان می‌دهد. روند بارش در بخش‌های شمالی این حوضه افزایشی و در بخش‌های پایین‌دست آن کاهشی است (شکل ۲).

بارش برای حوزه هریرود الگوی جالبی را نشان می‌دهد. بطوریکه در بالادست این حوضه در کشور افغانستان روند افزایشی نزدیک به ۱۰ میلی‌متر/دهه قابل مشاهده است اما این مقدار روند در سطح ۰/۰۵٪ معنی‌دار نبوده است. این در حالی است که بارش در



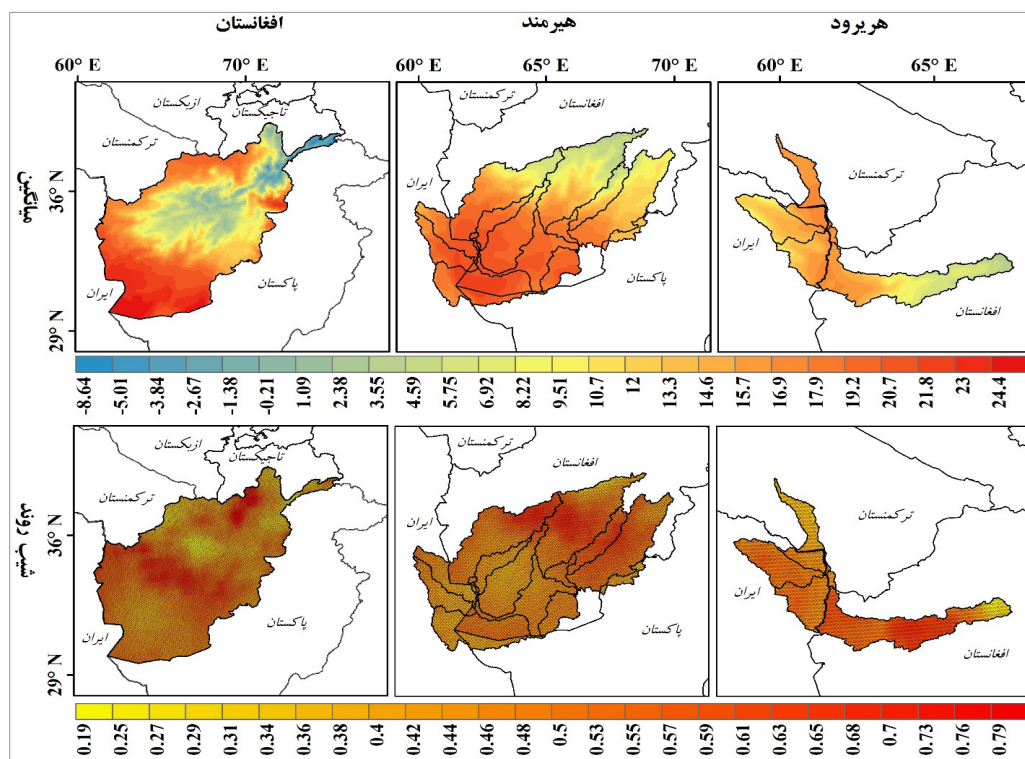
شکل ۲- بارش سالانه کشور افغانستان و حوضه‌های هیرمند و هریرود با داده‌های MSWX طی دوره ۱۹۸۱-۲۰۲۰؛ ردیف بالا مجموع بارش سالانه (واحد: میلی‌متر) و ردیف پایین شیب روند بارش سالانه (میلی‌متر/دهه) است. مناطق مشخص شده با هاشور خاکستری دارای روند معنی‌دار در سطح ۰/۰۵٪ درصد بر اساس آزمون من-کندال تصحیح شده است.

ذوب سریع‌تر ذخایر برفی و در نتیجه کاهش جریان آب در دوره گرم سال خواهد شد که مشکلات بسیاری را برای ساکنین و حتی محیط‌زیست این مناطق بوجود می‌آورد. بررسی متوسط پهنه‌ای دما و بارش در کشور افغانستان و دو حوضه مرزی شرقی هیرمند و هریرود نشان‌دهنده افزایش دما و کاهش بارش در هر سه منطقه مورد بررسی در دهه‌های اخیر بوده است. روند معنی‌دار در سطح ۰/۰۵٪ به شکل هاشور در شکل‌های (۲ و ۳) نشان داده شده است. بارش در متوسط پهنه‌ای کشور افغانستان به ازای هر دهه ۱۱/۲ میلی‌متر کاهش داشته است. این در حالی است که هیرمند و هریرود کاهش بارش بیشتری داشته‌اند. به ازای هر دهه، هیرمند ۱۲/۲ میلی‌متر و هریرود ۱۲/۳ میلی‌متر کاهش بارش را تجربه کرده‌اند. برعکس متغیر بارش، دما روند افزایشی قابل توجهی طی چهار دهه گذشته در متوسط کشور افغانستان و همچنین هیرمند و هریرود داشته است. بالاترین روند افزایشی دما در حوضه هریرود با مقدار

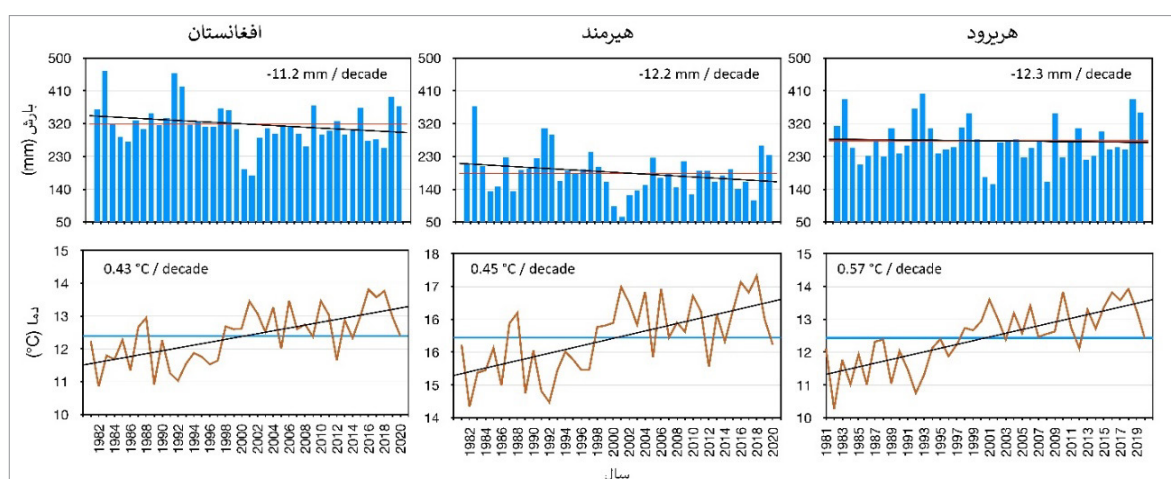
پراکنش فضایی دمای سالانه در کشور افغانستان نشان داده است که کمینه دما منطبق بر ارتفاعات شمالی با مقدار ۸/۶۴- درجه سلسیوس و بیشینه دما با مقدار ۲۴/۴ درجه سلسیوس در دشت سیستان در مرز با ایران دیده می‌شود. دما در افغانستان از آرایش توپوگرافی پیروی می‌کند. بطوریکه کمینه‌ها در تمامی مناطق کشور افغانستان و حتی دو حوضه مرزی شرق ایران منطبق بر توپوگرافی است. روند دما بر عکس بارش که دارای روند همزمان افزایشی و کاهشی بوده است، روندی سراسر افزایشی را در افغانستان دارد. کمینه روند افزایشی با ۰/۱۹- درجه سلسیوس/دهه در مناطق جنوب شرقی و بخش‌های میانی و بیشینه آن در مناطق مرتفع شمالی در مرز با کشور تاجیکستان با مقدار ۰/۷۹+ درجه سلسیوس/دهه دیده می‌شود. الگوی سراسر افزایشی روند دما در کشور افغانستان به عنوان بالادست حوضه‌های مرزی که به سمت کشورهای ایران، ترکمنستان و ازبکستان و حتی پاکستان در جریان است باعث

سال در کنار سدسازی‌ها (همانند سدهای کمال خان و کجکی بر روی هیرمند و سد سلما بر روی هریرود) و انحراف مسیر رودها (همانند انحراف هیرمند به گود زره) توسط دولت‌های حاکم بر کشور افغانستان، باعث تشدید بی‌آبی در دشت سیستان و همچنین پایین‌دست حوضه هریرود در ایران خواهد شد.

۰/۵۷ درجه سلسیوس/دهه به‌دست آمده است. پس از هریرود به‌ترتیب هیرمند و افغانستان افزایش دمایی برابر با ۰/۴۵ و ۰/۴۳ درجه سلسیوس/دهه در طی چهار دهه گذشته نشان داده‌اند. این افزایش دما و کاهش بارش یک تهدید جدی برای منابع آب ایران تلقی می‌شود؛ چراکه کاهش انباشت برف در دوره سرد



شکل ۳- دمای سالانه کشور افغانستان و حوضه‌های هیرمند و هریرود با داده‌های MSWX طی دوره ۱۹۸۱-۲۰۲۰؛ ردیف اول مجموع دمای سالانه (واحد: درجه سلسیوس) و ردیف دوم شیب روند دمای سالانه (درجه سلسیوس/دهه) است. مناطق مشخص شده با هاشور خاکستری دارای روند معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد بر اساس آزمون من-کندال تصحیح شده است.



شکل ۴- متوسط پهنه‌ای دما و بارش کشور افغانستان و حوضه‌های هیرمند و هریرود با داده‌های MSWX طی دوره ۱۹۸۱-۲۰۲۰؛ ردیف بالا مجموع بارش سالانه (واحد: میلی‌متر) و پایین دوم میانگین دمای سالانه (درجه سلسیوس/دهه) است. در ردیف اول خطوط قرمز و سیاه به‌ترتیب میانگین و شیب روند بارش و در ردیف دوم خطوط آبی و سیاه به‌ترتیب میانگین و شیب روند دما را در طی سری زمانی نشان می‌دهد.

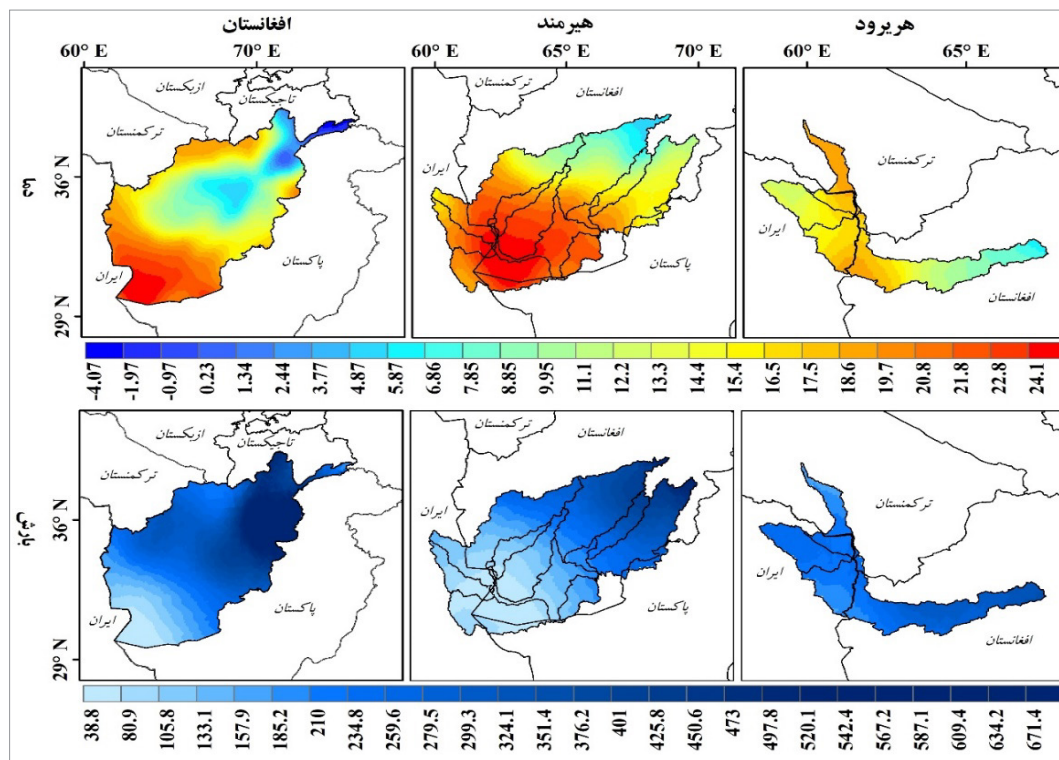


## • بررسی پیش‌نگری‌های آینده دما و بارش

بررسی تغییرات تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) دما و بارش سالانه در کشور افغانستان و دو حوضه هریرود و هیرمند براساس برون‌داد CMIP6-MME نشان می‌دهد که کمینه دما با  $-4/07$  درجه سلسیوس در مناطق شمالی افغانستان در منطقه نوشاخ در مرز با کشور ترکمنستان و چین دیده می‌شود. دما در افغانستان دارای شیب افزایشی شمال شرقی به جنوب غربی است بطوریکه هر چه به سمت دشت سیستان پیش برویم بر بیشینه دمای افغانستان افزوده می‌شود. بیشینه دما در دشت سیستان در مرز با کشور ایران به مقدار  $24/1$  درجه سلسیوس است (شکل ۵). از آنجاییکه بخش‌های قابل توجهی از حوضه‌های هریرود و هیرمند در کشور افغانستان قرار دارد، این حوضه‌ها پراکنش فضایی مشابهی با همین کشور را ارائه داده‌اند. بطوریکه کمینه دما در هر دو حوضه، در بالادست در کشور افغانستان و بیشینه آن در پایین‌دست در کشورهای ایران و ترکمنستان دیده می‌شود. پراکنش فضایی بارش نیز الگویی مشابه اما برعکس مقادیر بیشینه و کمینه دما دارد. بیشینه بارش سالانه ( $671/4$  میلی‌متر) در افغانستان در مناطق شمالی این کشور و کمینه آن ( $38/8$  میلی‌متر) در غرب و جنوب غربی آن بر اساس برون‌داد CMIP6-MME طی دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) به‌دست آمده است (شکل ۵). در حوضه هیرمند و هریرود نیز الگویی مشابه دیده می‌شود.

پراکنش فضایی کمینه‌ها و بیشینه‌های دما و بارش در کشور

افغانستان بر اساس برون‌دادهای CMIP6-MME و MSWX در هر سه منطقه مورد بررسی تقریباً یکسان است اما در مقادیر دارای اختلاف هستند. اولین عامل در این اختلاف می‌تواند به دلیل تفکیک افقی ریزتر MSWX (حدود  $10$  کیلومتر) نسبت به CMIP6-MME (حدود  $50$  کیلومتر) باشد. تفاوت در شبیه‌سازی مقادیر و الگوهای داده‌های همادی-وزنی چند منبعی (MSWX) و برون‌داد چند مدلی CMIP6-MME همچنین می‌تواند به دلیل جغرافیا و اقلیم‌شناسی پیچیده و متنوع کشور افغانستان باشد. بطوریکه مدل‌های CMIP6 در سراسر افغانستان به دلیل تفاوت‌هایی همانند تفکیک افقی و حساسیت اقلیمی مدل‌ها، بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی قابل توجهی دارند که همین امر منجر به افزایش عدم قطعیت در برآوردهای اقلیمی گذشته و آینده می‌شود. دلیل احتمالی برآورد کمتر بارش CMIP6-MME نسبت به داده‌های MSWX در شمال و شمال‌شرق افغانستان می‌تواند به فقدان ایستگاه‌های هواشناسی به عنوان داده مشاهداتی مربوط باشد که مدل نتوانسته است مقدار و الگوی دقیق بارش در مناطق مرتفع را نشان دهد. دلیل احتمالی دوم می‌تواند اثر توپوگرافی پیچیده در فرآیندهای اقلیم منطقه‌ای باشد که نمی‌توان از برون‌داد مدل گردش کلی با تفکیک افقی پایین انتظار برآورد دقیقی را داشت. بنابراین، کاربری مدل‌هایی با تفکیک افقی ریزتر می‌تواند به طور موثری دقت برآورد بارش را به‌ویژه در مناطقی با توپوگرافی پیچیده در کشور افغانستان بهبود بخشد.

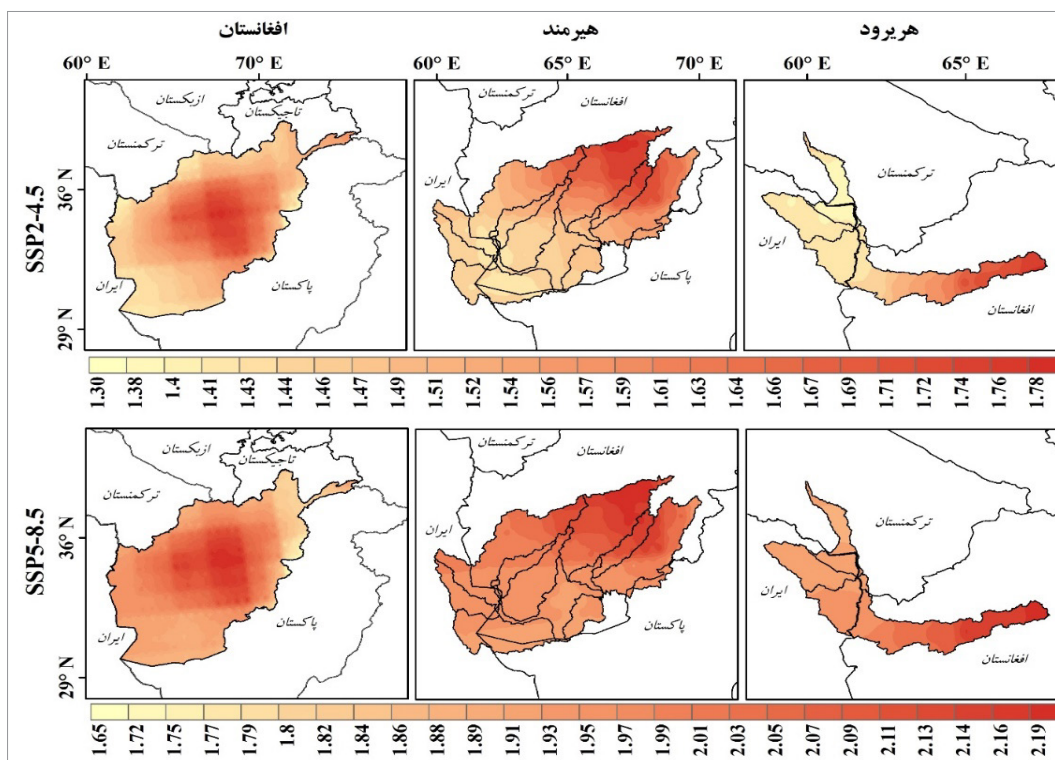


شکل ۵- وردایی تاریخی دما و بارش میانگین سالانه در کشور افغانستان و دو حوضه مرزی هیرمند و هریرود بر اساس برون‌داد CMIP6-MME (۲۰۱۴-۱۹۹۰)



این متغیر نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود، افزایش بیش‌تر در دمای میانگین سالانه پیش‌نگری شده در افغانستان تحت سناریوی انتشار بالا (SSP5-8.5) رخ می‌دهد (شکل ۶). این نتیجه با یافته‌های قبلی بر اساس مدل‌های CMIP5 در آسیای جنوبی مطابقت دارد (Rehman و همکاران، ۲۰۱۸). افغانستان دارای رشته کوه‌های مرتفعی همچون هندوکش است. این منطقه در برابر تغییر اقلیم آسیب‌پذیر است و افزایش زیاد دما باعث تسریع بیشتر ذوب یخچال‌های طبیعی در این منطقه می‌شود. میانگین سالانه دمای پیش‌نگری شده نشان می‌دهد که دما به طور مداوم در آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) افزایش خواهد یافت. افزایش مداوم دمای هوا منجر به افزایش دمای سطحی خاک، افزایش ذوب برف و یخچال‌های دائمی در فصل گرم سال می‌شود. از دست رفتن سطوح برف و یخ و افزایش تبخیر آب از خاک منجر به کاهش رطوبت خاک و رواناب سطحی شده که در نتیجه منجر به تخریب پوشش گیاهی و بیابان‌زایی می‌شود.

پراکنش فضایی تغییرات پیش‌نگری شده در میانگین سالانه دما در افغانستان تحت دو سناریو SSP مختلف در شکل (۶) نشان داده شده است. برای دوره آینده نزدیک، میانگین دمای سالانه در افغانستان ۱/۵۲ و ۱/۹۵ درجه سلسیوس به ترتیب تحت دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 افزایش می‌یابد. دما در متوسط پهنه‌ای حوضه هریرود نیز ۱/۴۶ و ۱/۹۴ درجه سلسیوس به ترتیب تحت سناریوهای حد واسط و خیلی بدبینانه نسبت به دوره تاریخی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) افزایش داشته است. بی‌هنجاری سراسر افزایشی در حوضه هیرمند نیز دیده می‌شود. بطوریکه دما تحت سناریو حد واسط، ۱/۵۲ درجه سلسیوس و تحت سناریو خیلی بدبینانه، ۱/۹۶ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. تغییرات دمایی پیش‌نگری شده در بخش‌های مرتفع مرکزی و شمال غربی افغانستان، بیش‌تر از سایر مناطق این کشور است. دمای میانگین سالانه پیش‌نگری شده در افغانستان هر چند که سراسر افزایشی است اما تنوع فضایی زیادی را در توزیع جغرافیایی



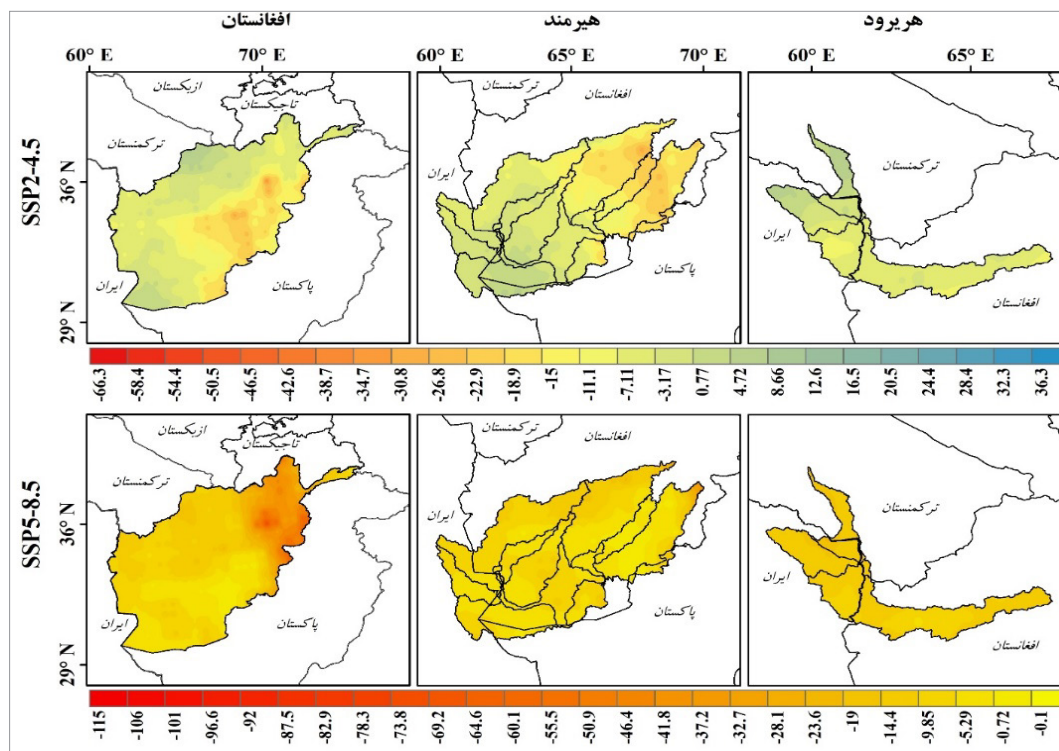
شکل ۶- بی‌هنجاری دمای سالانه در کشور افغانستان و حوضه‌های هیرمند و هریرود طی دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) تحت دو سناریو حد واسط (SSP2-4.5) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) با استفاده از CMIP6-MME (واحد: درجه سلسیوس)

هریرود در خارج از کشور افغانستان دارای بی‌هنجاری مثبت است. تحت سناریوی SSP5-8.5، کل کشور افغانستان و همچنین دو حوضه مرزی کاهش قابل توجهی در مجموع بارش سالانه نسبت به دوره تاریخی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) را نشان می‌دهند. از نظر پراکنش فضایی پیش‌نگری بارش در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) نشان‌دهنده کاهش قابل توجه مجموع بارش سالانه در

پراکنش فضایی تغییرات پیش‌نگری شده در مجموع بارش سالانه برای دوره آینده نزدیک تحت دو سناریوی SSP نشان می‌دهد که بارش در بیش‌تر مناطق کشور افغانستان و بخصوص حوضه‌های مرزی هیرمند و هریرود کاهش خواهد داشت. با این حال مجموع بارش سالانه تحت سناریو SSP2-4.5 در برخی از مناطق کشور افغانستان و همین‌طور بخش‌هایی از حوضه

بخش‌های شمالی و شمال شرقی کشور افغانستان بخصوص در مرز با کشور پاکستان است. در مقابل در پایین‌دست حوضه هیرمند و بخش‌های مرزی با کشور ایران بارش کاهش چندان زیادی را تحت سناریو SSP5-8.5 نشان نمی‌دهد. بطوریکه بی‌هنجاری منفی نسبت به دوره تاریخی، حداکثر تا ۵ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۷). همانطور که پیش‌تر گفته شد عدم قطعیت برونداد CMIP6-MME بسیار کمتر از مدل‌های منفرد CMIP6 است که این امر نتایج به‌دست آمده از تغییرات بارش و دما را

قابل اطمینان‌تر می‌نماید. به همین ترتیب عدم قطعیت سناریوی SSP با انتشار کمتر (SSP2-4.5) نسبتاً کمتر از سناریوی با انتشار بالا (SSP5-8.5) خواهد بود. به طور کلی به دلیل توپوگرافی پیچیده مناطق شمالی، دامنه عدم قطعیت نوسانات بارش در شمال افغانستان بیشتر از مناطق جنوبی آن است. این یافته‌ها از پیش‌نگری بارش و دما برای درک بهتر آینده وضعیت منابع آب حوضه‌های مرزی مشترک در مقیاس منطقه‌ای و حتی سایر مناطق جهان مفید خواهد بود.



شکل ۷- بی‌هنجاری بارش سالانه در کشور افغانستان و حوضه‌های هیرمند و هریرود طی دوره آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) تحت دو سناریو حد واسط (SSP2-4.5) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) با استفاده از CMIP6-MME (واحد میلی‌متر)

بررسی وضعیت بارش و دما در متوسط پهنه‌ای کشور افغانستان و دو حوضه مرزی هیرمند و هریرود برای دوره ۱۹۸۱-۲۰۲۰ براساس داده‌های MSWX نشان داد که بارش در متوسط پهنه‌ای هر سه منطقه مورد بررسی روند کاهشی داشته است. بیشینه کاهش بارش با مقدار ۱۲/۳ میلی‌متر/دهه در حوضه هریرود دیده می‌شود. در مقابل دما در متوسط پهنه‌ای کشور افغانستان و دو حوضه هیرمند و هریرود روند افزایشی نشان می‌دهد. آهنگ افزایشی دما برای کشور افغانستان و حوضه هیرمند ۰/۴ درجه سلسیوس/دهه محاسبه شده است. این در حالی است که در حوضه هریرود دما نسبت به دو منطقه پیشین آهنگ بیشتری را با مقدار ۰/۵۷ درجه سلسیوس/دهه تجربه کرده است. افزایش بیشتر دما در مناطق مرتفع کوهستانی در سایر مناطق جهان

## نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم به دلیل ارتباط مستقیم بین واداشت‌های اقلیمی و تغییرات در فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه، منابع آب را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این مطالعه، برای بررسی وضعیت بارش و دمای کشور افغانستان و حوضه‌های مرزی مشترک با ایران (هیرمند و هریرود)، از دو گروه داده‌های همادی-وزنی چند منبعی (MSWX) و برونداد مدل‌های CMIP6 استفاده شد. یک چند مدلی همادی از مدل‌های منفرد CMIP6 تولید (CMIP6-MME) و پیش‌نگری‌های اقلیمی دما و بارش آینده کشور افغانستان و دو حوضه مرزی هیرمند و هریرود با استفاده از آن ارائه شده است.

همانند فلات تبت (Yan و همکاران، ۲۰۲۰) و شمال غربی ایران (Zarrin و همکاران، ۲۰۲۱) نیز گزارش شده است.

نتایج پیش‌نگری‌های دما و بارش نشان داد که بر اساس سناریوی خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) دما به شکلی قابل توجه افزایش خواهد داشت و به همین ترتیب بارش نیز در دوره آینده نزدیک کاهش خواهد داشت. تحت سناریوی حد واسطه (SSP2-4.5) الگوهای فضایی دما و بارش مشابه با الگوی فضایی تحت سناریو SSP5-8.5 است با این تفاوت که افزایش دما و کاهش بارش تحت این سناریو کمتر است.

آهنگ گرمایش بیشتر در مناطق شمالی، شمال غربی و بخش‌های مرتفع مرکزی افغانستان شناسایی شده است. آهنگ بیش‌تر گرمایش کره زمین در مناطق مرتفع به دلیل پدیده گرمایش وابسته به ارتفاع از طریق تغییر در سازوکارهایی همانند برف-سپیدایی، بازخوردهای سطح زمین، تغییرات بخار آب، گرمای نهان و تغییرات شار تابشی است. Rangwala و همکاران (۲۰۱۰) در فلات تبت، بازخورد برف-سپیدایی را به عنوان عامل اصلی برای گرم شدن بیشتر و ذوب برف و یخ شناسایی کردند. در همین ارتباط Fatima و همکاران (۲۰۲۰) به این نتیجه رسیدند که ذوب شدن سریع یخچال‌های طبیعی هندوکش-کاراکوروم-هیمالیا منجر به سیلاب‌ها و طغیان رودها می‌شود که در نتیجه آن آب شیرین بخصوص در دوره گرم سال کاهش می‌یابد. از سوی دیگر کشور افغانستان در سال‌های گذشته تحت تأثیر جنگ‌های داخلی بسیاری بوده است که همین امر باعث شده تا در این کشور مدیریت منابع آب به شکل جدی مورد توجه قرار نگیرد.

افزایش دمای هوا و کاهش بارش در حوضه‌های مرزی مشترک با کشور ایران به همراه عوامل انسانی همانند تغییر کاربری زمین، سدسازی‌های بسیار در بالادست حوضه‌های مشترک، فشار جمعیت و از دست رفتن پوشش گیاهی در نتیجه کاهش دسترسی به منابع آب و چرای بیش از حد دام‌ها شرایط را برای رخداد خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی فراهم کرده است که در نتیجه آن مشکلات بسیاری را در زمینه تأمین آب شرب شهری و کشاورزی و همچنین رخداد گردوخاک ایجاد کرده است.

افغانستان در فهرست کشورهایی که بیشتر در مواجهه با بحران هستند، رتبه چهارم را دارد (INFORM Risk Index 2023) و از کشورهای آسیب‌پذیر و با آمادگی پایین برای انطباق با تغییرات اقلیم است که در شاخص سازگاری جهانی نوتردام در رتبه هشتم قرار دارد. حداقل ۶۰ درصد از جمعیت افغانستان به کشاورزی دیم وابسته هستند، اما تغییرات در الگوی بارش و برف به شدت شیوه‌های معیشتی را تهدید می‌کند و ناامنی غذایی، سوء تغذیه و انواع بیماری را افزایش می‌دهد. خشکسالی شایع‌ترین مخاطره گزارش شده برای خانوارها در افغانستان است که رخداد آن از ۳۹ درصد در سال ۲۰۲۱ به ۶۴ درصد در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته

است. امروزه از هر ۳۴ ولایت، ۲۵ ولایت شرایط خشکسالی شدید یا فاجعه بار را تجربه می‌کنند که بیش از ۵۰ درصد از مناطق از هر ولایت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش دما به سرعت الگوهای بارش را در سراسر افغانستان تغییر می‌دهد و دسترسی مردم به آب را کاهش می‌دهد. بیشتر رودخانه‌های اصلی این کشور از ارتفاعات مرکزی (ولایات بامیان و دایکندی) سرچشمه می‌گیرند، اما منابع اصلی آب برای بسیاری از مناطق به دلیل بارش‌های نامنظم و تغییرات سریع در مقدار و زمان بارش برف در ارتفاعات به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. سد دوستی با همکاری مشترک ایران و ترکمنستان ساخته شده و عملیات اجرایی ساخت آن در سال ۱۳۷۹ آغاز و در سال ۱۳۸۴ افتتاح شد. این سد بزرگ‌ترین سد مخزنی شرق کشور است که بر روی رودخانه هریرود احداث شده است. خشکسالی‌های افغانستان و سدسازی در بالادست باعث شده است تا آورده این سد به شکل قابل توجهی در سال‌های اخیر کاهش یافته و این کاهش آب ورودی سد باعث کاهش قابل توجه ذخیره آبی این سد شده که بر این اساس مشکلات جدی را برای تأمین آب شهر مشهد و مناطق پایین دست آن ایجاد کرده است.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1-Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation
- 2-Multi-Source Weather
- 3-General circulation models
- 4-Coupled Model Intercomparison Project
- 5-Shared Socio-economic Pathways
- 6-Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
- 7-Institut Pierre-Simon Laplace
- 8-Max Planck Institute
- 9-The Meteorological Research Institute
- 10-The UK Earth System Modelling
- 11-Coordinated Research in Earth Systems and Climate: Experiments, knowledge, Dissemination and Outreach
- 12-Root Mean Squared Error
- 13-Percent bias
- 14-Multi-model endpoints
- 15-Sequential Elevation Correction
- 16-Quantile mapping
- 17-Independent weighted mean
- 18-Modified Mann-Kendall test
- 19-Sen's slope estimator
- 20-World Meteorological Organization
- 21-Effective Sample Size

- Bevacqua, E., Zappa, G., Lehner, F., & Zscheischler, J. (2022). Precipitation trends determine future occurrences of compound hot-dry events. *Nature Climate Change*, 12(4), 350-355. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01309-5>
- Dai, A., & Bloecker, C. E. (2019). Impacts of internal variability on temperature and precipitation trends in large ensemble simulations by two climate models. *Climate dynamics*, 52(1-2), 289-306. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4132-4>
- Daufresne, M., Lengfellner, K., & Sommer, U. (2009). Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(31), 12788-12793. <https://doi.org/10.1073/pnas.0902080106>
- Eyring, V., Cox, P. M., Flato, G. M., Gleckler, P. J., Abramowitz, G., Caldwell, P., ... & Williamson, M. S. (2019). Taking climate model evaluation to the next level. *Nature Climate Change*, 9(2), 102-110. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0355-y>
- Farhat, F., Kashifi, M. T., Jamal, A., & Saba, I. (2022). Spatiotemporal projections of precipitation and temperature over Afghanistan based on CMIP6 global climate models. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(3), 4229-4242. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01361-2>
- Fatima, E., Hassan, M., Hasson, S. U., Ahmad, B., & Ali, S. S. F. (2020). Future water availability from the western Karakoram under representative concentration pathways as simulated by CORDEX South Asia. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 1093-1108. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03261-w>
- Hamed, K. H., & Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*, 204(1-4), 182-196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)
- Kang, Y., Khan, S., & Ma, X. (2009). Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security-A review. *Progress in natural Science*, 19(12), 1665-1674. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2009.08.001>
- Kendall, M. G. (1948). Rank correlation methods, Griffin, No. 98. Harvard Book List (edited) 1955. <https://psycnet.apa.org/record/1948-15040-000>
- زرین، آذر، و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۱). بررسی مدل‌های CMIP6 در برآورد دمای ایران با تأکید بر حساسیت اقلیم ترازمند (ECS) و پاسخ اقلیم گذرا (TCR). *مجله ژئوفیزیک ایران*, ۱۷(۱)، ۳۹-۵۶. <https://doi.org/10.30499/ijg.2022.344862.1430>
- Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539-42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Aliyar, Q., Dhungana, S., & Shrestha, S. (2022). Spatio-temporal trend mapping of precipitation and its extremes across Afghanistan (1951-2010). *Theoretical and Applied Climatology*, 147, 605-626. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03851-2>
- Asadi-RahimBeygi, N., Zarrin, A., Mofidi, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2024). Near-term temperature extremes in Iran using the decadal climate prediction project (DCPP). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 38, 447-466. <https://doi.org/10.1007/s00477-023-02579-x>
- Babar, Z. A., Zhi, X., Ge, F., Riaz, M., Mahmood, A., Sultan, S., Shad, M.A., Aslam, C. M., & Ahmad, M. F. (2016). Assessment of Southwest Asia surface temperature changes: CMIP5 20th and 21st century simulations. *Pakistan Journal of Meteorology*, 13(25): 1-15. <https://www.prdb.pk/article/assessment-of-southwest-asia-surface-temperature-changes-cm-190>
- Bai, H., Xiao, D., Wang, B., Liu, D. L., Feng, P., & Tang, J. (2021). Multi-model ensemble of CMIP6 projections for future extreme climate stress on wheat in the North China Plain. *International Journal of Climatology*, 41, E171-E186. <https://doi.org/10.1002/joc.6674>
- Beck, H. E., Van Dijk, A. I., Larraondo, P. R., McVicar, T. R., Pan, M., Dutra, E., & Miralles, D. G. (2022). MSWX: Global 3-hourly 0.1 bias-corrected meteorological data including near-real-time updates and forecast ensembles. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103(3), E710-E732. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0145.1>



- and future projections. *International Journal of Climatology*, 34(11), 3282-3303. <https://doi.org/10.1002/joc.3915>
- Scafetta, N. (2023). CMIP6 GCM ensemble members versus global surface temperatures. *Climate Dynamics*, 60(9-10), 3091-3120. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06493-w>
- Sedighi, M. N., Hendrawan, V. S. A., & Komori, D. (2022). Climate projections over different climatic regions of Afghanistan under shared socioeconomic scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 149(1-2), 511-524. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04063-y>
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Suryavanshi, S., Joshi, N., Maurya, H. K., Gupta, D., & Sharma, K. K. (2022). Understanding precipitation characteristics of Afghanistan at provincial scale. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(3-4), 1775-1791. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04257-4>
- Thrasher, B., Maurer, E. P., McKellar, C., & Duffy, P. B. (2012). Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3309-3314. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3309-2012>
- Weedon, G. P., Gomes, S., Viterbo, P., Shuttleworth, W. J., Blyth, E., Österle, H., ... & Best, M. (2011). Creation of the WATCH forcing data and its use to assess global and regional reference crop evaporation over land during the twentieth century. *Journal of Hydrometeorology*, 12(5), 823-848. <https://doi.org/10.1175/2011JHM1369.1>
- Worku, G., Teferi, E., Bantider, A., & Dile, Y. T. (2020). Statistical bias correction of regional climate model simulations for climate change projection in the Jemma sub-basin, upper Blue Nile Basin of Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, 139, 1569-1588. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03053-x>
- Xue, D., Lu, J., Leung, L. R., Teng, H., Song, F., Zhou, T., & Zhang, Y. (2023). Robust projection of East Asian summer monsoon rainfall based on dynamical modes of variability. *Nature Communications*, 14(1), 3856. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39460-y>
- Kumar, S., Chanda, K., & Pasupuleti, S. (2020). Spatiotemporal analysis of extreme indices derived from daily precipitation and temperature for climate change detection over India. *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 343-357. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03088-5>
- Lange, S. (2019). Trend-preserving bias adjustment and statistical downscaling with ISIMIP3BASD (v1. 0). *Geoscientific Model Development*, 12(7), 3055-3070. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-3055-2019>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Men, B., Wu, Z., Liu, H., Tian, W., & Zhao, Y. (2020). Spatio-temporal analysis of precipitation and temperature: A case study over the Beijing-Tianjin-Hebei Region, China. *Pure and Applied Geophysics*, 177, 3527-3541. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02400-3>
- Mishra, A. K., Özger, M., & Singh, V. P. (2011). Association between uncertainties in meteorological variables and water-resources planning for the state of Texas. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(12), 984-999. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000150](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000150)
- Politi, N., Vlachogiannis, D., Sfetsos, A., & Nastos, P. T. (2023). High resolution projections for extreme temperatures and precipitation over Greece. *Climate Dynamics*, 61(1-2), 633-667. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06590-w>
- Rangwala, I., Miller, J. R., Russell, G. L., & Xu, M. (2010). Using a global climate model to evaluate the influences of water vapor, snow cover and atmospheric aerosol on warming in the Tibetan Plateau during the twenty-first century. *Climate Dynamics*, 34, 859-872. <https://doi.org/10.1007/s00382-009-0564-1>
- Rehman, N., Adnan, M., & Ali, S. (2018). Assessment of CMIP5 climate models over South Asia and climate change projections over Pakistan under representative concentration pathways. *International Journal of Global Warming*, 16(4), 381-415. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2018.095994>
- Sachindra, D. A., Huang, F., Barton, A., & Perera, B. J. C. (2014). Statistical downscaling of general circulation model outputs to precipitation—part 2: bias-correction



- Yan, Y., You, Q., Wu, F., Pepin, N., & Kang, S. (2020). Surface mean temperature from the observational stations and multiple reanalyses over the Tibetan Plateau. *Climate Dynamics*, 55, 2405-2419. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05386-0>
- Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2021). Projection of future extreme precipitation in Iran based on CMIP6 multi-model ensemble. *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 643-660. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03568-2>
- Zarrin, A., Dadashi-Roudbari, A., & Hassani, S. (2021). Historical variability and future changes in seasonal extreme temperature over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 146, 1227-1248. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03795-7>
- Zhai, J., Mondal, S. K., Fischer, T., Wang, Y., Su, B., Huang, J., ... & Uddin, M. J. (2020). Future drought characteristics through a multi-model ensemble from CMIP6 over South Asia. *Atmospheric Research*, 246, 105111. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105111>

## Analyzing the Entrepreneur's Responses to the Water Crisis

R. Khorram<sup>1</sup>, V. Makizadeh<sup>2\*</sup>, H. Mansoori<sup>3</sup>

1, 2, 3- MSc in Business Management, Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Management and Accounting, University of Hormozgan, Bandarabbas, Iran.

\*(Corresponding Author Email: v.makizadeh@hormozgan.ac.ir)

Received: 28-11-2023

Revised: 23-02-2024

Accepted: 03-03-2024

Available Online: 25-05-2024

## واکاوی پاسخ‌های کارآفرینان به بحران آب

رضا خرم<sup>۱</sup>، وحید مکی‌زاده<sup>۲\*</sup>، حسین منصوری<sup>۳</sup>

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مدیریت بازرگانی، دانشیار و استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

\*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: v.makizadeh@hormozgan.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳

### Abstract

Climate change, including drought, is an important threat to sustainable development. Entrepreneurial businesses are undeniable due to their acceptance and adaptation to environmental changes to respond to critical conditions. This research has been done with the aim of "analyzing the responses of entrepreneurs to the water crisis". In addition to identifying the answers, the effects of the water crisis on entrepreneurs and the consequences of the entrepreneurs' actions on the business performance were identified. In terms of results, this research is practical and of a qualitative type of case study. The research community is entrepreneurial businesses in the three provinces of Fars, Hormozgan, and Isfahan and the field of activity: agriculture, food products, tourism, mineral and industrial materials, and animal husbandry that were affected by the water crisis. Purposeful sampling method was used and data collection was done through in-depth and semi-structured interviews between February and March of 2022, which reached theoretical saturation after conducting 13 interviews. Data analysis was done by qualitative content analysis. The findings showed that the water crisis had an impact on two stages of the business value chain, i.e. "supply chain" and "production chain". Supply chain impacts include impacts on water resources and raw materials, and production impacts include impacts on products, process, assets, and production factors. The results indicate that entrepreneurs have reacted to these effects with three strategies, diversification, cooperation contracts, and processes modification. It was also found that the response of entrepreneurs to the water crisis has positive and negative effects on aspects of the company's performance (operational performance, financial performance, social performance, environmental performance).

**Keywords:** Water Crisis, Climate Change, Strategy, Entrepreneurship, Performance.

### چکیده

تغییرات اقلیمی از جمله خشکسالی یک عامل مهم تهدید توسعه پایدار به‌شمار می‌رود. کسب‌وکارهای کارآفرینانه به‌دلیل انعطاف‌پذیری و سازگاری با تغییرات محیطی برای پاسخ به شرایط بحرانی، غیرقابل‌انکار است. این پژوهش با هدف «واکاوی پاسخ‌های کارآفرینان به بحران آب» انجام شد. ضمن شناسایی پاسخ‌ها، به شناسایی اثرات بحران آب بر کارآفرینان و پیامدهای اقدامات کارآفرینان به‌عملکرد کسب‌وکار پرداخته شد. پژوهش از نظر نتیجه، کاربردی و از نوع کیفی- مطالعه موردی می‌باشد. جامعه پژوهش، کسب‌وکارهای کارآفرینانه در سه استان فارس، هرمزگان و اصفهان و در زمینه‌های فعالیت کشاورزی، فراورده‌های غذایی، گردشگری، مواد معدنی و صنعتی و دامپروری که تحت تأثیر بحران آب قرار داشتند، می‌باشد. با استفاده از نمونه‌گیری هدفمند داده‌ها به‌وسیله مصاحبه‌های عمیق و نیمه‌ساختاریافته در بازه زمانی بهمن و اسفند ماه سال ۱۴۰۱ گردآوری شد که پس از انجام ۱۳ مصاحبه پژوهش به اشباع نظری رسید. تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌وسیله تحلیل محتوای کیفی صورت گرفت. یافته‌ها نشان داد بحران آب بر دو مرحله زنجیره ارزش کسب و کار یعنی «زنجیره تأمین» و «زنجیره تولید»، تأثیر داشته است. تأثیرات زنجیره تأمین شامل تأثیر بر منابع آبی و مواد اولیه و تأثیرات تولید نیز در برگیرنده تأثیر بر محصول، فرایند، دارایی‌ها و عوامل تولید است. نتایج حاکی از آن است کارآفرینان با سه راهبرد، متنوع‌سازی، قراردادهای همکاری و اصلاح فرایندها به این اثرات واکنش نشان داده‌اند. همچنین مشخص شد پاسخ کارآفرینان به بحران آب ابعاد عملکرد بنگاه (عملکرد عملیاتی، عملکرد مالی، عملکرد اجتماعی، عملکرد محیط‌زیست) را تحت تأثیرات مثبت و منفی قرار می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** بحران آب، تغییرات اقلیمی، راهبرد، کارآفرینی، عملکرد.

خشکسالی، به عنوان مخاطره آمیزترین بحران طبیعی، طیف گسترده‌ای از اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مناطق متأثر از آن، طی دهه‌های اخیر به شدت گسترش یافته است (Molen و همکاران ۲۰۱۱). در این بین کشورهای در حال توسعه بیشتر در معرض آسیب‌پذیری حاصل از این بحران‌ها قرار دارند. ایران نیز به عنوان یکی از کشورهای در حال توسعه در فهرست ۱۰ کشور نخست بلاخیز جهان قرار دارد (Javanshiri و Bouzarjomehry، ۲۰۱۵). نادیده گرفتن برنامه‌ها و مسائل کلیدی، پیامدهای بحران آب در ایران تا حد زیادی گسترش خواهد یافت و بی‌توجهی به اقلیم و تغییرات آن می‌تواند خسارت اجتماعی، محیط‌زیستی و اقتصادی قابل توجهی ایجاد کند (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۲). لذا، مدیریت پایدار آب به یک نگرانی عمده برای همگان تبدیل شده است.

تغییرات اقلیمی می‌تواند خطرات وسیعی را برای کسب‌وکار به همراه داشته باشد. قطع یا اختلال در حمل‌ونقل، لطمه به عرضه‌کنندگان، اختلال در تولید برق و آب از جمله این موارد هستند (Taylor، ۲۰۲۰). چالش‌های ناشی از خشکسالی نقش کلیدی در زندگی روزمره کارآفرینان ایفا می‌کند (Eijdenberg و Kuijpers، ۲۰۲۱). کارآفرینی به معنای ایجاد ترکیبی است که قبلاً وجود نداشته و اغلب با مالکیت و مدیریت مشاغل کوچک برابر است (Martin، ۱۹۸۲). بسیاری از نویسندگان جهت تعریف کارآفرینی بر روی فرآیند راه‌اندازی یک کسب‌وکار عمدتاً کوچک تمرکز دارند. در این دیدگاه، کارآفرینان در حال افتتاح یک کسب و کار جدید هستند و کارآفرینی، فرآیند ایجاد و تأسیس یک شرکت جدید است (Wagner و Schaltegger، ۲۰۱۱). جنبه دیگر از کارآفرینی، تلاش برای رشد است که در آن کارآفرینان به عنوان بازیگران توسعه شرکت‌ها و کسب‌وکارها در نظر گرفته می‌شوند (Kyro، ۲۰۱۵).

عدم به کارگیری راهبردهای مناسب در محیط کسب‌وکار کارآفرینانه نه تنها ممکن است بر قابلیت انعطاف‌پذیری آن‌ها تأثیر بگذارد، بلکه می‌تواند سایر کسب‌وکارها در زنجیره تأمین، شرکاء، مشتریان و کارکنان (Linnenluecke و McKnight، ۲۰۱۷) و جنبه‌های محیط‌زیستی و اجتماعی- اقتصادی توسعه پایدار را نیز تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، تطبیق با شرایط متغیر محیطی از الزامات موفقیت بنگاه‌ها بوده و فعالیت‌های کارآفرینان به دلیل نقش آن‌ها در تاب‌آوری جوامع در مواجهه با پیامدهای تغییرات اقلیمی اهمیت بالایی دارد. کسب‌وکارهایی که به‌طور مؤثر واکنش نشان می‌دهند و یا راهبردهای مناسب‌تری اتخاذ می‌کنند شانس بهتری برای حفظ مزیت رقابتی دارند (Linnenluecke و McKnight، ۲۰۱۹). نقش کارآفرینی در جوامع آسیب‌دیده از بلایای طبیعی، به تازگی مورد توجه قرار گرفته است (Bullough و همکاران، ۲۰۱۴).

مرور پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد بیشتر پژوهش‌های انجام شده در سطح بنگاه‌های مادر و بین‌المللی و در کشورهای توسعه یافته انجام شده و تأثیر این بحران در کشورهای در حال توسعه و در سطح کارآفرینی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. از این رو، باتوجه به گسترش روزافزون اثرات منفی بحران آب بر پایداری اقتصادی و اجتماعی ایران و اثرات احتمالی مستقیم یا غیرمستقیم این بحران بر زنجیره ارزش بنگاه‌ها، به‌ویژه بنگاه‌های کوچک و باتوجه به اهمیت ابتکارات کارآفرینان در حفظ پایداری اقتصادی- اجتماعی جامعه در مواجهه با این بحران، پژوهش حاضر درصدد است علاوه بر شناسایی اثرات این بحران بر کسب‌وکارهای کارآفرینانه و چگونگی پاسخ کارآفرینان، پیامدهای این پاسخ‌ها را نیز بررسی نماید. باتوجه به بررسی‌های اولیه، وقوع خشکسالی و امکان دسترسی پژوهشگر به طیفی از کسب‌وکارهای کارآفرینانه متأثر از بحران آب در سه استان فارس، هرمزگان و اصفهان، پژوهش حاضر در قلمرو کسب‌وکارهای کارآفرینانه در این سه استان در زمینه فعالیت‌های کشاورزی، فرآورده‌های غذایی، گردشگری، مواد معدنی و صنعتی و دام‌پروری انجام شد.

#### مروری بر مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تغییرات طولانی مدت در عوامل آب‌وهوایی تغییر اقلیم نامیده می‌شود (Atehmengo و همکاران، ۲۰۱۴). تغییر اقلیم به عنوان مسأله کلیدی در برنامه‌های قوی امنیت و تاب‌آوری آب محسوب می‌شود (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۲). شواهد علمی نشان می‌دهند تغییرات اقلیمی به‌طور بالقوه تأثیر زیادی در اکوسیستم‌ها داشته و بر ساختارهای اجتماعی، اقتصادی، صنعتی و کسب‌وکارهایی که به آن‌ها وابسته هستند اثرگذارند (Griffiths و Linnenluecke، ۲۰۱۰). کسب‌وکارها ناگزیرند با تأثیرات منفی ناشی از تغییر اقلیم بر فعالیت‌های خود مقابله کنند؛ با این وجود این بنگاه‌ها همچنان کمتر به ناملایمات طبیعی و تغییرات اقلیمی واکنش نشان می‌دهند (Clement و Rivera، ۲۰۱۹). کسب‌وکارهای کارآفرینانه برای سازگاری با تغییرات اقلیمی شدید و ناگهانی، زمان کمی دارند (Linnenluecke و همکاران، ۲۰۱۱). به‌ویژه اگر تغییرات پیش‌بینی‌نشده باشد و یا ظرفیت‌های سازمان برای سازگاری محدود باشد، می‌تواند منجر به آسیب‌پذیری شود (Wilbanks و همکاران، ۲۰۰۷).

اثرات فیزیکی تغییر اقلیم باتوجه به زنجیره ارزش کسب‌وکار می‌تواند منجر به دو نوع اثرات منفی شود: اثرات اولیه؛ یعنی اثرات بر دارایی‌ها و فعالیت‌های داخلی یک شرکت؛ اثرات ثانویه؛ یعنی اثرات بر تأمین‌کنندگان، زیرساخت‌های لازم، خدمات پشتیبانی، و تغییر الگوهای مصرف مشتریان (Busch و Weinhofer، ۲۰۱۳). مطالعات پیشین عمدتاً بر روی اثرات اولیه تغییرات اقلیم بر

کسب و کار متمرکز شده‌اند و دیدگاه‌های زنجیره تأمین کمتر مورد توجه و مطالعه قرار گرفته است (Abegg و Meinel، ۲۰۱۷). علاوه بر اثرات منفی، اثرات فیزیکی تغییرات اقلیمی نیز می‌تواند منجر به اثرات مثبت بر فعالیت‌های کسب‌وکار شود (Busch و Weinhofer، ۲۰۱۳). باین‌حال، بخش قابل ملاحظه‌ای از ادبیات موجود، به تأثیرات منفی احتمالی اشاره دارد. بررسی و مرور ادبیات نشان می‌دهد تمرکز ادبیات نظری در حوزه عوامل محیط بیرونی بنگاه عمدتاً بر رویکردهای کلان (Kuijpers و Eijdenberg، ۲۰۲۱) و محیط‌های رقابتی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی قرار داشته و توجه کمتری به تأثیر محیط طبیعی بر شرکت داشته است (Rivera و Clement، ۲۰۱۹). پژوهش‌هایی که تأثیر تغییرات اقلیمی بر کسب‌وکارها و پاسخ کسب‌وکارها را مورد مطالعه قرار داده‌اند (Kuijpers و Eijdenberg، ۲۰۲۱). عمدتاً در بنگاه‌های مادر (اسدزاده و همکاران، ۱۴۰۰) و در کشورهای توسعه یافته و در سطح شرکت‌های بزرگ بین‌المللی انجام شده و تأثیر این بحران در کشورهای درحال توسعه و در سطح کارآفرینی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است (De Abreu

و همکاران، ۲۰۱۷). در حوزه بحران آب نیز عمده مطالعات در سطح فردی مانند رضایت از زندگی (Choongo و همکاران، ۲۰۲۱)، پیامدهای اجتماعی- اقتصادی خشکسالی، بررسی اثرات خشکسالی بر روستاییان، سازگاری کشاورزان با خشکسالی و استراتژی‌های مقابله‌ای کشاورزان (Savari و Shokati Amghan، ۲۰۲۲) بوده و چگونگی تأثیرات خشکسالی بر کسب‌وکارها، به‌ویژه در سطح کارآفرینی مورد غفلت قرار گرفته است. با ورود به این حوزه پژوهشی، پیوند بین سطوح خرد و کلان کارآفرینی ایجاد خواهد شد (Kuijpers و Eijdenberg، ۲۰۲۱). باتوجه به محدودیت‌های ناشی از تغییرات اقلیمی مانند خشکسالی، اهمیت ابتکارات کارآفرینانه برای مدیریت پیامدهای آن غیرقابل‌انکار است. از سوی دیگر، باتوجه به ماهیت متفاوت پدیده خشکسالی در مقایسه با سایر بحران‌های طبیعی، شناخت دقیق پیامدهای آن برای کسب‌وکارها اهمیت زیادی دارد (Kilimani و همکاران، ۲۰۱۸).

جدول (۱) نتایج به‌دست آمده از مرور پژوهش‌های مرتبط انجام شده داخلی و خارجی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- اهداف و نتایج پژوهش‌های پیشین در حوزه کارآفرینی و تغییر اقلیم

| محقق                            | هدف پژوهش                                                                 | نتایج                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Siad و Daka (۲۰۲۲)              | کارآفرینی و سیاست اکوسیستم نوآوری پس از بحران جنگ                         | ۵۵ درصد از کارآفرینان به دلیل نبود ابزارهای نظارتی و سیاست‌گذاری در انجام کسب‌وکار با مشکل مواجه بودند.                                                                                                       |
| Kuijpers و Eijdenberg (۲۰۲۱)    | بررسی پاسخ کارآفرینان به خشکسالی شدید                                     | کارآفرینان به سه طریق به چالش‌ها پاسخ می‌دهند: (۱) راه‌حل‌های شخصی، (۲) راه‌حل‌های بداهه و (۳) راه‌حل‌های حرفه‌ای.                                                                                            |
| Choongo و همکاران (۲۰۲۱)        | تأثیر آلودگی و خشکسالی بر رضایت از زندگی کارآفرینان                       | ضمن تأثیر منفی خشکسالی بر رضایت از زندگی کارآفرینان، خشکسالی نیز اثرات منفی هم بر سودآوری و هم بر تصمیم‌گیری کسب‌وکار دارد.                                                                                   |
| Maritz و همکاران (۲۰۲۱)         | بررسی کارآفرینی به‌عنوان قهرمان گمنام در طول بحران COVID-19               | ابتکارات کارآفرینی به‌عنوان کاتالیزوری برای ایجاد و رشد سرمایه‌گذاری جدید عمل می‌کنند.                                                                                                                        |
| Ahn و Lee (۲۰۱۹)                | بررسی تفاوت‌های شرکت‌های بزرگ در پاسخ به تغییرات اقلیمی از منظر کارآفرینی | پاسخ‌ها به تغییرات اقلیمی بسته به میزان به‌کارگیری این عناصر در استراتژی‌های شرکت‌ها متفاوت هستند. چهار استراتژی مختلف "جستجوگر، مردد، محتاط و عقب‌افتاده" را براساس آینده‌نگری کارآفرینی اقلیمی مشخص می‌کند. |
| McKnight و Linnenluecke (۲۰۱۹)  | بررسی روابط بین نوع بحران‌های طبیعی و واکنش بنگاه‌ها                      | بین انواع مختلف بحران‌های طبیعی و پاسخ‌های پیشگیرانه و واکنشی شرکت‌ها در پاسخگویی به آن‌ها رابطه وجود دارد. با افزایش تعداد و شدت وقوع بلایای طبیعی شرکت‌ها پاسخ‌های فعالانه‌تری به آن خواهند داد.            |
| Buranatrakul و Swierczek (۲۰۱۸) | بررسی اقدامات بانک‌های بین‌المللی در مورد سازگاری با تغییرات اقلیمی       | چارچوب ارزیابی اقدامات استراتژیک تغییرات اقلیمی در صنعت بانکداری: تعهد مدیریت، کاهش انتشار، توسعه محصول، مشارکت سازمانی و توسعه روابط خارجی، ارائه شد.                                                        |
| Höferl و Meinel (۲۰۱۷)          | علل عدم توجه مدیران به پاسخ‌های استراتژیک در برابر تغییرات اقلیمی         | عواملی چون عدم ارتباط موضوع برای عملیات روزمره کسب‌وکار، کمبود کارکنان، زمان و مسائل مالی، عدم تأثیر سازگاری با تغییرات اقلیمی بر شهرت در میان مشتریان و شرکای تجاری، به‌عنوان مهمترین موانع به‌شمار می‌روند. |
| Gasbarro و Pinkse (۲۰۱۶)        | آسیب‌پذیری شرکت‌ها در برابر تغییرات اقلیمی                                | میزان آگاهی شرکت‌ها و ادراک آن‌ها از شدت آسیب‌پذیری از تغییرات اقلیمی باعث تفاوت در نوع سازگاری می‌شود. چهار نوع رفتار سازگاری پیشگیرانه، واکنشی، پیوسته و انطباق پذیرفته شده ارائه نمودند.                   |

| محقق                          | هدف پژوهش                                                                    | نتایج                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lee (۲۰۱۲)                    | شناسایی استراتژی‌های شرکت‌ها در برابر تغییرات اقلیمی                         | استراتژی‌های جستجوگر فعال، جستجوگر نامنظم، تقویت‌کننده فعال، تقویت‌کننده محصول، کاهش‌دهنده هوشیار و مشاهده‌گر محتاط بود.                                                                              |
| Linnenluecke و همکاران (۲۰۱۱) | تغییرات آب‌وهوایی بر عملکرد کسب‌وکار و یا اختلال در زنجیره تأمین             | چارچوب یکپارچه‌سازی تصمیمات جابه‌جایی و پاسخ‌های سازگاری به تغییرات اقلیمی شامل سطح ریسک ناشی از تأثیر تغییرات آب‌وهوا در مکان شرکت، امکان‌سنجی جابه‌جایی و هزینه‌ها و مزایای مرتبط با تصمیم می‌باشد. |
| اسدزاده و همکاران (۱۴۰۰)      | تأثیر هوشمندی راهبردی بنگاه بر اثربخشی راهبردها در توابع بحران‌زده           | هوش بر کلیه راهبردها یعنی راهبرد سازماندهی مجدد دارایی‌ها، راهبرد سازماندهی مجدد بدهی‌ها، راهبرد کارایی عملیات و راهبرد تمرکز مجدد بازار-محصول تأثیر دارد.                                            |
| فعله کری (۱۴۰۰)               | واکاوی چالش‌های کارآفرینی سبز با رویکرد بحران                                | چالش‌ها شامل: موانع آموزشی و فرهنگی، موانع اقتصادی و اجتماعی، موانع مدیریتی، موانع حمایتی و حمایت‌های دولتی، موانع قانونی، موانع کنترل و ارزیابی می‌باشد.                                             |
| منوچهری و همکاران (۱۳۹۹)      | فهم ارتباط انتخاب راهبرد تاب‌آوری با ویژگی‌های محیط کسب‌وکار کارآفرینانه     | در محیط کسب و کار سه جریان تاب‌آوری: شناختی، عاطفی-ارزشی و رفتاری موجب انتخاب الگوی پیشگامی می‌شود.                                                                                                   |
| اسمعیل‌نژاد و پودینه (۱۳۹۶)   | رتبه‌بندی استراتژی‌های سازگاری در برابر تغییرات اقلیمی                       | تغییر الگوی کشت، انتخاب گونه‌های مقاوم، کاهش مقدار زمین و تنوع کشت از جمله مهمترین استراتژی‌های سازگاری با تغییرات اقلیمی بودند.                                                                      |
| اکبری و همکاران (۱۳۹۵)        | تحلیل رفتار کارآفرینانه کشاورزان روستایی در مواجهه با تغییر اقلیم و خشک‌سالی | کشاورزانی که درک آن‌ها از تغییر اقلیم متوسط او یا بالاتر است، رفتار کارآفرینانه از خود بروز می‌دهند.                                                                                                  |
| کاظمی ثانی (۱۳۹۴)             | اثربخشی استراتژی‌های مقابله‌ای کشاورزان                                      | اثربخشی استراتژی‌ها متفاوت بوده؛ در نیمی از روستاها پیامدهای ناشی از خشک‌سالی را کاهش داده اما در تعدادی دیگر خشک‌سالی منجر به پیامدهای ناگواری گردیده آثار جبران‌ناپذیری وارد کرده است.              |

## مواد و روش‌ها

این پژوهش از نخستین مطالعاتی است که ضمن تحلیل اثرات و پیامدهای بحران آب در سطح کارآفرینی، راهبردهای کارآفرینان را نیز بررسی می‌کند. پژوهش از نظر نتیجه، کاربردی می‌باشد. باتوجه به ماهیت اکتشافی پژوهش، از روش پژوهش کیفی-مطالعه موردی استفاده شد. مطالعه موردی از دیگر روش‌های کیفی (نظریه داده بنیاد، روایت پژوهی، پدیدار شناسی و قوم‌نگاری و ...) به علت تمرکز ویژه و عمیق بر مورد به‌عنوان هدف مورد نظر خود متفاوت است. کرسول (۱۳۹۸) کانون تمرکز و هدف اصلی مطالعه موردی را مطالعه عمیق یک یا چند مورد یا مطالعه یک موضوع بحث‌انگیز از منظر مواردی خاص که پیچیدگی آن موضوع را نشان می‌دهد، می‌داند. Denzin و Lincoln (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند تفاوت بین روش‌های کیفی مختلف به این‌صورت است که هر روش، پرسش‌های خاص به خود دارد و اهداف خاصی را دنبال می‌کند. مطالعه موردی برای پاسخ‌گویی به سؤال‌هایی مانند چه، چرا و چگونه مناسب است (Meyer, ۲۰۰۱). در مطالعه موردی، پژوهشگر به طور دقیق، یک یا چند مورد کلیدی را انتخاب می‌کند تا به طور تحلیلی و مشروح، درباره آن مطالعه کند. مطالعه موردی زمانی استفاده می‌شود که بخواهیم درباره پدیده‌ای خاص در دنیای واقعی، دانشی عینی و عمیق به دست آوریم. بنابراین با توجه

به شرایط حاکم بر پژوهش از بین روش‌های مختلف، مطالعه موردی به‌عنوان استراتژی تحقیق انتخاب شود.

جامعه پژوهش، کسب‌وکارهای کارآفرینانه در سه استان فارس، هرمزگان و اصفهان و در زمینه فعالیت: کشاورزی، فراورده‌های غذایی، گردشگری، مواد معدنی و صنعتی و دامپروری که تحت تأثیر بحران آب قرار داشتند، می‌باشد. کسب‌وکار کارآفرینانه، واحد تحلیل پژوهش محسوب می‌شود. این پژوهش در بازه زمانی بهمن و اسفند ماه سال ۱۴۰۱ در سه استان مذکور مصاحبه‌های رودررو از نوع مصاحبه نیمه ساختاریافته با کارآفرینان (مالکان کسب‌وکارهای کارآفرینانه) تا حصول اشباع نظری انجام گرفت. علت انتخاب این سه استان علاوه بر دسترسی پژوهشگر، وقوع خشک‌سالی در این استان‌ها و امکان دسترسی به طیفی از کسب‌وکارهای کارآفرینانه می‌باشد. علاوه بر این، در پژوهش حاضر برای شناسایی کسب‌وکارهای کارآفرینانه از معیارهای معرفی شده توسط Vesper (۱۹۹۰) استفاده شد که این معیارها عبارتند از: معرفی کالاهای جدید، معرفی روش‌های جدید تولید، افتتاح بازارهای جدید، افتتاح منابع جدید تأمین و سازماندهی مجدد صنعتی. اگر هر یک از معیارهای فوق در اقدامات استراتژیک یک کسب‌وکار دیده شود، می‌توان آن کسب‌وکار را به‌عنوان یک کسب‌وکار کارآفرینی، طبقه‌بندی کرد. برای یافتن مشارکت‌کنندگان، از نمونه‌گیری هدفمند و گلوله برفی استفاده شد. اشباع نظری در نمونه ۱۱ حاصل شد که به‌منظور



ارتقاء پایایی تا ۱۳ مصاحبه ادامه یافت. تحلیل داده‌ها از طریق تحلیل محتوا انجام شد. برای افزایش اعتبار پژوهش و برای تعیین روایی و پایایی مطالعه از معیارهای اعتبار، انتقال‌پذیری، اطمینان‌پذیری و تاییدپذیری استفاده شد (Lincoln و Guba، ۱۹۹۴). برای ارزیابی پایایی کدگذاری‌های از ضریب درون موضوعی کاپا استفاده شد (Neuendorf، ۲۰۱۷). از طریق این ضریب، می‌توان میزان توافق دو اندازه‌گیری (توسط دو نفر یا دو ابزار یا در دو مقطع زمانی) را ارزیابی کرد. برای محاسبه پایایی کدگذاری‌ها در این پژوهش، از روش مقایسه توسط شخص دیگر استفاده شد. به این صورت که خبره دیگری به‌طور مستقل به تحلیل داده‌ها پرداخته و در نهایت مضمون‌ها و مقوله‌های ایجاد شده با شاخص‌ها و مفاهیم ایجاد شده توسط خبره مقایسه شد. در این پژوهش مقدار ضریب کاپای ۰/۸۲ به دست آمد که نشان‌دهنده اعتبارپذیری مطلوب کدگذاری‌ها می‌باشد.

## یافته‌ها

- **ویژگی‌های جمعیت‌شناختی:** مشارکت‌کنندگان شامل ۱۳ کارآفرین (مالک کسب‌وکارهای کارآفرینانه) از صنایع مختلف بودند که در بخش‌های کشاورزی، فراورده‌های غذایی، گردشگری، مواد معدنی و صنعتی و دامپروری مشغول به فعالیت هستند. متوسط سابقه فعالیت کسب‌وکارها ۸ سال و میانگین سن مصاحبه‌شوندگان نیز ۳۹ سال بود. ۶ مصاحبه‌شونده دارای تحصیلات کارشناسی، ۶ نفر کارشناسی ارشد و یک نفر دارای تحصیلات دکتری بود. ۶ کسب‌وکار مورد مطالعه در استان فارس، ۴ مورد در استان اصفهان و ۳ مورد نیز در استان هرمزگان مشغول به فعالیت می‌باشند.

- **اثرات بحران آب بر کسب‌وکار کارآفرینانه:** جدول زیر نتایج تحلیل محتوای کیفی بررسی اثرات بحران آب بر کسب‌وکارها را نشان می‌دهد.

جدول ۲- اثرات بحران آب بر کسب‌وکار کارآفرینانه

| مضمون                  | مقوله         | زیر مقوله                                                                                                | شواهد و نمونه‌هایی از متن مصاحبه                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| زنجیره تأمین منابع     | منابع آبی     | کمبود آب؛ کاهش کیفیت آب؛ افزایش هزینه تأمین آب                                                           | مصاحبه‌شونده شماره (۹): در کارخانه فقط فحطی آب است در روزهای فصل تولید چون تابستان است هفته‌ای دو سه روز آب قطع می‌شود.                                                                                                                                                                                 |
|                        | مواد اولیه    | کاهش مواد اولیه؛ کاهش کیفیت مواد اولیه؛ افزایش قیمت مواد اولیه؛ ایجاد زمینه برای افزایش مواد اولیه مقاوم | مصاحبه‌شونده شماره (۸): اگر بحران آب باشد بار محصولات کمتر می‌شود و کیفیت خرما هم مطلوب نیست چون خشک است و فقط تفاله دارد.                                                                                                                                                                              |
| زنجیره تولید           | محصول و خدمات | کاهش کیفیت محصولات؛ تأثیرگذاری بر انتخاب نوع محصول                                                       | مصاحبه‌شونده شماره (۶): گیاه به دلیل شوری آب عمر پایین‌تری دارد، به طوری که به جای محصول دهی در طول شش ماه به چهار ماه کاهش می‌یابد.                                                                                                                                                                    |
|                        | فرایند        | کاهش تولید؛ اختلال در فرایند تولید؛ افزایش هزینه‌های فرایند تولید                                        | مصاحبه‌شونده شماره (۲): چون بسیاری از دره‌ها مثلاً دره نئون [نیان] خشک شده است ما نمی‌توانیم تیمی به آنجا ببریم و تعداد بازدید از آندره صفر شده است.                                                                                                                                                    |
| دارایی‌ها /عوامل تولید | دارایی‌ها     | بلااستفاده ماندن دارایی‌های ثابت؛                                                                        | مصاحبه‌شونده شماره (۴): یک کشاورز از ۱۰۰ هکتار زمین مقدار کمی سود کسب می‌کرد و به آن راضی بود و به هیچ‌عنوان کشاورزان راضی نمی‌شدند گیاهان دارویی کشت کنند گیاهانی که مصرف آب کمی دارند. اما بعد از وقوع خشک‌سالی و کم شدن آب‌های زیرزمینی و چاه‌ها برای کشاورزان به صرفه نبود که کشت سنتی انجام بدهند. |
|                        | عوامل تولید   | افزایش هزینه‌های عوامل تولید (نهادها)                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

یافته‌ها نشان می‌دهد بحران آب با تأثیر بر دو مرحله زنجیره ارزش یعنی "زنجیره تأمین" و "زنجیره تولید"، بر کسب‌وکار کارآفرینانه تأثیر داشته است. اما مرحله "توزیع" تحت تأثیر این بحران قرار نداشته است. دلیل این موضوع می‌تواند به ماهیت خشکسالی برگردد که برخلاف سایر تغییرات اقلیمی اثرات آن نمود فیزیکی ملموس نداشته و به زیرساخت‌های فیزیکی آسیب فوری نمی‌رساند. به‌طور کلی تمامی بنگاه‌های فعال در صنایع غذایی به دلیل وابستگی شدید به مواد اولیه و به خصوص مواد اولیه کشاورزی، بیشتر از سایر بخش‌ها در مرحله زنجیره تأمین تحت تأثیر بوده‌اند و در

مقابل بخش‌های کشاورزی و گردشگری به دلیل قرار گرفتن در خط اول خشک‌سالی و تأثیرات مستقیم و عدم نیاز به مواد اولیه بیشتر در مرحله تولید دچار مشکل بوده و به‌جز کمبود آب مشکلی در زنجیره تأمین نداشته‌اند. همچنین بنگاه‌های فعال در بخش معدنی و صنعتی به دلیل عدم وابستگی مواد اولیه به آب و در مقابل، نیاز به میزان زیاد آب در فرایند تولید، بیشتر در این مرحله تحت تأثیر بحران آب بوده‌اند و در نهایت بنگاه‌های حاضر در صنعت دامداری براساس اندازه و نوع محصولات و میزان وابستگی به مواد اولیه، به میزان متفاوتی تحت تأثیر بحران آب در زنجیره تأمین قرار داشتند.

زنجیره تأمین شامل دو مقوله منابع آبی و مواد اولیه می‌باشد. خشک‌سالی از طریق: ۱- کمبود، ۲- کاهش کیفیت، ۳- افزایش هزینه تأمین، منابع آبی بنگاه‌ها را تحت تأثیر قرار داده است که تمامی این اثرات منفی هستند.

مقدار و کیفیت مواد اولیه مورد نیاز بنگاه‌ها نیز بر اثر خشک‌سالی کاهش یافته است و در نتیجه کمبود مواد اولیه قیمت آن نیز افزایش یافته است. اما در این بخش نکته قابل توجه فرصت مثبتی است که با وقوع بحران آب برای بنگاه‌ها به وجود آمده است یعنی با وقوع خشک‌سالی زمینه تولید برخی از مواد اولیه مقاوم به کم‌آبی و مورد نیاز بنگاه‌ها مهیا شده است. این نکته نشان می‌دهد تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی می‌تواند اثرات مثبتی نیز به همراه داشته باشد.

در مرحله زنجیره تولید نتایج نشان داد خشک‌سالی بر محصولات، فرایند و دارایی‌های بنگاه‌ها، اثرات منفی به شرح زیر داشته است: - **محصولات:** تقریباً در تمام بنگاه‌ها، بحران آب باعث کاهش کیفیت محصولات شده است که این هم به تأثیرات زنجیره تأمین یعنی کاهش کیفیت مواد اولیه و هم به ایجاد اختلال در فرایند تولید برمی‌گردد. از طرفی همین موضوع در انتخاب محصولات مقاوم به

بحران آب مؤثر بوده و باعث می‌شود کارآفرینان محصولات دیگری را جایگزین محصولاتی کند که کیفیت آن کاهش یافته است.

- **فرایند:** بحران آب بر فرایند تولید بنگاه‌ها نیز تأثیر منفی دارد. کاهش تولید، ایجاد توقف و اختلال در فرایند تولید و افزایش هزینه‌های تولید از جمله این اثرات هستند. اختلال در فرایند تولید به دلیل وابستگی زیاد فرایند تولید به آب می‌باشد که این اختلال، کاهش تولید و در نتیجه افزایش هزینه‌های تولید را به دنبال دارد. همچنین اثرات بیرونی خشک‌سالی یعنی کمبود مواد اولیه نیز باعث کاهش تولید و افزایش هزینه‌ها، می‌شود.

- **دارایی‌ها:** اثرات بحران آب بر دارایی‌ها، جزء اثرات اولیه این بحران بر بنگاه‌ها می‌باشد که خود اثرات بسیار دیگری برای بنگاه‌ها در پی دارد. بحران آب به خصوص کیفیت پایین آب باعث فرسودگی و از کار افتادگی ماشین آلات تولید می‌شود که هزینه تولید را بالا می‌برد و سود نهایی را کاهش می‌دهد.

#### - پاسخ‌های کارآفرینان به بحران آب

جدول (۳) راهبردهای کارآفرینانه مدیریت بحران آب را نشان می‌دهد.

جدول ۳- راهبردهای مواجهه با بحران آب در کسب‌وکار کارآفرینانه

| مضمون             | مقوله                      | زیر مقوله                                                                       | مصادیق و نمونه‌هایی از متن مصاحبه                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| متنوع سازی        | تنوع محصول و خدمات         | معرفی محصول جدید به بازار؛ تولید محصول جدید مقاوم به خشک‌سالی                   | مصاحبه‌شونده شماره ۹: یکی از محصولاتی که به چرخه تولیداتمان اضافه کردیم میوه "سه پستان" است. این محصول در ابتدا ناشناخته بود و حتی وزارت بهداشت پروانه صادر نمی‌کرد. چون جنبه دارویی داشت گفتند نمی‌شود.                                                                                                                        |
|                   | تنوع تأمین                 | تأمین مواد اولیه از سایر نقاط جغرافیایی؛ جایگزینی مواد اولیه جدید با مواد کمیاب | مصاحبه‌شونده شماره ۶: قبلاً می‌توانستیم ذرت را از جهرم تهیه کنیم، اما حالا به علت خشک‌سالی از شهر دیگر مثل دزفول می‌خریم.                                                                                                                                                                                                       |
| قراردادهای همکاری | قرارداد ظرفیت خالی         | عقد قرارداد با سایر شرکت‌های تولیدی نزدیک به مواد اولیه                         | مصاحبه‌شونده شماره ۱۳: کاری که ما انجام دادیم این بود که با یک واحد تولیدی در یکی از شهرهای جنوبی توافق کردیم و یک مقدار از کارمان را آنجا بردیم.                                                                                                                                                                               |
|                   | قرارداد پایداری سازی تأمین | عقد قرارداد جامع با تأمین‌کنندگان؛ قرارداد با تأمین‌کنندگان متعدد               | مصاحبه‌شونده شماره ۵: خودمان را وابسته به یک تأمین‌کننده نمی‌کنیم تا از تأمین نمک در زمان‌هایی که نیاز داریم مطمئن شویم.                                                                                                                                                                                                        |
| اصلاح فرایندها    | بهبود فرایند به‌کارگیری آب | خرید آب؛ ذخیره و استفاده مجدد از آب                                             | مصاحبه‌شونده شماره ۷: یکی از راه‌ها هم خرید آب با تانکر است که بعضی وقت‌ها این کار را انجام می‌دهیم. / مصاحبه‌شونده شماره ۱۱: ما مستقیم آب رو الان از آب چاه‌های اطراف می‌خریم به‌صورت تانکری. / مصاحبه‌شونده شماره ۱: با کمبود آب روبه‌رو شدیم. به همین دلیل اومدیم آب را خریدیم چون وقتی آب نباشد از کجا باید تولید می‌کردیم؟ |
|                   | بهبود فرایند به‌کارگیری آب | بهبود کیفیت آب؛ به‌کارگیری ابزار و فرایندهای جدید برای کاهش مصرف آب             | مصاحبه‌شونده شماره ۶: آب شور تا چند سال پیش هیچ استفاده و اهمیتی نداشت، خشک‌سالی باعث شده که ما به فکر تبدیل آب شور به شیرین و بهره‌برداری از آن بیفتیم.                                                                                                                                                                        |
|                   | بهبود فرایند تولید محصول   | بازنگری فرایند تولید                                                            | مصاحبه‌شونده شماره ۲: تورهای ما معمولاً یک‌روزه بود اما برای اینکه به مکان‌های دور و شلوغ آمدم بسته‌های سفر دو روزه ارائه کردیم که شب هم در آنجا بمانیم.                                                                                                                                                                        |

چنانچه ملاحظه می‌شود راهبردهای مدیریت بحران در دو مرحله تأمین و تولید، و در دو سطح بیرونی و درونی بنگاه بوده است. **الف) متنوع‌سازی:** "متنوع‌سازی" هم در سطح تولید و هم در سطح تأمین صورت گرفته است. یعنی مقوله متنوع‌سازی محصول پاسخی درون‌سازمانی و مقوله متنوع‌سازی تأمین پاسخی بیرون‌سازمانی/بین‌سازمانی بوده است. یکی از پرتکرارترین پاسخ‌ها به کمبود مواد اولیه، تأمین مواد از سایر نقاط جغرافیایی می‌باشد. در نتیجه اثرات منفی خشکسالی بر کیفیت محصول، کارآفرینان از دو طریق: ۱- معرفی محصولات جدید و ۲- تولید محصولات غیرحساس به آب، اقدام به متنوع‌سازی محصولات کرده‌اند. این موضوع نشان‌دهنده تقویت خلاقیت در بنگاه‌ها در شرایط خشکسالی بوده و باعث افزایش تاب‌آوری کسب و کارهای کارآفرینانه شده است. امری که در بلندمدت ضمن توسعه کسب و کار، به واسطه حفظ منابع آبی می‌تواند تاب‌آوری و پایداری جامعه پیرامونی را نیز ارتقاء بخشد.

**ب) قراردادهای:** استراتژی "قراردادهای" استراتژی‌های برون‌سازمانی می‌باشد که به دلیل کمبود مواد اولیه از طریق قراردادهای ظرفیت خالی با سایر تولیدکننده‌ها و/یا قراردادهای جامع با تأمین‌کنندگان مواد اولیه دنبال می‌شود. کارآفرینان اقدام به انعقاد قراردادهای استفاده از ظرفیت خالی با سایر بنگاه‌های حاضر در بازار که مواد اولیه را به اندازه کافی در دسترس داشته و ظرفیت خالی تولید دارند، می‌کنند. در اقدامی دیگر، برای اطمینان از تأمین و پایداری مواد اولیه مورد نیاز، اقدام به عقد قراردادهای جامع همکاری با تأمین‌کنندگان و همچنین قرارداد با تأمین‌کنندگان متعدد کرده‌اند. در قراردادهای جامع، بنگاه‌ها با حمایت مالی، اعمال نظارت و قراردادهای بلندمدت با تأمین‌کنندگان سعی دارند پایداری تأمین مواد اولیه در

شرایط بحران را افزایش دهند. علاوه‌براین با انعقاد قرارداد با تأمین‌کنندگان متعدد در نقاط جغرافیایی مختلف، سعی در کاستن قیمت مواد اولیه و تأمین مواد با کیفیت دارند.

**ج) اصلاح فرایندها:** "اصلاح فرایندها"، اقدامات درون کسب‌وکار به‌منظور رفع اثرات درونی بحران آب و بهبود فرایند تولید محصول است. بنگاه‌ها با تغییر و بهبود فرایندهای تولید و فرایندهای تأمین و به‌کارگیری آب سعی کرده‌اند اثرات خشکسالی بر این مرحله را کاهش دهند. در بهبود فرایندهای تولید، کارآفرینان با تغییر روندهای تولید سنتی خود سعی در سازگاری با این بحران کرده‌اند. تغییراتی از قبیل تغییر در ترتیب یا میزان استفاده منابع تولید، و تغییرات زمان‌بندی استفاده از آب از این جمله‌اند. از طرفی، اولین و ملموس‌ترین اثر بیرونی خشکسالی بر بنگاه‌ها ایجاد اختلال در تأمین آب مورد نیاز می‌باشد. بنگاه‌ها با خرید آب که پاسخی بیرون‌سازمانی است و فرایندهای ذخیره‌سازی و بهبود به‌کارگیری آب در داخل بنگاه به این اثر پاسخ می‌دهند. همچنین نتایج تحلیل داده‌های مصاحبه‌های انجام گرفته نشان می‌دهد کسب‌وکارها با این روش‌های نوآورانه توانسته‌اند ابزارها و فرایندهای جدید برای کاهش مصرف آب به‌کار گیرند تا کاراتر از آب موجود استفاده کنند. همچنین تلاش کرده‌اند تا با به‌کارگیری برخی روش‌ها کیفیت آب در دسترس را نیز بهبود بخشند.

#### - تأثیرات پاسخ‌های کارآفرینان بر عملکرد

باتوجه‌به سؤال سوم پژوهش «راهبردهای بحران آب اتخاذ شده توسط کسب‌وکار کارآفرینانه چه پیامدهایی بر عملکرد داشته است؟» داده‌های به‌دست‌آمده از مصاحبه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول ۴).

جدول ۴- اثرات راهبردهای کسب‌وکارهای کارآفرینانه بر عملکرد

| مضمون        | مقوله             | زیر مقوله                                                                            | مصادیق و نمونه‌هایی از متن مصاحبه                                                                                                                |
|--------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| عملکرد داخلی | عملکرد عملیاتی    | افزایش/کاهش هزینه‌ها؛ افزایش/کاهش کیفیت؛ به‌کارگیری ظرفیت‌ها؛ دسترسی پایدار به تأمین | مصاحبه شونده شماره ۹۱: دیگر نیازی به سم‌پاشی علف‌های هرز ندارم چون دیگر غرقابی نیست کیفیت محصول بهتر شده است.                                    |
|              | عملکرد مالی       | افزایش/کاهش فروش؛ افزایش/کاهش سود                                                    | مصاحبه شونده شماره ۱۳: از نظر کمی تقریباً ظرفیت تولیدمان یک دوم تا یک سوم شد؛ اما با افزایش قیمتی که دادیم توانستیم همان درآمد قبلی را کسب کنیم. |
| عملکرد خارجی | عملکرد اجتماعی    | کمک به تاب‌آوری جامعه؛ ایفای الگوی نقش                                               | مصاحبه شونده شماره ۵: این کار ما بر روی اشتغال نیز تأثیر دارد هر تن شیر خام تحویلی برای سه تا پنج نفر اشتغال مستقیم ایجاد می‌کند.                |
|              | عملکرد محیط‌زیستی | کاهش مصرف آب                                                                         | مصاحبه شونده شماره ۸: در این شهرک صنعتی [شهرک صنعتی شماره ۱ بندرعباس] فقط شرکت ما فضای سبزی دارد که به خاطر همین ذخیره آب باران است.             |

به‌طورکلی میزان مثبت یا منفی بودن پیامدهای عملکردی، به شدت اثرات خشکسالی و نوع پاسخ‌های کارآفرینان وابسته است، به‌طوری‌که اگر اثرات خشکسالی منفی و شدید بوده پاسخی که در برابر آن داده شده است معمولاً فقط برای حفظ بقاء و رفع پیامدهای منفی است. اما چنانچه اثرات خشکسالی نه چندان شدید و یا با جهتی مثبت بوده، آنگاه کارآفرینان توانسته‌اند با راهبردهای بهتر منجر به بهبود عملکرد بنگاه شوند. جدول (۴) نشان می‌دهد راهبردهای کارآفرینانه بحران آب مشتمل بر ۲ مضمون اصلی: عملکرد داخلی و عملکرد خارجی بوده و بر ۴ بُعد از عملکرد کسب‌وکارها مؤثر بوده است:

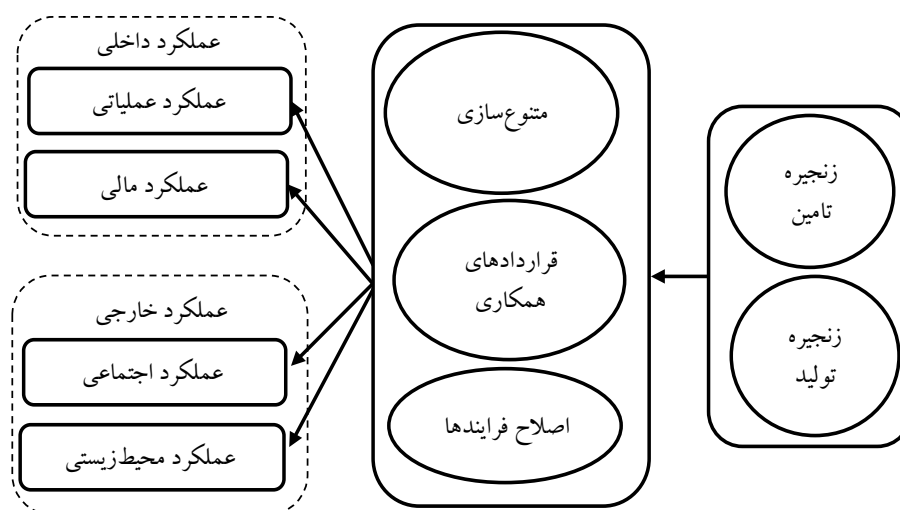
**الف) عملکرد عملیاتی:** متاثر از نوع پاسخ‌های داده شده و عوامل زمینه‌ای، بنگاه‌ها افزایش یا کاهش هزینه‌ها (شامل هزینه‌های فرایند تولید، سرمایه‌گذاری و حمل و نقل) و همچنین افزایش یا کاهش کیفیت محصول را تجربه نموده‌اند. حداکثرسازی استفاده از ظرفیت‌های فعالیت بنگاه، دسترسی پایدار به تأمین نیز از طریق کاهش هزینه‌ها، افزایش کیفیت و... منجر به بهبود عملکرد عملیاتی بنگاه شده است.

**ب) عملکرد مالی:** تأثیر اقدامات کارآفرینان بر عملکرد مالی بنگاه‌ها نیز از طریق افزایش یا کاهش فروش و سود نمایان می‌شود. به‌طوری‌که برخی از پاسخ‌ها و اقدامات باعث افزایش سود و بهبود

عملکرد مالی شده و در مقابل برخی اقدامات عملکرد منفی را به دنبال داشته‌اند. نکته قابل توجه در این بخش "افزایش قیمت" توسط بنگاه‌ها است. برخی از بنگاه‌ها حتی با وجود کاهش شدید تولید با افزایش قیمت میزان سود گذشته خود را حفظ کردند.

**ج) عملکرد اجتماعی:** در اینجا پاسخ کارآفرینان از دو طریق موجب بهبود عملکرد اجتماعی شده است: نخست از طریق ایفای نقش بنگاه در کمک به تاب‌آوری جامعه از طریق ایجاد اشتغال و بهبود شرایط اقتصادی جامعه پیرامون؛ دوم نیز ایفای الگوی نقش یعنی تبدیل شدن به الگویی برای سایر افراد، آشنایان و سایر کسب‌وکارها.

**د) عملکرد محیط‌زیستی:** برخی از اقدامات کارآفرینان برای پاسخ به اثرات بحران آب، موجب بهبود عملکرد محیط‌زیستی آن‌ها شده است. این امر هم در داخل و هم بیرون از بنگاه اتفاق افتاده است. در داخل بنگاه، کارآفرینان با اصلاح فرایندهای تأمین و به‌کارگیری آب توانسته‌اند مصرف آب را کاهش دهند و همچنین با استفاده مجدد از آب مصرفی، فضای سبز بنگاه خود را گسترش دهند. همچنین برخی بنگاه‌ها توانسته‌اند با تولید محصولات جدید و ترویج کشت برخی از مواد اولیه غیر حساس به آب، باعث کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی شوند. مدل حاصل از یافته‌های پژوهش در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- الگوی مدیریت بحران آب در کسب‌وکارهای کارآفرینانه

## بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد بحران آب بر دو سطح از زنجیره تامین کسب‌وکارها- تامین منابع و تولید- تأثیر می‌گذارد. اثرات منفی تامین منابع آب شامل: کاهش مقدار و کیفیت آب و مواد اولیه و همچنین افزایش قیمت آن‌ها بود. اما بحران آب زمینه‌ساز ایجاد مواد اولیه جایگزین بود که باعث بروز پیامدهای مثبت شد.

در مرحله تولید نیز بحران آب بر فرایند (اختلال در روند تولید و افزایش هزینه و همچنین کاهش تولید)، محصولات (کاهش کیفیت محصولات و تأثیر در انتخاب نوع محصول) و دارایی‌های بنگاه (خسارت به دارایی‌های فیزیکی و عوامل تولید) تأثیرات زیادی داشته است. مطالعات گذشته Weinhofer و Busch (۲۰۱۳) نشان داد حوادث اقلیمی بر هر سه مرحله زنجیره تامین تأثیرگذار است و باعث اختلال در آن‌ها می‌شود. با مقایسه نتایج

پژوهش‌های گذشته و پژوهش حاضر، ملاحظه می‌شود یک تفاوت عمده بین نتایج وجود دارد و آن "عدم تأثیر بحران آب بر مرحله توزیع" در این پژوهش است. از سوی دیگر اثرات تغییرات اقلیمی بر زنجیره تامین در پژوهش‌های پیشین و پژوهش حاضر تقریباً مشابه هستند. به عنوان مثال در تامین منابع در همه پژوهش‌ها، کیفیت و کمیت مواد اولیه کاهش یافته و در مرحله تولید آسیب دارایی‌های فیزیکی و اختلال در فرایند تولید موجب کاهش تولید شده است. همچنین در پژوهش حاضر خشکسالی با ایجاد زمینه برای تولید مواد اولیه جایگزین، اثری مثبت برای بنگاه‌ها داشته است. در پژوهش Busch و Weinhofer (۲۰۱۳) اثر مثبت تغییرات اقلیمی دیده می‌شود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد کسب‌وکارها با سه اقدام کلی "قراردادهای همکاری، متنوع‌سازی، اصلاح فرایندها" به اثرات بحران آب پاسخ دادند. جالب توجه این است که به جز پاسخ "قراردادهای همکاری"، که اقدامی رایج برای تأمین مواد اولیه و کمبود تولید است، دو پاسخ دیگر مبتنی بر نوآوری و خلاقیت کارآفرینان است. به عنوان مثال: اقدامات خلق محصول جدید و جایگزینی مواد اولیه جدید و همچنین به کارگیری فرایندهای جدید، از این دسته‌اند. می‌توان دسته‌بندی پاسخ‌های کسب‌وکارها در این پژوهش را مبتنی بر دیدگاه "درون‌سازمانی-بین‌سازمانی" دانست. ملاک دسته‌بندی این پاسخ‌ها نقطه اتکا بر عوامل داخل یا خارج از سازمان است. در همین راستا Jeswani و همکاران (۲۰۰۸)، در پژوهش خود دریافتند شرکت‌ها با دو گروه فعالیت‌های عملیاتی و فعالیت‌های مدیریتی به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای پاسخ می‌دهند. فعالیت‌های عملیاتی در دو گروه درون سازمانی (مانند جایگزینی تجهیزات با مصرف انرژی بالا با تجهیزات بهره‌وری انرژی، اصلاح فرآیندها، تشویق کارکنان برای اتخاذ ابتکاراتی برای کاهش مصرف انرژی و استفاده از سوخت‌های زیستی یا منابع انرژی تجدیدپذیر) و برون‌سازمانی (مانند ایجاد گروه‌های فن‌آوری و پیمان‌های تحقیقاتی با شرکت‌های دیگر، قرارداد با شرکت‌های دیگر، توافق با نهادهای نظارتی و مشارکت در فعالیت‌های داوطلبانه) صورت می‌گرفت. فعالیت‌های مدیریتی نیز در دو گروه مدیریت انرژی و محیط‌زیستی و مدیریت گازهای گلخانه‌ای انجام می‌شد. در زمینه خشکسالی نیز نتایج پژوهش Schwarzs و McRae Williams (۲۰۰۹)، با هدف اندازه‌گیری تاب‌آوری جوامع روستایی نشان داد استراتژی‌های سازگاری در سه سطح فردی، کسب‌وکار و جامعه وجود دارند و باعث مقابله با کمبود آب و در نتیجه تاب‌آوری اجتماعی شده است. استراتژی‌های به دست آمده در سطح کسب‌وکار شامل: ۱) شناسایی و پاسخگویی به نیازهای جامعه، ۲) کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری، ۳) ارائه خدمات ضروری برای مقابله با خشکسالی، ۴) توجه به کسب‌وکار به عنوان علاقه، نه به عنوان منبع درآمد و ۵) متنوع‌سازی کسب‌وکار، می‌باشند. همچنین در پژوهش Schwarzs

و McRae Williams (۲۰۰۹)، اقدامات سطح بنگاه، هم به بهبود شرایط جامعه و هم به بهبود عملکرد بنگاه منجر شده است. در پژوهش مذکور بر خلاف پژوهش حاضر، بنگاه‌ها به اصلاح فرایندها و قراردادهای همکاری به عنوان فعالیت‌های سازگاری با خشکسالی توجهی نداشته و شناسایی نیازهای جامعه را اقدامی مهمتر دانسته‌اند. اما دو اقدام متنوع سازی کسب‌وکار و ارائه محصولات متناسب با خشکسالی توسط آن‌ها را می‌توان متناظر با اقدام خلق محصول جدید و تولید محصولات مقاوم به کم‌آبی و به‌طورکلی پاسخ "متنوع سازی" در پژوهش حاضر دانست. در پژوهش حاضر پاسخ‌های کسب‌وکارها چهار سطح از عملکرد یعنی عملکرد عملیاتی، مالی، اجتماعی و محیط‌زیستی را تحت تأثیر قرار داده است. عملکرد عملیاتی از چهار طریق افزایش یا کاهش هزینه‌ها، افزایش یا کاهش کیفیت محصول، استفاده از تمامی ظرفیت‌های بنگاه و دسترسی پایدار به تأمین تحت تأثیر پاسخ بنگاه‌ها قرار می‌گیرد. تأثیر اقدامات کسب‌وکارها بر عملکرد مالی بنگاه‌ها نیز از طریق افزایش یا کاهش فروش و سود نمایان می‌شد. در این دو نوع عملکرد مذکور برخی از اثرات مثبت و برخی نیز منفی بوده‌اند. در عملکرد اجتماعی نیز پاسخ کسب‌وکارها به بحران آب از دو طریق (کمک به تاب‌آوری جامعه و ایفای الگوی نقش) صورت گرفته است. در نهایت برخی از اقدامات کسب‌وکارها برای پاسخ به اثرات بحران آب، موجب بهبود عملکرد محیط‌زیستی آن‌ها شده است. همانطور که مشخص است در عملکرد اجتماعی و محیط‌زیستی، پاسخ بنگاه‌ها اثرات مثبتی به همراه داشته است. در بیشتر مطالعات قبلی نیز اثرات پاسخ بنگاه‌ها به انتشار گازهای گلخانه‌ای بر عملکرد آن‌ها، مثبت بوده است. همچنین، نتایج برخی از پژوهش‌ها نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های زیست‌محیطی بنگاه‌ها بر درآمد است (Porter, ۱۹۹۵) و از طرفی برخی از مطالعات (Lee و Rhee, ۲۰۰۷) هیچ رابطه‌ای بین فعالیت‌های محیط‌زیستی و عملکرد بنگاه‌ها پیدا نکردند. به‌طورکلی پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه گازهای گلخانه‌ای و اقدامات محیط‌زیستی بوده است و در حوزه خشکسالی مطالعاتی برای تعیین اثرات پاسخ بنگاه‌ها بر عملکرد آن‌ها صورت نگرفته است. از آنجایی که نتایج این پژوهش نشان داد اقدامات کسب‌وکارهای کوچک می‌تواند پیامدهای مثبت اجتماعی و محیط‌زیستی بسیاری به همراه داشته باشد.

در ادامه پیشنهادهایی برای تأثیرگذاری کارکردی نظام سیاست‌گذاری بر کسب‌وکارهای کارآفرینانه برای مقابله با بحران آب، ارائه می‌شود:

- باتوجه به وجود محدودیت‌های مالی بنگاه‌های برای پاسخ به اثرات بحران آب، دولت می‌تواند با حمایت از این کسب‌وکارها و اعطای وام‌های بلند مدت و کم بهره، پاسخ‌های این کارآفرینان را توسعه دهند.

- استفاده از ماشین‌آلات و تکنولوژی‌های مناسب برای افزایش



کارایی مصرف آب اهمیت زیادی خواهد داشت و از آنجایی که بنگاه‌های کوچک منابع و دانش کافی را جهت ساخت یا خرید آن در اختیار ندارند، دولت می‌تواند با حمایت مالی و انتقال دانش، کسب و کارهای کارآفرینانه را به این ماشین آلات مجهز کند.

- دولت‌ها باید بر مجوزهای اعطا شده به کسب‌وکارها در مناطق متأثر از خشکسالی، نظارتی دقیق و تخصصی داشته باشند. به‌طوری‌که کسب‌وکارهای پرمصرف نباید در این مناطق فعالیت کنند.

- نتایج پژوهش نشان داد، بنگاه‌هایی که محصول آنها بیشتر تحت تأثیر بحران آب قرار دارد در واکنش به بحران محتاط‌تر عمل می‌کنند و صرفاً برای حفظ بقای خود تلاش کرده و از برنامه‌های توسعه خود باز می‌مانند، از این رو پیشنهاد می‌شود کارآفرینان با تنوع بخشیدن به محصولات پرهیز از تمرکز بر محصولات که مواد اولیه و فرایند تولید آن به آب بسیاری نیازمند است، می‌توانند اثرات بحران آب را کاهش دهند، تا به این صورت با اطمینان از بقای کسب‌وکار، به اقدامات فعالانه‌تری برای توسعه کسب‌وکار خود بپردازند.

- در نهایت بنگاه‌ها با تحقیق و توسعه مداوم در جهت بهبود فرایند تولید و ویژگی‌های محصول، همواره می‌تواند از طریق دستیابی به فرایندها و محصولات نوآورانه، اثرات بحران آب را بر بنگاه خود کاهش دهند.

- این پژوهش محدودیت‌هایی هم دارد. باتوجه به ماهیت کیفی پژوهش حاضر و انجام آن در مناطق جغرافیایی مشخص، پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده تاثیر عوامل زمینه‌ای را در مقیاس گسترده و متنوع‌تری مورد مطالعه قرار دهند. همچنین پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده، از روش آمیخته<sup>۲</sup> (ترکیبی از روش‌های تحقیق کمی و کیفی) استفاده نمایند. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های بعدی علاوه بر تبیین اثرات پاسخ‌های یک بنگاه بر عملکرد آن بنگاه، این تاثیرات بر عملکرد بنگاه‌های بالادست و پایین‌دست در یک اکوسیستم کارآفرینی را نیز مورد مطالعه قرار دهند.

#### پی‌نوشت‌ها

- ۱- این دره در شهرستان بندرعباس و بخش تخت و دهستان شمیل استان هرمزگان واقع می‌باشد
- 2-Cordia myxa (نام علمی)
- 3-Mix method

#### منابع

اسدزاده، عبدالله، طیار، سید حسن، و نودهی، فائزه. (۱۴۰۰). تأثیر هوش راهبردی بنگاه مادر بر اثربخشی راهبردهای احیا در توابع بحران‌زده، فصلنامه علمی پژوهشی توسعه کارآفرینی، ۱۴(۳)، ۴۰۰-۳۸۱  
doi: 10.22059/jed.2021.295789.653234

اسمعیل‌نژاد، مرتضی، و پودینه، محمدرضا. (۱۳۹۶). ارزیابی سازگاری با تغییرات اقلیمی در مناطق روستایی جنوب خراسان جنوبی. مخاطرات محیط‌طبیعی، ۶(۱۱)، ۸۵-۱۰۰.

doi: 10.22111/jneh.2017.3052

اکبری، محمدرضا، رضوان‌فر، احمد، و علی‌بیگی، امیر. (۱۳۹۵). تحلیل رفتار کارآفرینانه کشاورزان در مواجهه با تغییر اقلیم (شواهدی از بخش‌های کامفیروز و کر استان فارس). فصلنامه علمی پژوهشی توسعه کارآفرینی، ۹(۳)، ۴۱۴-۳۹۷

doi: 10.22059/jed.2016.60122

فعله‌کری، زهره. (۱۴۰۰). واکاوی چالش‌های کارآفرینی سبز با رویکرد بحران: دفع پسماندهای خانگی و پسماندهای ره‌اشده در سطح شهر ماسک، دستکش و دستمال کاغذی مورد استفاده در بحران کرونا. نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین در مدیریت و حسابداری، ۵(۶۱)، ۱۹-۳۹.

<https://majournal.ir/index.php/ma/article/view/785>

زرین، آذر. و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات اقلیم بر امنیت آبی در ایران. آب و توسعه پایدار، ۱(۱۰)، ۳۷-۴۴

doi: 10.22067/jwsd.v10i1.2301-1210

کاظمی ثانی عطاالله، م. (۱۳۹۴). ارزیابی اثربخشی استراتژی‌های مقابله‌ای کشاورزان در برابر خشکسالی. دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۵(۲)، ۱۱۸-۱۰۹. <http://dorl.net/dor/20.1001>

1.23225955.1394.5.2.2.5

کرسول، جان. (۱۳۹۸). پویش کیفی و طرح پژوهش. ترجمه حسن دانایی‌فرد و حسین کاظمی. نشر صفار. چاپ چهارم. تهران، ایران. منوچهری راد، رضا، زندحسامی، حسام، و داوری، علی. (۱۳۹۹).

سازگارپذیری یا پیشگامی: تحلیلی از انتخاب راهبرد مناسب تاب‌آوری سازمانی بر اساس ظرفیت و کیفیت نهادی محیطی درک شده. مدیریت نوآوری، ۹(۲)، ۳۱-۱. <https://dorl.net/dor/2>

0.1001.1.23225386.1399.9.2.1.1

Atehmengo, N., Idika, I. K., Shehu, A., & Ibrahim, R. (2014). Climate Change/Global Warming and Its Impacts on Parasitology/Entomology. The Open Parasitology Journal, 5(1), 1-11. doi: 10.2174/1874421401405010001

Bouzarjomehry, K., & Javanshiri, M. (2015). Identify in Indigenous Knowledge and its Application in Rural Crisis. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 5(8), 256 - 263.

Bullough, A., Renko, M., & Myatt, T. (2014). Danger Zone Entrepreneurs: The Importance of Resilience and Self-Efficacy for Entrepreneurial Intentions. Entrepreneurship Theory and Practice, 38(3), 473-499. doi: 10.1111/etap.12006

- Kuijpers, F. M., & Eijdenberg, E. L. (2021). Showcasing Entrepreneurs' Responses to Severe Drought: Qualitative Findings from Cape Town, South Africa. *Economic Effects of Natural Disasters*, 131-146. doi: [10.1016/B978-0-12-817465-4.00009-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817465-4.00009-1)
- Kyrö, P. (2015). To grow or not to grow? Entrepreneurship and sustainable development Handbook of Entrepreneurship and Sustainable Development Research. Edward Elgar Publishing. Cheltenham, United Kingdom.
- Lee, S. Y. (2012). Corporate carbon strategies in responding to climate change. *Business Strategy and the Environment*, 21(1), 33-48. <https://doi.org/10.1002/bse.711>
- Lee, S. Y., & Rhee, S. K. (2007). The change in corporate environmental strategies: a longitudinal empirical study. *Management Decision*, 45(2), 196-216. doi: [10.1108/00251740710727241](https://doi.org/10.1108/00251740710727241)
- Lee, S.-Y., & Ahn, Y.-H. (2019). Climate-entrepreneurship in response to climate change: Lessons from the Korean emissions trading scheme (ETS). *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 11(2), 235-253. doi: [10.1108/IJCCSM-09-2017-0177](https://doi.org/10.1108/IJCCSM-09-2017-0177)
- Linnenluecke, M., & Griffiths, A. (2010). Beyond adaptation: resilience for business in light of climate change and weather extremes. *Business & Society*, 49(3), 477-511. doi: [10.1177/0007650310368814](https://doi.org/10.1177/0007650310368814)
- Linnenluecke, M. K., Stathakis, A., & Griffiths, A. (2011). Firm relocation as adaptive response to climate change and weather extremes. *Global environmental change*, 21(1), 123-133. doi: [10.1016/j.gloenvcha.2010.09.010](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.09.010)
- Linnenluecke, M. K., & McKnight, B. (2017). Community resilience to natural disasters: the role of disaster entrepreneurship. *Journal of Enterprising Communities: People and Places in the Global Economy*, 11(1), 166-185. doi: [10.1108/JEC-01-2015-0005](https://doi.org/10.1108/JEC-01-2015-0005)
- Maritz, A., Perenyi, A., de Waal, G., & Buck, C. (2020). Entrepreneurship as the Unsung Hero during the Current COVID-19 Economic Crisis: Australian Perspectives. *Sustainability*, 12(11), 4612. doi: [10.3390/su12114612](https://doi.org/10.3390/su12114612)
- Buranatrakul, T., & Swierczek, F. W. (2018). Climate change strategic actions in the international banking industry. *Global Business Review*, 19(1), 32-47. doi: [10.1177/0972150917713371](https://doi.org/10.1177/0972150917713371)
- Choongo, P., Eijdenberg, E. L., Lungu, J., Chabala, M., Taylor, T. K., & Masurel, E. (2021). The Influence of Environmental Pollution and Drought on the Satisfaction with Life of Entrepreneurs in Zambia's Mining Sector. *Economic Effects of Natural Disasters*, 147-160. doi: [10.1016/B978-0-12-817465-4.00010-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817465-4.00010-8)
- Daka, E., & Siad, S. (2022). Entrepreneurship and the innovation ecosystem policy: A case study in post-conflict Somalia. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 14(2), 577-584. doi: [10.1080/20421338.2021.1879349](https://doi.org/10.1080/20421338.2021.1879349)
- De Abreu, M. C. S., de Freitas, A. R. P., & Rebouças, S. M. D. P. (2017). Conceptual model for corporate climate change strategy development: Empirical evidence from the energy sector. *Journal of cleaner production*, 165, 382-392. doi: [10.1016/j.jclepro.2017.07.133](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.133)
- Denzin, N.K., & Lincoln, Y.S. (2005). *The Sage Handbook of Qualitative Research*. Sage Publications, Thousand Oaks, California.
- Gasbarro, F., & Pinkse, J. (2016). Corporate adaptation behaviour to deal with climate change: the influence of firm-specific interpretations of physical climate impacts. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 23(3), 179-192. <https://doi.org/10.1002/csr.1374>
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. *Handbook of qualitative research*, 2(163-194), 105, Sage Publications, Thousand Oaks, California.
- Jeswani, H. K., Wehrmeyer, W., & Mulugetta, Y. (2008). How warm is the corporate response to climate change? Evidence from Pakistan and the UK. *Business Strategy and the Environment*, 17(1), 46-60. doi: [10.1002/bse.569](https://doi.org/10.1002/bse.569)
- Kilimani, N., van Heerden, J., Bohlmann, H., & Roos, L. (2018). Economy-wide impact of drought induced productivity losses. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 27(5), 636-648. doi: [10.1108/DPM-05-2018-0155](https://doi.org/10.1108/DPM-05-2018-0155)

- Schaltegger, S., & Wagner, M. (2011). Sustainable entrepreneurship and sustainability innovation: categories and interactions. *Business Strategy and the Environment*, 20 (4), 222-237. doi: [10.1002/bse.682](https://doi.org/10.1002/bse.682)
- Schumpeter, J. A. (2017). *Theory of economic development*. Routledge: London Schwarz, I., & McRae. Florence, Italy.
- Taylor, M, A.P. (2020). *Climate Change Adaptation for Transportation Systems: Adapting for Climate Change and Extreme Weather Impacts*, Publisher: Elsevier. Amsterdam, Netherlands. doi: [10.1016/C2018-0-00205-4](https://doi.org/10.1016/C2018-0-00205-4)
- Vesper, K. H. (1990). *New venture strategies*. University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for entrepreneurial leadership historical research reference in entrepreneurship, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1496217>. University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship, Posted: 4 Nov 2009.
- Weinhofer, G., & Busch, T. (2013). Corporate strategies for managing climate risks. *Business Strategy and the Environment*, 22(2), 121-144. doi: [10.1002/bse.1744](https://doi.org/10.1002/bse.1744)
- Wilbanks, T. J., Lankao, P. R., Bao, M., Berkhout, F., Cairncross, S., Ceron, J.-P., & Zapata-Marti, R. (2007). *Industry, settlement and society Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 357-390): Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Williams, P. (2009). Water reform and the resilience of small business people in drought-affected agricultural communities. *Rural Society*, 19(3), 199-210. doi: [10.5172/rsj.19.3.199](https://doi.org/10.5172/rsj.19.3.199)
- Martin, A. (1982). Additional aspects of entrepreneurial history. In C. A. Kent, D. L. Sexton, and K. H. Vesper (Eds.), *Encyclopedia of Entrepreneurship*. Englewood Cliffs, New Jersey. N.J.: Prentice-Hall, 15-19.
- McKnight, B., & Linnenluecke, M. K. (2019). Patterns of firm responses to different types of natural disasters. *Business & Society*, 58(4), 813-840. doi: [10.1177/0007650317698946](https://doi.org/10.1177/0007650317698946)
- Meinel, U., & Abegg, B. (2017). A multi-level perspective on climate risks and drivers of entrepreneurial robustness-Findings from sectoral comparison in alpine Austria. *Global environmental change*, 44, 68-82. doi: [10.1016/j.gloenvcha.2017.03.006](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.03.006)
- Meinel, U., & Höferl, K.-M. (2017). Non-adaptive behavior in the face of climate change: First insights from a behavioral perspective based on a case study among firm managers in alpine Austria. *Sustainability*, 9(7), 1132. doi: [10.3390/su9071132](https://doi.org/10.3390/su9071132)
- Meyer, Ch, B. (2001). A Case in Case Study Methodology. *Field Methods*, 13 (4), 329-352. doi: [10.1177/1525822X0101300402](https://doi.org/10.1177/1525822X0101300402)
- Molen, M. K., Dolman, A. J., Ciais, P., Eglin, T., Gubron, N., Law, B. E., Reichstein, M. (2011). Drought and ecosystem carbon cycling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(7), 765-773. doi: [10.1016/j.agrformet.2011.01.018](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.01.018)
- Neuendorf, K. (2017). *The content analysis guidebook* (Second ed.). SAGE Publications, Inc. United States of America. doi: [10.4135/9781071802878](https://doi.org/10.4135/9781071802878)
- Porter, M. E. (1995). Van der Linde (1995). Green and competitive: ending the stalemate. *Harvard business review*, 73(5), 120-134. doi: [0.1016/0024-6301\(95\)99997-e](https://doi.org/0.1016/0024-6301(95)99997-e)
- Rivera, J., & Clement, V. (2019). Business adaptation to climate change: American ski resorts and warmer temperatures. *Business Strategy and the Environment*, 28(7), 1285-1301. doi: [10.1002/bse.2316](https://doi.org/10.1002/bse.2316)
- Savari, M., & Shokati Amghani, M. (2022). SWOT-FAHP-TOWS analysis for adaptation strategies development among small-scale farmers in drought conditions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 67, 102695. doi: [10.1016/j.ijdr.2021.102695](https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102695)

## Paradigmatic Pattern of Cultural Resilience in Zayandehrud Water Shortage Crisis

M. Raoufi Boroujeni<sup>1\*</sup>, S. Korangbeheshi<sup>2\*</sup>, A. Rashidpour<sup>3</sup>

1, 2, 3- Ph.D. Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Cultural Management, Islamic Azad University, Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran.

\*(Corresponding Author Email: Sk.beheshti@khuif.ac.ir)

Received: 09-12-2023

Revised: 11-04-2024

Accepted: 22-04-2024

Available Online: 09-06-2024

## الگوی پارادایمی تاب‌آوری فرهنگی در بحران کم‌آبی زاینده‌رود

مجید رئوفی بروجنی<sup>۱</sup>، سیامک کورنگ بهشتی<sup>۲</sup>، علی رشیدپور<sup>۳</sup>

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار، گروه مدیریت فرهنگی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

\*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Sk.beheshti@khuif.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۳

### Abstract

So far, many researches have been conducted in various fields of the water shortage crisis, mostly in environmental and economic fields, and in a few of them, attention has been paid to the influence of cultural elements as a moderating factor of the effects of this crisis. The present research has been formed to provide a paradigmatic pattern of cultural resilience in the water shortage crisis of Zayandehrud, which was carried out using a qualitative method and grounded theory approach. Using theoretical sampling and the snowball method, the number of 24 people who were interested and concerned in the field of water shortage issues and had sufficient information, experience, or knowledge in this field were selected and during the in-depth interview Semi-structured, they expressed their answers. Data analysis was done with the Colaizzi method in the framework of grounded theory. The Lincoln and Goba evaluation method was used to validate the research, and the validity of the data was confirmed by going back to the interviewees and two coders. The findings were 22 categories, "accepting the phenomenon of water shortage as a reality" as the pivotal phenomenon, 3 categories of causal condition (sufficient information, water literacy, communication) 4 categories of contextual condition (hope, religious beliefs, attachment to the residence, economic dependence) 5 categories of intervening condition (trust, pragmatism, attitude, social responsibility, collective cooperation) 5 interaction strategy (change in habits of oneself and others, participation, prevention, saving) and 4 categories of consequences (productivity, entrepreneurship, creativity and awareness) were categorized.

**Keywords:** Cultural Resilience, Water Shortage, Social Responsibility, Collective Cooperation.

### چکیده

تاکنون تحقیقات متعددی در زمینه‌های مختلف بحران کم‌آبی انجام شده است که اکثراً در زمینه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی بوده است و در تعداد کمی از آنها به تأثیر عناصر فرهنگی به عنوان عامل تعدیل‌کننده آثار این بحران، توجه شده است. پژوهش حاضر با هدف ارائه یک الگوی پارادایمی از تاب‌آوری فرهنگی در بحران کم‌آبی زاینده‌رود، شکل گرفته است که به روش کیفی و با رویکرد داده بنیاد انجام شده است. با استفاده از نمونه‌گیری نظری و به روش گلوله برفی، تعداد ۲۴ نفر از افراد که ضمن علاقه‌مندی و داشتن دغدغه در زمینه مسائل مربوط به کم‌آبی، دارای اطلاعات، تجربه و یا دانش کافی در این زمینه بودند، انتخاب شدند و در طول مصاحبه عمیق نیمه‌ساختاریافته، پاسخ‌های خود را بیان کردند. تجزیه و تحلیل داده‌ها، با روش کلایزی در چارچوب نظریه زمینه‌ای انجام شد. از روش ارزیابی لینکولن و گوبا جهت اعتبارسنجی پژوهش استفاده شد. اعتبار داده‌ها با بازگشت به مصاحبه‌شوندگان و دو کدگذار تأیید شد. یافته‌های پژوهش، ۲۲ مقوله بود که «پذیرش پدیده کم‌آبی به عنوان یک واقعیت» به عنوان مقوله محوری، ۳ مقوله شرایط علی (اطلاعات کافی، سواد آبی، ارتباطات)، ۴ مقوله شرایط زمینه‌ای (امیدواری، اعتقادات مذهبی، دلبستگی به سکونت‌گاه، وابستگی اقتصادی)، ۵ مقوله شرایط مداخله‌ای (اعتماد، عمل‌گرایی، طرز تلقی، مسئولیت اجتماعی، همکاری جمعی)، ۵ مقوله راهبردها (تغییر در عادت‌واره‌های خود و دیگران، مشارکت، پیشگیری، صرفه‌جویی) و ۴ مقوله پیامدها (بهره‌وری، کارآفرینی، خلاقیت و آگاهی) دسته‌بندی شدند.

**واژه‌های کلیدی:** تاب‌آوری فرهنگی، کم‌آبی، مسئولیت اجتماعی، همکاری جمعی.

| نوع تاب‌آوری فرهنگی | حوزه                              |
|---------------------|-----------------------------------|
| فردی                | ذهنی - عاطفی، رفتاری - محیطی      |
| رابطه‌ای - بین فردی | عاداتی - خانوادگی، اخلاقی         |
| اجتماعی             | قبیله‌ای - سنتی، مذهبی - معنوی    |
| سازمانی - عملیاتی   | فنی - صنعتی، مالی - مدیریتی       |
| ملی - سیاسی         | اجتماعی - عرفی، ژئوپلیتیک - دولتی |
| جهانی - بین‌المللی  | تک فرهنگی، چند فرهنگی، فرافرهنگی  |

آنچه در سال‌های اخیر به عنوان یکی از جدی‌ترین معضلات بر سر راه رونق و توسعه شهری و روستایی قرار گرفته است، بروز و استمرار خشکسالی‌هایی است که همراه با سوءمدیریت منابع کمیاب، معضل کم‌آبی و خشکسالی را به بحرانی اساسی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل کرده و پایداری حیات اقتصادی و اجتماعی بسیاری از شهرها و روستاها را با مخاطره جدی مواجه کرده است (امینی فسخودی و میرزایی، ۱۳۹۲). رودخانه زاینده‌رود در مرکز اصفهان با پارک حاشیه اطراف آن به طول تقریبی ۱۵ کیلومتر و عرض ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر، یکی از مجموعه‌های زیست‌محیطی مشهور بوده است (مروج تربیتی و پورناداری، ۱۳۹۲) که در چند سال اخیر، به دلایل مختلف از جمله برداشت‌های بی‌رویه و غیراصولی و تصمیمات غیرکارشناسانه و غیرقانونی، با کم‌آبی و بحران مواجه شده است (فائق و نوابخش، ۱۳۹۵). بیش از یک دهه از قطع جریان دائمی رودخانه زاینده‌رود که از میان شهر اصفهان عبور می‌کرد، می‌گذرد و این امر موجب ایجاد رفتارهای تاب‌آورانه افراد در بهره‌برداری و مصرف آب نسبت به سال‌های پیش از آن، شده است. با توجه به استمرار این بحران، بررسی چرایی و چگونگی این تاب‌آوری و پرداختن به ابعاد مختلف آن به منظور استفاده از تمامی ظرفیت‌های موجود جامعه برای از سر گذراندن بحران آب و یادگیری از آن در سایر زمینه‌ها ضرورتی انکارناپذیر است. در اکثر مطالعات مربوط به تاب‌آوری، تاب‌آوری فرهنگی به عنوان زیرمجموعه‌ای از تاب‌آوری اجتماعی قلمداد شده است که با توجه به نقش پررنگ فرهنگ در رفتار فردی و اجتماعی افراد، لازم است تا نگاهی تخصصی‌تر و عمیق‌تر به این بعد از تاب‌آوری شود. ازسوی دیگر، اگرچه تاکنون تحقیقات متعددی در زمینه‌های مختلف بحران کم‌آبی و زاینده‌رود انجام شده است، اما اکثراً در زمینه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی بوده است (رامشت و همکاران، ۱۳۷۹) و ابعاد فرهنگی و اجتماعی آن، کمتر مورد توجه واقع شده است. ادبیات نظری و پژوهشی فراوانی در زمینه کم‌آبی و علل و اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی آن و راه‌های مقابله با آن وجود دارد، اما در تعداد کمی از آنها به مسئله فرهنگ و عناصر فرهنگی به عنوان عامل تعدیل‌کننده اثرات کم‌آبی یا به عنوان بخشی از راه

زندگی انسان‌ها همواره تحت تأثیر تغییرات گوناگون و آثار ناشی از آنهاست. پیامدهای این تغییرات، چه مثبت باشد و چه منفی، ایجاب می‌کند که در شرایط جدید، متفاوت‌تر از قبل رفتار کرد و بتوان با محیط جدید کنار آمد. مفهوم تاب‌آوری نشان می‌دهد که در یک موقعیت بحرانی، چقدر می‌توان با شرایط سازگار شد و چه راه حل منطقی را برای عبور از بحران ترسیم کرد (خداامادی و همکاران، ۱۴۰۰). در آغاز قرن ۲۱ این مفهوم با ظرفیت سازگاری مطرح شد که در آن به سیستم‌های اکولوژیکی-اجتماعی اشاره می‌کرد و بر توانایی انسان برای مقابله با تغییر در محیط با مشاهده، یادگیری، تغییر و تعامل، تأکید داشت (Fraser و Richman, ۲۰۱۱). همچنین محققین با بررسی نقش مولفه‌های فرهنگی در تاب‌آوری، بررسی کرده‌اند که چگونه انسان با پیچیدگی‌های تغییر در دنیای معاصر، سازگارانه تعامل داشته و دوام آورده است (Bieling و Plieninger, ۲۰۱۲).

تاب‌آوری فرهنگی، توانایی یک سیستم در جذب ناسازگاری، مقابله با تغییر و تداوم تحول و پیشرفت است (Holtorf, ۲۰۱۸). در تاب‌آوری فرهنگی، سخن از ظرفیت‌های فرهنگی، کارکرد عناصر فرهنگی و ایجاد خودآگاهی و بازتولید توانایی‌های اعضای جامعه به منظور سازگاری با شرایط سخت دوران بحران و مشارکت عمومی برای بازسازی شرایط و از سر گذراندن بحران برای ورود به دوره‌ای جدید است. از مهمترین نشانه‌های تاب‌آوری فرهنگی، خودآگاهی فرهنگی و وجود اعتقاد عمیق به درستی باورهای فرهنگی است (شمس احمر، ۱۴۰۰). به طور کلی الگوهای تاب‌آوری فرهنگی را می‌توان به دو حوزه در دو چارچوب تقسیم کرد. یک چارچوب فرهنگی-اجتماعی که در بیرون از حوزه فرهنگ-محیط زیست است و ظرفیت و توانایی یک فرهنگ، اجتماع یا گروه در برابر فشارها و تغییرات ناشی از شرایط مدرن برای حفظ، توسعه، تحول، احیا، ترمیم و تجدید حیات و تنظیم مطلوب‌تر خود از طریق مدیریت محتوا، مراجع و منابع فرهنگی است و دوم، چارچوب اکولوژیکی-معیشتی که در درون حوزه فرهنگ-محیط زیست است و ظرفیت و توانایی یک اجتماع در برابر اختلال، خطر، تغییر، فشار برای سازگاری، بهبود، ترمیم و مدیریت منابع معیشتی و زیست‌محیطی خود از طریق مراجع و منابع فرهنگی، اجتماعی، تاریخی و سیاسی است (حسنی، ۱۳۹۷). تاب‌آوری فرهنگی در انواع و حوزه‌های مختلفی قابل بررسی است (Abi-Hashem, ۲۰۱۱) که در جدول (۱) به آن اشاره شده است.



حل، اشاره شده است. برای مثال یادگاری فر و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی تاب‌آوری شهرستان زاهدان در بحران آب و خشکسالی را ارزیابی نموده و وضعیت تاب‌آوری اقتصادی و اجتماعی و نهادی را در شهرستان زاهدان، پایین‌تر از میانگین مطلوب دانسته است. رضایی میرقائد و گلی (۱۳۹۹) داده‌های شاخص‌های تاب‌آوری شهر اصفهان در برابر بحران واکاوی شده و چنین نتیجه‌گیری کرده‌اند که مهمترین مولفه در تاب‌آوری مردم اصفهان، مولفه‌های فرهنگی و اجتماعی است و مهم‌ترین شاخص «اعتمادسازی و تعامل» است. این پژوهش به گونه‌ای موید ضرورت انجام تحقیق در زمینه تاب‌آوری فرهنگی در شرایط بحران کم‌آبی است. همچنین بشیری و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی مشابه، به تبیین ابعاد و مولفه‌های تاب‌آوری در مدیریت بحران آب شهر تهران پرداخته و از مولفه‌های اجتماعی و فرهنگی به دست آمده در این تحقیق، به نگرش مردم، نظیر باورهای دینی و عادات مردم، سطح تحمل مردم، نقش رسانه ملی و شبکه‌های اجتماعی اشاره کرده است. خدامرادی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی با عنوان "مقدمه بر مفهوم‌پردازی تاب‌آوری فرهنگی"، تاب‌آوری فرهنگی را ظرفیت و توانمندی مقابله با بحران و حل آن به کمک اسلوب‌های تاریخی، اسطوره‌ها، آداب و رسوم و باورهای فرهنگی می‌داند که مؤلفه‌های نظری آن، شامل تعلق و ریشه‌دار بودن، اعتماد، تعهد، حس غرور و جمع‌گرایی است. اگرچه اشاره به مولفه‌های تاب‌آوری فرهنگی در این پژوهش، می‌تواند در تدوین نظریه تاب‌آوری در بحران کم‌آبی، راهگشا باشد اما این پژوهش به طور مستقیم به بحران کم‌آبی اشاره‌ای ندارد.

Smyntyna (۲۰۱۶) در پژوهشی با عنوان "نظریه تاب‌آوری فرهنگی به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی پاسخ انسان به تغییرات آب و هوایی" به اهمیت موضوع تاب‌آوری در زمینه‌های مختلف علوم از جمله مطالعات فرهنگی می‌پردازد و خاطرنشان می‌کند که مفهوم تاب‌آوری فرهنگی به عنوان یک برنامه کاربردی مرتبط در زمینه مطالعه واکنش انسان به تغییرات آب و هوایی جهانی می‌تواند استفاده شود. همچنین Isidiho و همکاران (۲۰۲۳) پژوهشی با عنوان "انعطاف‌پذیری و پایداری پس از نشت نفت در ایمو" انجام داده‌اند. این مطالعه در استان ایمو و منطقه دلتای نیجر در نیجریه انجام شده است؛ جایی که نشت نفت بیش از ۵۰ سال ادامه داشته است. این مطالعه نشان می‌دهد که جوامع، استراتژی‌های مختلفی را برای بازگشت پس از نشت نفت، اتخاذ کرده و تطبیق داده‌اند. اقداماتی از قبیل: تبدیل زمین‌های مسکونی به زمین‌های کشاورزی، اجاره زمین‌های کشاورزی از جوامع دیگر و کاشت نهال‌های اصلاح شده. همچنین معنویت و تغییر شغل، بخشی از تاب‌آوری بوده است. این مطالعه نشان‌دهنده نقش فرهنگ در تغییر عادت‌واره‌های مردم در بحران‌های مستمر برای تحمل شرایط، تعدیل آثار بحران و یا دستیابی به دستاوردهای جدید می‌باشد و هم‌راستا با موضوع پژوهش حاضر است.

در مجموع یافته‌های مطالعات داخلی و خارجی، نشان‌دهنده تأثیر مؤلفه‌های فرهنگی بر تاب‌آوری مردم در شرایط بحران است. ضمن اینکه در پژوهش انجام شده توسط رضایی میرقائد و گلی (۱۳۹۹) مؤلفه فرهنگی از مهمترین مؤلفه‌ها در تاب‌آوری مردم اصفهان دانسته شده است. همین امر موید لزوم انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه و تلاش برای جلب توجه تصمیم‌گیرندگان به این موضوع است. یادآور می‌شود که اگرچه تحقیقات قبلی انجام شده، هم به روش کمی و هم به روش کیفی، موضوع تاب‌آوری را در نظر گرفته است، اما واکاوی فرهنگی مسئله کم‌آبی زاینده‌رود، مستلزم بررسی هرچه بیشتر از منظر بومی شهروندان و افراد درگیر در آن است تا به درک واقع‌بینانه‌تری از زوایای زیرین معنایی و ذهنی آنان در مواجهه با پدیده خشکسالی و چگونگی کنار آمدن با آن، دست یافت. ضرورت حفظ سلامت روانی افراد جامعه با تأکید بر توانایی‌های درونی و قابلیت‌های شناختی آنان و همچنین ایجاد و تقویت مهارت‌های مقابله با بحران کم‌آبی، ایجاب می‌کند که از پتانسیل عناصر فرهنگی برای به دست آوردن دستاوردهایی در این راستا بهره جست. چراکه تصمیم‌گیری برای حل بحران کم‌آبی زاینده‌رود با در نظر گرفتن نقش فرهنگ در تعیین راهبردها و پیش‌بینی دستاوردهای آن، قطعاً تصمیم جامع‌تری خواهد بود. بر این اساس، این پژوهش با هدف ارائه یک الگوی پارادایمی از تاب‌آوری فرهنگی در شرایط بحران کم‌آبی زاینده‌رود شکل گرفته است و اساساً به دنبال پاسخ به این پرسش است که مقوله محوری تاب‌آوری فرهنگی در بحران کم‌آبی چیست و چه عواملی به عنوان مقوله‌های علی، زمینه‌ای و مداخله‌ای موثر بر آن شناسایی می‌شوند و همچنین راهبردها و پیامدهای این تاب‌آوری کدامند.

## مواد و روش‌ها

از آنجایی که هدف این مطالعه، ارائه الگوی پارادایمی تاب‌آوری فرهنگی در بحران کم‌آبی زاینده‌رود است، بنابراین این پژوهش با رویکرد کیفی به دنبال پاسخگویی به مسئله است. یکی از این روش‌های پژوهش کیفی، رویکرد نظریه زمینه‌ای است که در این مطالعه استفاده شده است. نظریه زمینه‌ای را تلاش برای پیدا کردن نظریه دانسته‌اند که از مطالعه پدیده‌ای به دست می‌آید و نمایانگر آن پدیده است (استراس و کوربین، ۱۳۹۳). در این پژوهش، با توجه به تعاریف تاب‌آوری و متناسب با موضوع تحقیق، از ۲۴ نفر مصاحبه به عمل آمد که همگی آنها دارای دو ویژگی مشترک بودند. نخست آنکه همه این افراد علاقه‌مند و دغدغه‌مند در حوزه مسائل مربوط به کم‌آبی زاینده‌رود بودند و دوم اینکه همه این افراد اطلاعات، تجربه و یا دانش کافی در این حوزه داشتند. نمونه‌گیری نظری و به روش گلوله برفی صورت گرفت که بر اساس آن، تاب‌آوری فرهنگی مصرف‌کنندگان و بهره‌برداران آب، که همگی از اساتید و کارشناسان

رشته های مرتبط با مسائل آب بودند، مطابق با جدول شماره ۲ در سطح فردی در حوزه های ذهنی-عاطفی و رفتاری-محیطی، در سطح بین فردی در حوزه های عادی-خانوادگی و اخلاقی و نیز در سطح اجتماعی در حوزه های سنتی، مذهبی و معنوی، مورد پرسش واقع شد. همچنین تاب آوری فرهنگی ذی نفعان آب شامل صنعتگران و کشاورزان و نیز تصمیم گیرندگان و مسئولین آب، علاوه بر سطوح فردی، بین فردی و اجتماعی، در سطح سازمانی در حوزه های فنی-صنعتی و مالی-مدیریتی مورد بررسی قرار گرفت. پرسش ها شامل چگونگی مدیریت احساسات افراد، چپستی نیازها برای مهارت های حل مسئله، چپستی و چگونگی تقویت توانایی های درونی افراد جامعه، چپستی و چگونگی روش های مقابله با بحران و چپستی دستاوردهای حاصل از تاب آوری، در زمینه هایی همچون فرهنگ مصرف آب، ابعاد خشک شدن رودخانه زاینده رود، ابعاد فرونشست زمین و تبعات کم آبی بر کشاورزی، صنایع و مشاغل مرتبط با آب بود که تا رسیدن به اشباع نظری ادامه یافت. برای تجزیه و تحلیل داده ها، از روش کولایزی که به روش هفت مرحله ای نیز معروف است، استفاده شد (Colaizzi, ۱۹۷۸). این مراحل به طور خلاصه شامل این موارد است:

۱- مطالعه تمام توصیف های شرکت کننده در مطالعه برای به دست آوردن یک احساس و مانوس شدن با آنها،

۲- استخراج جملات مهم،

۳- تلاش برای پی بردن به معنای جملات مهم یا فرموله کردن معانی،

۴- قراردادن معانی مرتبط به هم در خوشه های مشابه،

۵- تلفیق نتایج در قالب توصیفی جامع از موضوع مورد پژوهش،

۶- فرموله کردن توصیف جامع پدیده تحت مطالعه به صورت بیانیه های صریح و روشن از ساختار اساسی (ساختار ذاتی پدیده)،

۷- مراجعه مجدد به هریک از شرکت کنندگان و انجام مصاحبه انفرادی یا انجام جلسات متعدد مصاحبه و دریافت نظر شرکت کنندگان در مورد یافته ها و اعتبارسنجی نهایی یافته ها.

بر اساس مراحل فوق، ۱۳۷ داده اولیه به دست آمد. نتیجه کدگذاری داده های گردآوری شده، استخراج ۹۸ مفهوم و ۲۲ مقوله بود. از میان ۲۲ مقوله، یک مقوله به عنوان مقوله محوری ظاهر شد تا در کنار ۲۱ مورد دیگر، اجزای نظریه زمینه ای را در این پژوهش تشکیل دهند. برای تأیید اعتبار داده ها از معیار ارزیابی لینکلن و گوبا استفاده شد که شاخص های آن شامل اعتبار پذیری، تأیید پذیری، تکرار پذیری و اثبات پذیری است (Guba و Lincoln, ۱۹۸۵). برای نشان دادن قابلیت اعتبار، از بازگشت به مصاحبه شونده ها جهت تأیید نتایج پژوهش و همچنین از دو کدگذار برای کدگذاری داده ها استفاده شد و درجه توافق آنها نشان دهنده قابل پذیرش بودن اعتبار داده ها بود. همچنین مصاحبه ها به طور موازی و جداگانه انجام شد که با مقایسه نتایج با یکدیگر و درجه بالای همسانی نتایج، میزان اعتبار داده های پژوهش نشان داده شد.

جدول ۲- انواع، حوزه ها و مراحل تاب آوری فرهنگی بکار گرفته شده در پژوهش (Abi-Hashem, ۲۰۱۱)

| نوع تاب آوری فرهنگی | حوزه تاب آوری                    | مراحل تاب آوری                                        | گروه مورد پرسش                                                                    |
|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| فردی                | ذهنی-عاطفی<br>رفتاری-محیطی       | مدیریت احساسات                                        | - مصرف کنندگان و بهره برداران آب (استاتید و کارشناسان رشته های مرتبط با مسائل آب) |
| رابطه ای-بین فردی   | عادی - خانوادگی<br>اخلاقی        | مهارت های حل مسئله /<br>تقویت ابعاد سه گانه جسم و ذهن | - ذی نفعان آب (صنعتگران و کشاورزان)                                               |
| اجتماعی             | قبیله ای - سنتی<br>مذهبی - معنوی | ایجاد روش های مقابله ای                               | - تصمیم گیرندگان و مسئولین آب                                                     |
| سازمانی-عملیاتی     | فنی - صنعتی<br>مالی - مدیریتی    | دستاوردها                                             | - ذی نفعان آب (صنعتگران و کشاورزان)<br>- تصمیم گیرندگان و مسئولین آب              |

## نتایج و بحث

یافته های این پژوهش پس از اجرای اطلاعات و کدگذاری داده ها، شامل پذیرش پدیده کم آبی به عنوان یک واقعیت موجود، مستمر و قابل جبران به عنوان مقوله محوری؛ وجود اطلاعات کافی، ارتقاء سطح سواد آبی و توسعه فرهنگ ارتباطی، به عنوان مقوله های علی؛ امیدواری به بهبود شرایط، عقاید دینی و باورهای فرهنگی عامیانه، وابستگی اقتصادی و دل بستگی به سکونت گاه، به عنوان مقوله های زمینه ای؛ ایجاد اعتماد متقابل، عمل گرایی و جدیت در اقدامات،

تغییر در طرز تلقی افراد و گروه ها از شرایط موجود، ایجاد و تقویت حس مسئولیت اجتماعی و ایجاد سازوکار همکاری جمعی، به عنوان مقوله های مداخله ای؛ ایجاد تغییر در عادت واره های دیگران، اقدامات پیشگیرانه و قانونی، ایجاد تغییر در عادت واره های خود، توسعه فرهنگ صرفه جویی و بازیافت و توسعه فرهنگ مشارکت، به عنوان مقوله های راهبردی؛ و کارآفرینی و اشتغال، خلاقیات و نوآوری، توسعه فرهنگ بهره وری و افزایش سطح آگاهی و آمادگی عمومی، به عنوان مقوله های پیامدها دسته بندی شدند. جدول (۳) مفاهیم و مقوله های استخراج شده را نشان می دهد.

جدول ۳- مفاهیم و مقوله‌های استخراج شده از مصاحبه با افراد انتخاب شده

| دسته      | مقوله‌ها                | مفاهیم                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| زمینه‌ای  | امیدواری به بهبود شرایط | - امید به تغییر نگاه حاکمیتی در تصمیم‌گیری‌ها و اصلاح روش حکمرانی آب<br>- امید به تغییر در وضعیت جوی و بارش‌های سال‌های آتی<br>- امید به احیای دوباره رودخانه زاینده‌رود از طریق طرح‌های انتقال آب یا روش‌های فنی دیگر                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|           |                         | - اتکا به مضامین اعتقادی و دینی، همچون صبر و امید<br>- استفاده از اشعار، ضرب‌المثل‌ها، ترانه‌ها و سایر مضامین ادبی و هنری مثل امیدواری و خوش‌بینی به آینده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|           |                         | - لزوم وجود صنایع اصفهان به دلیل ایجاد اشتغال و رفاه مردم اصفهان<br>- لزوم دوام کشاورزی به دلیل اشتغال و ارتزاق کشاورزان<br>- لزوم وجود سایر مشاغل مرتبط با جریان رودخانه برای توسعه گردشگری و رونق اقتصادی شهر                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| زمینه‌ای  | دلبستگی به سکونت‌گاه    | - افتخار به تاریخ کهن و آثار تاریخی اصفهان<br>- افتخار به مشاهیر علمی، هنری و ورزشی اصفهان<br>- افتخار به صنایع دستی و هنری اصفهان<br>- وجود امکانات گسترده تولید، کار و زندگی برای ماندن در اصفهان<br>- اصرار بر کار بر روی زمین‌های کشاورزی به عنوان میراث خانوادگی                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|           |                         | - لزوم اعتماد افراد جامعه به یکدیگر در تأثیرگذار بودن برای حل بحران کم آبی<br>- لزوم اعتماد به اخبار و اطلاعات مرتبط با کم آبی در رسانه‌ها<br>- لزوم اعتماد به توانایی‌های علمی و تخصصی اساتید و متخصصان<br>- لزوم احیای اعتماد از دست رفته مردم به مسئولین و دستگاه‌های اجرایی<br>- لزوم اعتماد مسئولین به مردم، ذی‌نفعان آب و فعالان محیط‌زیست                                                                                                                                                                                         |
|           |                         | - به کارگیری عملی تحقیقات علمی انجام شده در زمینه کم آبی زاینده‌رود<br>- مطالبه‌گری قانونی مداوم شهروندان و ذی‌نفعان آب از مسئولین در جهت تحقق وعده‌ها<br>- مطالبه‌گری قانونی مداوم در جهت ممانعت از عادی شدن و فراموش شدن مشکلات به وجود آمده<br>- اقدامات عملی و هماهنگ دستگاه‌های اجرایی موازی و پرهیز از شعارزدگی                                                                                                                                                                                                                    |
| مداخله‌گر | ایجاد اعتماد متقابل     | - تغییر نگاه مردم به اصفهان به عنوان یک شهر کم آب و بدون رودخانه<br>- تغییر در دیدگاه ذی‌نفعان آب در بهره‌برداری از رودخانه متفاوت از قبل<br>- تغییر در دیدگاه مسئولین در تصمیم‌گیری‌ها متناسب با شرایط کم آبی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|           |                         | - ایجاد احساس مسئولیت اجتماعی شهروندان در جهت تقبل هزینه‌های مادی و غیرمادی اصلاح روش‌ها و عادات مصرف آب (مثل هزینه تغییر شیرآلات منازل، هزینه‌های کارواش و...)<br>- ایجاد حس مسئولیت در کشاورزان در استفاده قانونی از منابع موجود آب<br>- ایجاد حس مسئولیت در صاحبان صنایع در استفاده قانونی از منابع موجود آب<br>- ایجاد حس مسئولیت در کشاورزان در جهت تقبل هزینه‌های جلوگیری از هدررفت آب و پیشگیری از فرسایش خاک (مثل روش‌های کشت زیرنایلون و آبیاری قطره‌ای)                                                                        |
|           |                         | - تقویت حس مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها و تقبل هزینه اقدامات ساختاری در صنایع برای به حداقل رساندن هدررفت آب<br>- انجام مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها از طریق هزینه‌کرد در زمینه آموزش‌های تخصصی و عمومی مصرف بهینه آب، تخصیص بودجه در جهت حمایت مالی از کشاورزان و گروه‌های آسیب‌دیده از خشکسالی در راستای مسئولیت اجتماعی شرکت<br>- تقویت احساس مسئولیت اجتماعی برای تقبل هزینه‌های اقدامات اصلاحی ساختاری بخش خدمات عمومی و بیمارستان‌ها برای به حداقل رساندن هدررفت آب (مثل اصلاح سیستم آبیاری فضای سبز شهری، تغییر در سرویس‌های بهداشتی و ...) |

| دسته        | مقوله‌ها                                                        | مفاهیم                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مداخله‌گر   | ایجاد سازوکار همکاری جمعی                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ایجاد سازمان‌های مردم نهاد برای پیگیری مسائل آب شهر</li> <li>- لزوم حمایت مسئولین از سازمان‌های مردم نهاد</li> <li>- ایجاد گروه‌ها و کمپین‌های مجازی در جهت جلب همکاری عمومی مردم، ذی‌نفعان آب و مسئولین</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|             |                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- نیاز به اطلاعات در مورد دلایل واقعی کم آبی زاینده‌رود</li> <li>- نیاز به اطلاعات در مورد میزان فرونشست زمین</li> <li>- نیاز به اطلاعات در مورد آسیب خشکسالی به صنایع کسب‌وکارها و کشاورزی اصفهان</li> <li>- نیاز به اطلاعات در مورد آسیب کم آبی به آثار تاریخی و میراث فرهنگی اصفهان</li> <li>- نیاز به اطلاعات در مورد راه‌های پیشگیری از بحران بیشتر</li> <li>- نیاز به اطلاعات در مورد صنایع و کسب‌وکارهای جایگزین</li> </ul>                                                                                                                                                                             |
| علّی        | وجود اطلاعات کافی                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ارتقای سواد آبی مردم و مسئولین از طریق مراکز آموزشی و رسانه‌ها</li> <li>- ارتقای سطح سواد آبی ذی‌نفعان آب از طریق آموزش‌های تخصصی و رسانه‌ها</li> <li>- ارتقاء سطح سواد آبی کار آفرینان از طریق برگزاری همایش‌های تخصصی</li> <li>- انجام پژوهش‌های علمی و تدوین مقالات و ثبت وقایع موجود در مورد ابعاد کم آبی</li> <li>- شرکت در همایش‌های علمی داخلی و بین‌المللی و انتقال دانش و تجربه</li> </ul>                                                                                                                                                                                                          |
|             |                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- نیاز به رسانه‌ها برای آگاهی‌رسانی از طریق تولید محتواهای خبری، آموزشی، علمی و هنری مرتبط با بحران کم آبی</li> <li>- نیاز به توسعه مهارت‌های ارتباطی شهروندان برای ایجاد ارتباط سازنده مرتبط با مشکلات کم آبی با یکدیگر و دوری از اختلافات</li> <li>- نیاز به توسعه فضای گفتگو و تسهیل جریان ارتباطی بین شهروندان ذی‌نفعان آب و مسئولین</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                            |
| مقوله محوری | پذیرش پدیده کم آبی به عنوان یک واقعیت موجود، مستمر و قابل جبران | <ul style="list-style-type: none"> <li>- پذیرش استمرار خشکسالی و تبعات آن</li> <li>- پذیرش شرایط بحران و ایجاد شرایط ذهنی مثبت در مواجهه با آن</li> <li>- پذیرش نقش موثر تک تک افراد جامعه، صنایع و سازمان‌ها در تغییر شرایط بحران کم آبی</li> <li>- باور به ادامه زندگی در اصفهان در شرایط کم آبی زاینده‌رود</li> <li>- باور به ایجاد فرصت‌های جدید و ناشناخته برای بهبود شرایط</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                           |
|             |                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- حمایت مالی و معنوی از کارآفرینان، نخبگان، فعالان محیط‌زیست، هنرمندان و فعالان رسانه‌ای در ارتباط با بحران آب</li> <li>- عدم تشویق کشاورزان به کاشت محصولات آب‌بر توسط شهروندان از طریق عدم مصرف این محصولات</li> <li>- تشویق و ترویج رفتارهای صحیح مصرف آب شهروندان به عنوان یک ارزش در رسانه‌ها و فرهنگ عمومی</li> <li>- تقبیح رفتارهای اسراف‌گرایانه آب شهروندان با روش‌های کلامی و غیرکلامی به صورت بازخورد لحظه‌ای</li> <li>- بازتاب رفتارهای صرفه‌جویانه و اسراف‌گرایانه آب افراد و سازمان‌ها در رسانه‌ها</li> </ul>                                                                                    |
| راهبردها    | ایجاد تغییر در عادت‌واره‌های دیگران (حمایت، تشویق و تقبیح)      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- لزوم استقرار پلیس آب برای جلوگیری از هدررفت آب</li> <li>- جلوگیری از روند مهاجرت به اصفهان و بارگذاری‌های جدید جمعیتی</li> <li>- جلوگیری از ایجاد صنایع آب‌بر جدید</li> <li>- لزوم اجرای قوانین مربوط به حق‌آبه کشاورزان</li> <li>- پیگیری اجرای تعهدات ایجاد شده دولت و بخش صنایع برای حمایت از معیشت گروه‌های آسیب‌دیده از بحران کم آبی</li> <li>- درخواست و پیگیری توقف برداشت‌های جدید از زاینده‌رود</li> <li>- درخواست جلوگیری از برداشت‌های بی‌رویه بالادستی رودخانه</li> <li>- درخواست شناسایی و برخورد با چاه‌های غیرمجاز</li> <li>- خودداری از روش‌های سنتی کشاورزی و کاشت محصولات آب‌بر</li> </ul> |
|             |                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- اقدامات پیشگیرانه و قانونی</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

| دسته      | مقوله‌ها                                                                        | مفاهیم                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           |                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- جایگزینی استفاده از کافی‌شاپ‌ها و رستوران‌های جدید به جای چایخانه‌های زیرپل‌ها</li> <li>- جایگزینی مکان‌های دیگر (مثل پیاده راه چهارباغ عباسی و پارک صفه) برای تفریح و گرفتن عکس</li> <li>- یادگاری به جای فضای حاشیه رودخانه</li> <li>- ارائه الگوی صحیح مصرف آب در خانه و محل کار</li> <li>- تغییر در نوع کشت محصولات و روش‌های آبیاری</li> <li>- توسعه تولید محصولات گلخانه‌ای</li> <li>- بهینه‌سازی و افزایش بازدهی قنوات</li> <li>- توسعه روش‌های کشت جدید مانند کشت نایلونی</li> <li>- پرهیز مدیران از تصمیم‌گیری‌های سلیقه‌ای و مقطعی</li> </ul> |
| راهبردها  | ایجاد تغییر در عادت‌واره‌های خود (عادات جایگزین فردی، گروهی، اجتماعی و سازمانی) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- تمرکز بر تصفیه و بازیابی فاضلاب شهرها برای صنایع آب‌بر</li> <li>- لزوم تجدیدنظر در مورد نوع و حجم فضای سبز شهری</li> <li>- هدایت و ذخیره‌سازی آب‌های حاصل از بارندگی</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| راهبردها  | توسعه فرهنگ صرفه‌جویی و بازیافت                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- لزوم مشارکت شهروندان، ذی‌نفعان و فعالان محیط‌زیست در تصمیم‌گیری‌های آبی</li> <li>- لزوم به کارگیری نظرات اساتید و نخبگان در حوزه آب در تصمیم‌گیری‌های آبی</li> <li>- لزوم مشارکت بین بخشی سازمان‌های مرتبط با آب در تصمیم‌گیری</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| دستاوردها | کارآفرینی و اشتغال                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ایجاد و توسعه اشتغال در زمینه تولید محصولات تزیینی جایگزین فضای سبز</li> <li>- ایجاد و توسعه مراکز تخصصی درمانی در راستای توسعه گردشگری سلامت</li> <li>- توسعه کشاورزی مدرن</li> <li>- توسعه صادرات محصولات کشاورزی گلخانه‌ای و ارگانیک</li> <li>- توسعه صنایع غیرآب‌بر</li> <li>- توسعه صنایع دستی و هنری اصفهان- توسعه گردشگری</li> </ul>                                                                                                                                                                                                             |
| دستاوردها | خلاقیت و نوآوری                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ایجاد و توسعه ایده‌های جدید در زمینه طراحی و تولید محصولات جایگزین فضای سبز</li> <li>- ایجاد و توسعه ایده‌های جدید در زمینه صنایع جایگزین غیروابسته به آب</li> <li>- ایجاد و توسعه ایده‌های جدید در زمینه بازیافت آب</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| دستاوردها | توسعه فرهنگ بهره‌وری                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ایجاد و توسعه فرهنگ صحیح استفاده از آب، فاضلاب شهری و آب پسماند</li> <li>- ایجاد و توسعه روش‌های هدایت و ذخیره آب‌های حاصل از بارندگی و سیل‌ها</li> <li>- ایجاد و توسعه فرهنگ بازیافت و حفاظت از محیط زیست</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| دستاوردها | افزایش سطح آگاهی و آمادگی عمومی                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- افزایش سطح آگاهی و سواد عمومی آب</li> <li>- افزایش سطح مسئولیت اجتماعی شهروندان و شرکت‌ها</li> <li>- افزایش انعطاف‌پذیری عمومی در تقابل با بحران‌ها</li> <li>- افزایش انعطاف‌پذیری مدیران در پذیرش اشتباهات گذشته در تصمیم‌گیری‌ها</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

فی‌شد که این رودخانه واقعاً ممکنه یه روز کامل بخشکه اما حالا حتی اگر هم گاهی آب جریان پیدا کنه می‌دونیم نشونه این نیست که به وضعیت قبلی برگشته...». فاطمه ۴۱ ساله، مهندس فضای سبز، در پاسخ به این سؤال بیان می‌کند: «بعد از این چند سال کم آبی به این باور رسیدم که توی شهری که رودخانه داره زندگی نمی‌کنم. البته وقتی حرف از فرونشست و اینجور مشکلات میشه، نگران میشم». او در مورد اینکه وقتی می‌بینی بعضی‌ها علیرغم کم آبی در مصرف آب زیاده‌روی می‌کنند، چه حسی داری، می‌گوید: «خب مسلماً ناراحت میشم اما خوشحالم که درست نبودن این کار کم کم توی جامعه مورد تاکید خیلی‌هاست و داره به یک فرهنگ تبدیل میشه».

در پاسخ به مدیریت احساسات شهروندان نسبت به موضوع کم آبی زاینده‌رود، مصاحبه‌شوندگان اظهار داشتند که کم آبی و خشکسالی را به عنوان یک پدیده واقعی، غیرقابل‌انکار و مستمر پذیرفته‌اند و پذیرش این موضوع، موجب تغییرات ذهنی مثبت در آنان شده است. پارسا ۲۶ ساله دانشجوی کارشناسی ارشد روانشناسی در پاسخ به این سؤال که وقتی با رودخانه خشک مواجه می‌شوی، چه احساسی داری، پاسخ می‌دهد: «اوایل برایم خیلی ناراحت‌کننده بود، اما کم کم چشم‌هام عادت کرد و حالا گاهی فکر می‌کنم که اگرچه رودخانه خشک شده، اما اصفهان همچنان زیباست!». محمد ۳۸ ساله، کارمند اداره آب، در پاسخ به همین سؤال عنوان می‌کند: «قبلاً که جریان رودخانه یه وقتایی بسته می‌شد باورمون



در پاسخ به چستی نیازها برای حل مسئله و افزایش توانایی‌های شناختی جامعه در موضوع کم آبی به منظور افزایش تاب‌آوری، نیاز به اطلاع‌رسانی درخصوص ابعاد مختلف کم آبی از جمله فرونشست زمین، تهدید آثار تاریخی، آسیب به کسب‌وکارها، صنایع و کشاورزی و همچنین نیاز به مهارت‌های ارتباطی و راه‌های ارتباطی مطرح شده است. مهسا ۳۵ ساله، کارمند شهرداری، در پاسخ به واکنش او در قبال شستن اتومبیل با آب شهری می‌گوید: «بخوام اعتراض کنم باید اول بدونم روشش چیه که باعث درگیری نشه. یعنی هم بتونم درست ارتباط برقرار کنم و هم درست توضیح بدم مشکل چیه، البته همین الان هم سعی می‌کنم با رفتارم یه جوری نشون بدم که این کار درست نیست». علیرضا، کارمند سازمان آب در این رابطه پاسخ می‌دهد: «مثلاً وقتی می‌بینم کسی ماشینشو می‌شوره اونم با آب شهری با خودم میگم که این شخص یا از همه جایی خبره یا چیزی براش مهم نیست یا اینکه هیچ اعتمادی به حرفایی که می‌شنوه، نداره. به هر حال لازم هست یکی بهش بگه واقعیت چیه، ضمن اینکه باید همه ما بپذیریم برای از سر گذروندن این بحران باید هزینه کنیم حالا برای شستن ماشین یا هر چیز دیگه که ارتباط با مصرف آب داره». مجید ۵۰ ساله، دانشجوی گردشگری، در پاسخ به این سؤال که در مورد خطر فرونشست زمین، چقدر احساس خطر می‌کنی، جواب می‌دهد: «من چند تا فیلم و گزارش تا حالا دیدم از این موضوع اما اکثر مردم اصلاً نمیدونن چقدر موضوع فرونشست واقعیه و به خاطر همین فکر می‌کنم به اطلاعات دقیق‌تری نیاز هست». احمدرضا ۵۲ ساله، معلم دبیرستان، معتقد است که باید آموزش در این موارد همگانی شود و می‌گوید: «الان توی اینستاگرام کلی مطالب در مورد آشپزی و روش‌های خانه‌داری و غیره وجود داره، چرا نباید محتواهای آموزشی برای خشکسالی باشه؟».

در پاسخ به چستی و چگونگی توانایی‌های درونی افراد جامعه، شامل عزت نفس، اعتماد به نفس و خودپنداره مثبت، پاسخ‌دهندگان به مواردی همچون اعتمادسازی، احساس مسئولیت اجتماعی، همکاری جمعی، تعلق و دلبستگی سرزمینی، وابستگی اقتصادی، اعتقادات دینی و باورهای فرهنگی اشاره کردند. حسین ۴۵ ساله، استاد دانشگاه، در پاسخ به اینکه چرا علیرغم خشکسالی اصفهان، دوست داری اینجا باشی، می‌گوید: «به خاطر اینکه اصفهان زیباست، شهر چهار فصله، امکانات داره و یه دنیا آثار تاریخی داره که از اونور دنیا میان همین‌ها رو ببینن. از طرفی رسالت من به عنوان یک دانشگاهی این هست که کمک کنم به حل این مشکل و طبیعتاً باید اینجا باشم». مجید ۴۷ ساله، مهندس ذوب آهن، در پاسخ به این سؤال می‌گوید: «به هر حال اقتصاد این شهر با همین صنایع ذوب آهن و فولاد کلی دگرون شده و کلی آدم مشغولن. باید حفظشون کرد و یه راهی پیدا کرد برای احیای رودخونه». عبدالله ۶۰ ساله، کشاورز، در جواب به اینکه برای کشاورزی در این شرایط کم آبی چرا اصرار دارید، می‌گوید:

«این‌ها زمین‌های پدری ما هستن، لطف خدا هیچ وقت تمومی نداره، حالا اگه مسئولین یه حرفی می‌زنند و عمل نمی‌کنند، همانده ولی ما امیدمون به خداست. بعدشم کجا بریم؟ چاره‌ای نداریم. بالاخره این همه‌ی اون چیزیه که داریم».

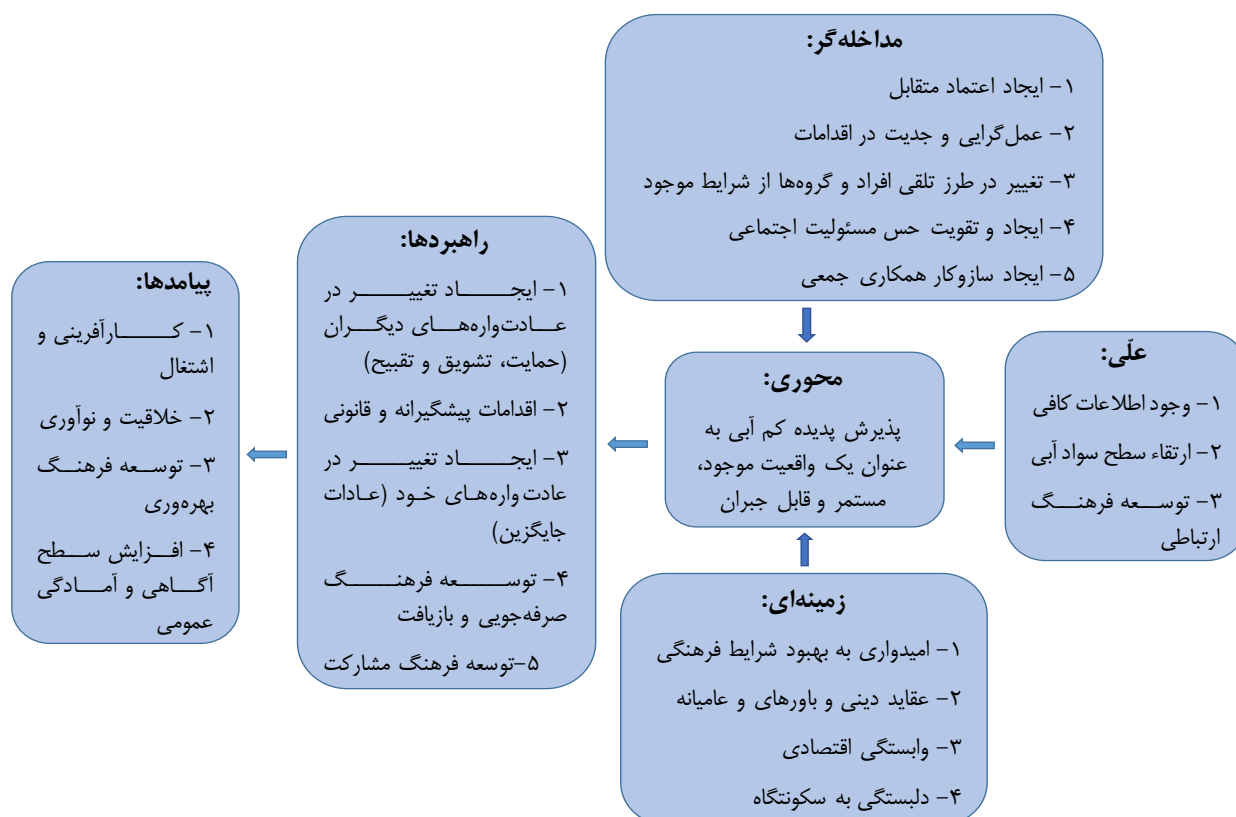
در پاسخ به سؤالات در خصوص روش‌های مقابله و یادگیری از شرایط بحران کم آبی زاینده‌رود، پاسخ‌ها متنوع بود. لزوم مشارکت مردم در تصمیم‌گیری‌ها، لزوم اقدامات عملی و جدیت در کار، حمایت‌ها و تشویق‌ها برای تغییر در عادات واره‌های خود و دیگران، اقدامات قانونی و پیشگیرانه و توسعه فرهنگ بازیافت و صرفه‌جویی از جمله پاسخ‌ها بود. بهار ۳۲ ساله، دانشجوی جامعه‌شناسی، در مورد اینکه وقتی برای رفع دلتنگی یا تفریح نمی‌توانید به حاشیه رودخانه بروید، چه می‌کنید، پاسخ می‌دهد: «الان جاهای دیگه مثل سیتی سنتر یا پیاده راه چهارباغ عباسی هست که قبلاً نبود. میشه رفت اونجا و از امکانات و فضای اونجا لذت برد. کافی‌شاپ و رستوران هم که فراوان شده...». ماندانا ۵۲ ساله، کارشناس آموزش بیمارستان در مورد مهارت‌های مقابله‌ای در رفتار شخصی، به الگوپذیری افراد اشاره می‌کند و جواب می‌دهد: «راهش اینه که هر کسی خودش آب کمتری مصرف کنه، پدر یا مادر برای بچه‌هاش الگو بشه، رئیس برای کارمنداش، استاد برای دانشجوهایش». از عبدالرضا ۴۶ ساله، کشاورز، که در مورد تغییر عادات کشاورزی در کم آبی سؤال شد، جواب داد: «اگر قنات‌ها را احیا می‌کردند، چاه‌های غیرمجاز می‌بستند و دولت سفت و سخت و با حساب و کتاب میومد توی کار تا حالا خیلی چیزا عوض شده بود. کشاورزا دنبال یه لقمه نون حلالن اگه از کشاورز حمایت نکنن، اون وقت کشاورزا هم روش‌هاشون رو عوض می‌کنن». سحر ۴۰ ساله، استاد دانشگاه، تدوین مقالات و ثبت وقایع موجود برای روشن شدن ابعاد بحران کم آبی زاینده‌رود را ضروری و رسالت دانشگاهیان و نخبگان جامعه می‌داند و می‌گوید: «بالا بردن سواد آبی مردم و ذی‌نفعان آب و مسئولین از جمله مواردیه که منجر میشه افراد جامعه بیشتر بدونن و بهتر بتونن با شرایط کنار بیان و در ارائه راه حل بهتر بتونن مشارکت کنند. لازمه یک مشارکت موثر، آگاهی مشارکت‌کننده‌هاست». محمود، کشاورز ۶۴ ساله در پاسخ به اینکه چه راهکارهایی را پیشنهاد می‌کند، می‌گوید: «باید از مطالبه‌گری قانونی دست برداشت. قرار بوده وزارت نیرو و صنایع اصفهان خسارت کشاورزا را پرداخت کنن اما بعد از ده سال از اون مصوبه، خیلی خیلی کمتر از تعهداتشون پرداخت کردند، حالا نرخ تورم همانده. ضمن اینکه نمیشه یه نفر کیلومترها اون طرف‌تر توی اتاقش بشینه و برای آب رودخونه تصمیم بگیره. باید نظر بقیه را پرسید و بعد تصمیم گرفت». مجید ۵۰ ساله و دانشجوی دکتری جامعه‌شناسی در پاسخ به راهکارها می‌گوید: «مادامی که صنایع آب‌بر توسعه پیدا کنند به دنبال اون مهاجرت هم به اصفهان بیشتر میشه و کمبود آب و آلودگی هوا تشدید میشه. باید اول جلوی

توسعه صنایع آب‌بر گرفته بشه و بعد هم مهاجرت‌ها». علی ۴۲ ساله، مهندس کشاورزی هم می‌گوید: «باید چمن‌کاری‌ها را کم کرد و به جای اون‌ها از تزیینات دیگه برای شهر استفاده کرد و برای این صرفه‌جویی‌ها باید از تجربه‌های جهانی استفاده کرد».

در پاسخ به اینکه چه دستاوردهایی ممکن است از شرایط بحران کم‌آبی و تاب‌آوری آن به دست بیاید، مصاحبه‌شوندگان به مواردی همچون، ایجاد و توسعه ایده‌های جدید در زمینه فضای سبز، ایجاد صنایع جدید غیر آب‌بر، ایجاد خلاقیت و نوآوری در صنایع گردشگری و گردشگری سلامت، توسعه مشارکت و افزایش سطح آمادگی و آگاهی جامعه در برابر بحران‌ها اشاره کردند.

برای ارائه نظریه از داستان و مدل تصویری استفاده شد. براساس مفاهیم و مقوله‌های به دست آمده و از برقراری رابطه بین آنها با محوریت مقوله محوری، می‌توان نظریه زمینه‌ای به دست آمده مطابق شکل (۱) ارائه کرد. مطابق این شکل آنچه که به «پذیرش

پدیده کم‌آبی به عنوان یک واقعیت» منجر می‌شود، وجود اطلاعات کافی، ارتقا سطح سواد آبی و توسعه فرهنگ ارتباطی است که در این مدل به عنوان شرایط علی در نظر گرفته شده‌اند. امیدواری به بهبود شرایط، عقاید دینی و باورهای فرهنگی و عامیانه، وابستگی اقتصادی و دلبستگی به سکونتگاه به عنوان شرایط زمینه‌ای موجود در جامعه نیز به پذیرش پدیده کم‌آبی به عنوان یک واقعیت کمک کرده است که با ایجاد اعتماد متقابل، تغییر در نگرش افراد و گروه‌ها، ایجاد حس مسئولیت اجتماعی و همکاری جمعی به عنوان شرایط مداخله‌گر، تثبیت می‌شود. متناظر با شرایط مداخله‌ای یاد شده، راهبردهایی همچون ایجاد تغییر در عادت‌واره‌های خود و دیگران، اقدامات پیشگیرانه، توسعه فرهنگ صرفه‌جویی و بازیافت و توسعه فرهنگ مشارکت باید در نظر گرفته شود که منجر به پیامدهایی همچون کارآفرینی و اشتغال، خلاقیت و نوآوری، توسعه فرهنگ بهره‌وری و افزایش سطح آگاهی و آمادگی عمومی خواهد شد.



شکل ۱- مدل پارادایمی تاب‌آوری فرهنگی در بحران کم‌آبی زاینده‌رود

روایت ارائه‌دهنده این نظریه به شرح زیر است:

تاب‌آوری فرهنگی در بحران کم‌آبی زاینده‌رود در بستری از عقاید مذهبی و باورهای فرهنگی و عامیانه مردم، امیدواری به بهبود شرایط و نیز تعلق و دلبستگی به سکونت‌گاه و وابستگی به لحاظ اقتصادی شکل گرفته است و این تاب‌آوری تحت تأثیر اعتمادسازی متقابل، عمل‌گرایی و جدیت در کار، تغییر در نگرش

افراد یا گروه‌ها، ایجاد سازوکار برای همکاری جمعی و همچنین تقویت حس مسئولیت اجتماعی همه افراد جامعه خواهد بود. وجود اطلاعات کافی در مورد ابعاد مختلف کم‌آبی زاینده‌رود و توسعه مسیرهای ارتباطی و مهارت‌های ارتباطی در میان افراد، و نهایتاً افزایش سواد عمومی آب، سه عاملی هستند که باعث خواهد شد همه افراد و گروه‌ها، درک صحیحی از بحران کم‌آبی

زاینده‌رود داشته باشند و آن را به عنوان یک واقعیت موجود، مستمر و قابل‌جبران بپذیرند. افراد، متناسب با دانش، تجربه، اهداف و دغدغه‌هایی که دارند، بحران کم‌آبی را به عنوان یک واقعیت موجود، مستمر و قابل‌جبران پذیرفته‌اند. لذا هر کدام راهبردهای متفاوتی را برای مقابله با آن به کار می‌گیرند. آنها به حمایت از افراد و گروه‌های آسیب دیده از بحران کم‌آبی و تشویق شهروندان، صنعتگران، نخبگان و فعالان در زمینه مقابله با کم‌آبی می‌پردازند.

راهبرد دیگر تاب‌آوری فرهنگی در بحران کم‌آبی، روش‌های پیشگیرانه و قانونی برای جلوگیری از بدتر شدن وضعیت بحرانی در نتیجه‌ی برخی از رفتارهای غیرقانونی یا مخاطره‌آمیز برای شرایط بحران آب است. همچنین، تغییر در عادت‌واره‌های افراد، نظیر آنچه در تغییر در نوع تفریحات یا الگوی مصرف آب آنهاست و تغییر در عادت‌واره‌هایی مانند تغییر در نوع بهره‌برداری از آب و سایر منابع مرتبط با آن برای ذی‌نفعان و توسعه فرهنگ بازیافت و صرفه‌جویی در منابع آبی، هم در بعد مصرف و هم در بعد ذخیره‌سازی آب، از دیگر راهبردهاست. همچنین توسعه فرهنگ مشارکت برای اتخاذ تصمیمات صحیح‌تر، از جمله راهبردهای تاب‌آوری فرهنگی در بحران کم‌آبی زاینده‌رود می‌باشد. اتخاذ این راهبردهای متفاوت، پیامدهایی نیز به دنبال خواهد داشت که از جمله‌ی آن، توسعه اشتغال و کارآفرینی در سایه خلاقیت و نوآوری و همچنین افزایش سطح سواد عمومی آب و سطح آمادگی همه افراد جامعه در برابر بحران‌هاست.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بر اساس نتایج حاصله از این پژوهش، پیشنهادات زیر مطرح می‌شود: با توجه به مقوله زمینه‌ای عقاید مذهبی و باورهای فرهنگی و عامیانه مردم، از آنجایی که منابع دینی به عنوان تکیه‌گاه بزرگ خوش‌بینی و تاب‌آوری به حساب می‌آیند، انتظار می‌رود که افراد با جهت‌گیری‌های قوی مذهبی، خوش‌بین‌تر و در مواجهه با مشکلات تاب‌آورتر از سایر افراد باشند. اغلب افراد مومن معتقدند می‌توان از طریق اتکاء و توسل به خداوند، اثر موقعیت‌های غیر قابل کنترل را به طریقی کنترل نمود (Fountoulakis و همکاران، ۲۰۰۸)؛ لذا تقویت جنبه‌های اخلاقی و معنوی جامعه، خصوصاً صداقت در گفتار و عملکرد صحیح مسئولین در عمل به وعده‌ها و همچنین پرداختن به بنیه فرهنگی، هنری و ادبی جامعه اصفهان، می‌تواند در افزایش تاب‌آوری فرهنگی آن موثر واقع شود. همچنین افزایش اعتماد به نفس شهروندان در قبال داشتن سرمایه‌های فرهنگی، تاریخی، علمی و هنری عاملی مهم در ایجاد حس غرور و تاب‌آوری فرهنگی می‌باشد که می‌بایست از طریق توجه ویژه به این سرمایه‌های معنوی و مادی، مانند تجلیل از

بزرگان ادب و هنر اصفهان، حمایت از صنایع دستی و هنری و ... مد نظر تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد.

از دیگر مقوله‌های موثر در تاب‌آوری فرهنگی در بحران کم‌آبی، تقویت حس مسئولیت اجتماعی است. رشد مسئولیت اجتماعی در ارتباط با رشد آگاهی‌های اجتماعی، نگرانی برای سرنوشت دیگران و آمادگی برای انجام کنش است (ناجی و شیخ‌الاسلام، ۱۳۹۲). لذا ارتقا آگاهی مردم از ابعاد مختلف خشکسالی و پرهیز از هرگونه پنهان‌کاری و عدم انتشار اطلاعات صحیح، می‌تواند در تقویت حس مسئولیت اجتماعی شهروندان در جهت تاب‌آوری فرهنگی آنها موثر باشد و می‌بایست مدنظر مسئولان امر قرار گیرد. با توجه به مقولات علی‌این تحقیق که شامل وجود اطلاعات کافی و افزایش سواد آبی می‌باشد، می‌توان به راهکارهای اساسی برای این امر مانند انجام تحقیقات و مطالعات در زمینه پیش‌آگاهی، کنترل و مقابله با پیامدهای خشکسالی اشاره نمود؛ چراکه نتایج حاصل از اینگونه مطالعات می‌تواند ضمن کمک به برنامه‌ریزان و مدیران دستگاه‌های ذیربط، در رابطه با بهبود واکنش در برابر خشکسالی‌های آینده نیز شرایط مطلوب‌تری را برای کنترل و کاهش خسارات مربوط، فراهم آورد. در این راستا و هماهنگی با نتایج پژوهش حاضر، اولین گام برای مقابله با بحران خشکسالی در نواحی مختلف کشور و تعدیل اثرات آن، شناخت و درک واقعیت خشکسالی به ویژه اثرات متقابل پیامدها و علل چندگانه آن است (زرین و داداشی‌رودباری، ۱۴۰۰). لذا انجام هر چه بیشتر تحقیقات توسط پژوهشگران در این زمینه خصوصاً از زاویه فرهنگی توصیه می‌شود. از دیگر نتایج این پژوهش، حمایت از افراد و گروه‌های آسیب‌دیده از بحران کم‌آبی است که از بارزترین آنها حمایت از کارآفرینی در زمینه گردشگری است؛ چراکه شهر اصفهان با توجه به توان بالای گردشگری شهری، همواره مورد توجه علاقه‌مندان داخلی و خارجی بوده است. از این رو برای توسعه گردشگری و نیز پایداری گردشگری نیازمند به برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه از فضاهای گردشگری شهری است (وارثی و صفرآبادی، ۱۳۹۳). همچنین توسعه گردشگری سلامت، ابزاری برای توسعه جامعه محسوب شده و موجب افزایش سرمایه‌گذاری در بخش‌های سیاسی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی جامعه، اشتغال‌زایی، افزایش درآمد و رضایت و نشاط مردم می‌شود و می‌تواند به عنوان راهکاری مهم برای افزایش سطح تاب‌آوری فرهنگی جامعه و دستیابی به دستاوردهای پایدار از این شرایط بحران، در دستور کار تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد. در ارتباط با مقوله اقدامات پیشگیرانه، یکی از رویکردها می‌تواند رویکرد پیشگیرانه مبتنی بر مدیریت ریسک خشکسالی باشد که می‌بایست با ایجاد کمیته اضطرار خشکسالی توسط دولت به آن شکل منسجم‌تری بخشید. بدین منظور، اصلاح ساختار تصمیم‌گیری و نیز رشد و توسعه نهادهایی نظیر تشکلهای غیردولتی، می‌تواند به بهبود اوضاع کمک کند.

در خصوص محدودیت‌های این پژوهش، با توجه به ساختار متمرکز در حکمرانی آب کشور، می‌توان به محدودیت دسترسی به مسئولان بلندپایه در حوزه تصمیم‌گیری آب زاینده‌رود اشاره کرد. همچنین با توجه به مسائل و درگیری‌های به وجود آمده در سال‌های اخیر، بین کشاورزان و نیروهای انتظامی و پیداشدن جوانب سیاسی و امنیتی در این خصوص، برخی از کشاورزان رغبت چندانی به پاسخگویی به سؤالات را نداشتند و یا در بیان دیدگاه‌هایشان جانب احتیاط به عمل می‌آوردند. از دیگر محدودیت‌ها دسترسی نسبتاً محدود به مبنای نظری کافی در حوزه تاب‌آوری فرهنگی بود.

## منابع

- استراس، آنسلم، و کوربین، جولیت. (۱۳۹۳). اصول روش تحقیق کیفی: نظریه‌مبنایی، رویه‌ها و شیوه‌ها. مترجم: بیوک محمدی. پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی. چاپ سوم، تهران، ایران.
- امینی‌فسخودی، عباس، و میرزایی، مهنوش. (۱۳۹۲). پیامدهای بحران کم‌آبی و خشک‌شدن زاینده‌رود در مناطق روستایی (مطالعه موردی: جلگه برآن در شرق اصفهان). توسعه محلی (روستایی-شهری)، ۵(۲)، ۱۵۷-۱۸۰. doi: 10.22059/jrd.2013.50589
- بشیری، سعید، بیات، بهرام، جمشیدی، شروین، و صالح‌زاده، رضا. (۱۴۰۰). تبیین ابعاد و مولفه‌های تاب‌آوری در مدیریت بحران (مورد مطالعه: شهر تهران). مطالعات بین‌رشته‌ای دانش راهبردی، ۱۱(۴۴)، ۶۱-۹۶. Dor: 20.1001.1.24234621.1400.11.44.3.2
- حسینی، سید قاسم. (۱۳۹۷). تحلیلی بر چالش‌ها و آسیب‌پذیری تاب‌آوری فرهنگی در اجتماع بومی (مطالعه موردی تالاب‌های محلی فریدون کنار). جامعه‌شناسی نهادهای اجتماعی، ۵(۱۲)، ۲۶۹-۲۹۱. doi: 10.22080/ssi.1970.2140
- خدامرادی، صادق، مداحی، محمدابراهیم، احدی، حسن، بشارت، محمدعلی، و مظاهری تهرانی، محمد مهدی. (۱۴۰۰). مقدمه بر مفهوم‌پردازی تاب‌آوری فرهنگی. مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی (مطالعات راهبردی جهانی شدن)، ۱۱(۳۸)، ۲۷۶-۲۹۷.
- رامشت، محمدحسین، عباسی، علیرضا، و منتظری، مجید. (۱۳۷۹). تحول تاریخ طبیعی زاینده‌رود و شکل‌گیری مدنیت در حاشیه آن. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)، ۱۱(۲)، ۱۰۱-۱۱۶.
- رضایی میرقائد، طوبی، و گلی، ساره. (۱۳۹۹). آنالیز داده‌های شاخص‌های تاب‌آوری شهر اصفهان در برابر بحران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده علوم ریاضی، اصفهان، ایران.
- زرین، آذر، و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۰). مدیریت ریسک خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم: نقش سیاست‌های ملی و برنامه مدیریت خشکسالی (DMP). آب و توسعه پایدار، ۸(۱)، ۱۰۷-۱۱۲.
- شمس احمد، مهران. (۱۴۰۰). ساختار و کارکردهای فرهنگ تأملی در خاستگاه چیستی و چرایی فرهنگ اجتماعی). آگرن کتاب، تهران، ایران.
- فائقی، سحر، و نوابخش، مهرداد. (۱۳۹۵). بر ساخت معنایی پیامدهای فرهنگی کم‌آبی و خشکسالی زاینده‌رود (با تأکید بر هویت فرهنگی شهروندان اصفهانی). مطالعات توسعه اجتماعی ایران، ۴(۴)، ۳۵-۵۹. <https://sanad.iau.ir/Journal/jisds/Article/821548>
- مروج تربتی، خاطره، و پورنادری، حسین. (۱۳۹۲). بررسی تداوم سنت‌های موثر در شکل‌گیری پل خواجه بر اساس مطالعه تطبیقی پل‌های تاریخی شهر اصفهان. باغ نظر، ۱۰(۲۷)، ۶۱-۷۰.
- ناجی، الهام سادات، و شیخ‌الاسلام، سیده فردوس. (۱۳۹۲). جامعه‌پذیری موفق زمینه‌ساز مسوولیت‌پذیری جوانان. کنگره پیشگامان پیشرفت. دوره چهارم، کتابخانه ملی جمهوری اسلامی، اسفند ۱۳۹۲، شیراز، ایران. <https://sid.ir/paper/864515/fa>
- وارثی، حمید، و صفراآبادی، اعظم. (۱۳۹۳). نقش عوامل اجتماعی گردشگری در توسعه گردشگری شهری (مورد مطالعه: شهر اصفهان). مطالعات جامعه شناختی شهری (مطالعات شهری)، ۴(۱۲)، ۱۰۱-۱۲۸. <https://sanad.iau.ir/Journal/urb/Article/1015948>
- یادگاری‌فر، فاطمه، پودینه، محمدرضا، و اسماعیل‌نژاد، مرتضی. (۱۴۰۲). ارزیابی تاب‌آوری شهرستان زاهدان در برابر بحران آب و خشکسالی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۳(۶۸)، ۳۴۵-۳۶۴. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22287736.1.300.0.0.101.4>
- Abi-hashem, N. (2011). On Cultural Resiliency. The Australian community Psychologist, 23(2), 23-31.
- Colaizzi, P.F. (1978). Psychological research as a phenomenologist views it. In: Valle, R.S. and King, M., Eds., Existential-Phenomenological Alternatives for Psychology, Oxford University Press, New York, 48-71.
- Fountoulakis, N., Siamouli, M., Magiria, S. & Kaprinis, G. (2008). Late-life depression, religiosity, cerebrovascular disease, cognitive impairment and attitudes towards death in the elderly: Interpreting the data. Medical Hypothesis, 70(3), 493-496. DOI: 10.1016/j.mehy.2007.01.093
- Holtorf, C. (2018). Embracing change: How cultural resiliencies increased through cultural heritage. World Archaeology, 50(4), 639-650. <https://doi.org/10.1080/0043824.3.2018.1510340>

- Isidiho, A, Sabran, M, & Sufian Burhan, N. (2023). Resiliency and Sustainability after Oil Spill in Imo State and the Niger Delta Region of Nigeria. *Journal of Contemporary Issues and Thought*, 13(1), 50-61. <https://doi.org/10.37134/jcit.vol13.1.6.2023>
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. SAGE, Thousand Oaks, 289-331.
- Plieninger, T., & Bieling, C. (2012). *Resilience and Cultural Landscape: Understanding and Managing change in human shaped environments*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139107778>
- Richman, J. & Fraser, M. (2001). Resilience in childhood: The role of risk and protection. *The Context of Youth Violence: Resilience, Risk and Protection*. 1-12
- Smyntyna, O. (2016). Cultural Resilience theory as an Instrument of Modeling of Human response to the global climate change. A case study in the north western Black sea region on the Pleistocene – Holocene boundary. *RIPARIA*, 2, 1-20. <http://dx.doi.org/10.25267/Riparia.2016.v2.01>



## Investigation of Flow Hydraulics in Flooded Meandering Rivers under the Effect of Floodplain Width Change

M. Naghavi<sup>1\*</sup>, M. A. Mohammadi<sup>2\*</sup>

1, 2- Ph.D. in Civil Engineering, Hydraulic Structures and Professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

\*(Corresponding Author Email: m.naghavi@urmia.ac.ir)

Received: 13-11-2023

Revised: 21-01-2024

Accepted: 30-01-2024

Available Online: 26-05-2024

## بررسی هیدرولیک جریان در پیچان رودهای سیلابی تحت اثر تغییر عرض سیلاب دشت

محمد نقوی<sup>۱\*</sup>، میرعلی محمدی<sup>۲\*</sup>

۱ و ۲- به ترتیب دکتری مهندسی عمران-آب و سازه‌های هیدرولیکی و استاد مهندسی عمران-هیدرولیک و مکانیک مهندسی رودخانه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

\*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: m.naghavi@urmia.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰

### Abstract

Flood plains of rivers play a significant role in the transfer of flood discharge. In this research, the vertical distribution of the longitudinal and transverse flow velocities and the amount of discharge passing through different sections of the main channel in flooded meandering rivers under the effect of the change in floodplain width and relative depth were investigated. Because the fact that the width of the floodplain is constantly changing along the river's path, in this article, from the four meandering compound channels with floodplain widths of 3.3, 4.31, 5.32, and 6.33 meters and three relative depths of 0.26, 0.35 and 0.45 were used. The results of the numerical simulation showed that with the increase in the width of the floodplain, the value of longitudinal and transverse flow velocities decreases and these changes in the transverse and longitudinal flow velocities are more noticeable due to the change in the width of the floodplain in the middle sections and above the overflow depth of the main channel, so that with the increase 92% of the width of the floodplain, the value of the maximum transverse and longitudinal flow velocity in the middle section decreases by 21% and 25%, respectively. Also, according to the results of this research, with a 92% increase in the width of the floodplain, the average flow velocity and discharge through different sections of the main channel will decrease by 24% and 33%, respectively.

**Keywords:** Meandering Compound Channel, Longitudinal Velocity, Transverse Velocity, Floodplain Width Change, Numerical Simulation.

### چکیده

سیلاب دشت رودخانه‌ها نقش به‌سزایی در انتقال دبی سیلاب دارند. در این پژوهش توزیع قائم سرعت‌های طولی و عرضی جریان و میزان دبی گذرا از مقاطع مختلف کانال اصلی در پیچان‌رودهای سیلابی تحت اثر تغییر عرض سیلاب دشت و عمق نسبی بررسی شد. باتوجه‌به اینکه عرض سیلاب دشت در طول مسیر رودخانه دائماً در حال تغییر است، در این پژوهش از چهار کانال مرکب پیچان با عرض سیلاب دشت ۳/۳، ۴/۳۱، ۵/۳۲ و ۶/۳۳ متر و سه عمق نسبی ۰/۲۶، ۰/۳۵ و ۰/۴۵ استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی عددی نشان داد با افزایش عرض سیلاب دشت از مقدار سرعت‌های عرضی و طولی جریان کاسته می‌شود. تغییرات در سرعت‌های عرضی و طولی جریان باتوجه‌به تغییر عرض سیلاب دشت در مقاطع میانی و بالای عمق لبریز کانال اصلی محسوس‌تر است به‌طوری‌که با افزایش ۹۲ درصدی عرض سیلاب دشت، مقدار حداکثر سرعت عرضی و طولی جریان در مقطع میانی، به ترتیب ۲۱ و ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین براساس نتایج این پژوهش، با افزایش ۹۲ درصدی عرض سیلاب دشت، مقدار سرعت متوسط جریان و دبی عبوری از مقاطع مختلف کانال اصلی به ترتیب ۲۴ و ۳۳ درصد کاهش می‌یابد.

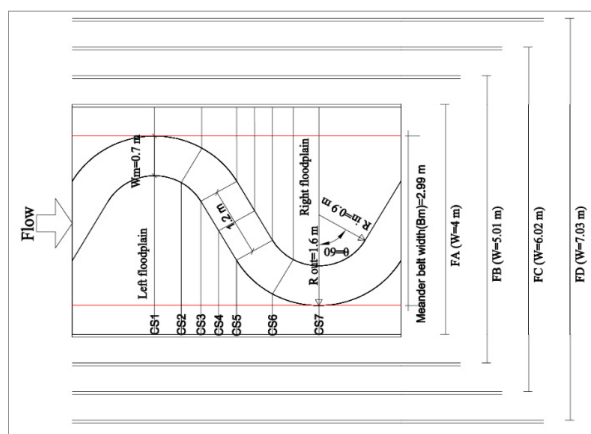
**واژه‌های کلیدی:** کانال مرکب پیچان، سرعت طولی، سرعت عرضی، تغییر عرض سیلاب دشت، شبیه‌سازی عددی.

با طغیان رودخانه در هنگام وقوع سیل و گسترش آن در سیلاب دشت‌ها، مطالعه عرض سیلاب دشت موجود در حاشیه رودخانه در شرایط سیلابی اهمیت زیادی دارد. رودخانه‌ها در طول مسیر خود با عبور از مناطق مختلف همواره شاهد دستخوش تغییراتی در عرض سیلاب دشت می‌باشند به‌طوری که در برخی نقاط به‌ویژه در دشت‌ها، عرض سیلاب دشت آن گسترش یافته و در برخی مناطق کوهستانی با کاهش عرض سیلاب دشت مواجه هستند. هر تغییر عرض سیلاب دشت به‌ویژه در مواقع سیلابی روی شرایط هیدرولیکی جریان نقش به‌سزایی دارد. در شرایط عادی رودخانه، جریان در کانال اصلی برقرار است، درحالی‌که در سیلاب‌های شدید، سطح جریان از کانال اصلی فراتر رفته و وارد سیلاب‌دشت‌ها می‌شود. در این حالت، مقطع جریان عبوری به‌صورت یک کانال مرکب در می‌آید. جریان در کانال مرکب با ساختار پیچیده ناشی از وجود لایه برشی در فصل مشترک بین کانال اصلی و سیلاب دشت شناخته می‌شود. اثر متقابل جریان سریع کانال اصلی و جریان آرام سیلاب دشت در حوالی فصل مشترک منجر به ایجاد آشفتگی و انتقال اندازه حرکت بین این دو ناحیه می‌شود. این تبادل اندازه حرکت موجب ایجاد مقاومت اضافی جریان و در نتیجه کاهش ظرفیت آب‌گذری کانال می‌شود. پیش‌بینی ویژگی‌های جریان در کانال‌های مرکب پیچان به دلیل ماهیت سه بعدی جریان، یک کار چالش برانگیز برای مهندسان رودخانه می‌باشد و تاکنون در این زمینه پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است. کار میدانی در زمینه هیدرولیک رودخانه تا حدودی دشوار است زیرا هندسه کانال مرکب معمولاً در شرایط طغیان رودخانه اتفاق می‌افتد که جمع‌آوری داده‌ها در این شرایط گاهی خطرناک می‌باشد. برای این منظور اکثر پژوهش‌ها به‌صورت آزمایشگاهی یا عددی می‌باشد. به‌عنوان مثال آزمایش‌هایی توسط Ervine و همکاران (۱۹۹۳)، Shiono و Muto (۱۹۹۸)، Lyness و همکاران (۲۰۰۱)، Wormleaton و همکاران (۲۰۰۴)، Shiono و همکاران (۲۰۰۸) و Naghavi و همکاران (۲۰۲۲؛ ۲۰۲۳a و ۲۰۲۳b) برای بررسی پارامترهای اصلی موثر در کانال‌های مرکب پیچان انجام شد. آن‌ها دریافتند جریان سیلاب می‌تواند به طور قابل توجهی جریان کانال اصلی در بخش‌های مختلف را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج این پژوهش‌ها نشان داد با افزایش تراکم ساختمان‌ها، مقدار سرعت بی‌بعد شده جریان در کانال اصلی افزایش یافته و مقدار سرعت جریان در کانال اصلی برای کانال با آرایش موانع سازه‌ای عمود بر جریان سیلاب دشت بیشتر از کانال با آرایش موانع سازه‌ای موازی با جریان سیلاب دشت است. Liu و همکاران (۲۰۱۴) با ارائه یک مدل تحلیلی، توزیع سرعت جریان در طول خم کانال مرکب پیچان را بررسی کردند.

براساس نتایج این پژوهش، نیروی گریز از مرکز عمدتاً در افزایش سرعت عرضی جریان موثر است و باتوجه‌به تأثیر نیروی گریز از مرکز در کانال‌های مرکب پیچان، مقدار سرعت عرضی جریان در کانال اصلی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. Liu و همکاران (۲۰۱۶) خصوصیات جریان در کانال‌های مرکب پیچان را تحت اثر سیلاب دشت پوشیده با چمن بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد وجود چمن در سیلاب دشت روی انتقال کانال تأثیر قابل توجهی دارد و میزان دبی عبوری آن را نسبت به حالت کانال صاف ۳۰ درصد کاهش می‌دهد. Shan و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل تحلیلی برای برآورد منحنی دبی-اشل در کانال مرکب پیچان با پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر مستغرق ارائه کردند. نتایج نشان داد همگرایی خوبی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برقرار است. Shan و همکاران (۲۰۱۸) زاویه مسیرجریان دو بعدی متوسط در امتداد خم پیچان در کانال‌های مرکب پیچان‌رودی را پیش‌بینی کردند. اندازه‌گیری‌ها نشان داد ارتفاع سلول جریان ثانویه در کانال اصلی با پوشش گیاهی در سیلاب دشت نسبت به یک کانال بدون پوشش گیاهی افزایش می‌یابد و زاویه مسیر جریان به ارتفاع سلول جریان ثانویه وابسته است. Moncho-Estevé و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی عددی ساختار جریان در کانال‌های مرکب پیچان و مقایسه نتایج با داده‌های آزمایشگاهی Shiono و Muto (۱۹۹۸) نشان دادند برای شرایطی که سطح جریان در عمق لبریز کانال اصلی واقع شده، انرژی جنبشی حداکثر در نزدیکی دیواره‌ها و بستر کانال اصلی به دلیل نیروی برشی قوی این مناطق رخ می‌دهد. همچنین میزان آشفتگی در سطح آب بیشتر از هسته مرکزی کانال می‌باشد. نقوی و همکاران (۱۳۹۸؛ ۱۳۹۹؛ ۱۴۰۰الف؛ ۱۴۰۰ب) پژوهش‌های عددی روی الگوی جریان در کانال‌های مرکب پیچان انجام دادند. آن‌ها در این پژوهش‌ها با بررسی عددی مشخصات هیدرولیکی جریان در کانال‌های مرکب پیچان و مقایسه آن با داده‌های آزمایشگاهی نشان دادند نرم‌افزار Flow3D و مدل آشفتگی RNG دقت بالایی در مدل‌سازی کانال مرکب پیچان دارد. در این پژوهش‌ها مشخص شد با افزایش میزان سینوسیته کانال مرکب پیچان، مقدار دبی عبوری از کانال اصلی و سرعت طولی جریان کاهش می‌یابد. نقوی و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از نرم‌افزار Flow3D ساختار جریان و تنش برشی بستر در کانال‌های مرکب پیچان تحت اثر تراکم سازه‌ای سیلاب دشت در مواقع سیلابی را بررسی کردند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی نشان داد با افزایش تراکم سازه‌ای روی سیلاب دشت از صفر به ۴۴ درصد، مقدار سرعت متوسط مقطع کانال اصلی به طور میانگین ۵۱ درصد و میزان دبی متوسط عبوری از مقطع کانال اصلی ۸۴ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش مقدار تراکم سازه‌ای روی سیلاب‌دشت، میزان تنش برشی بستر افزایش

جدول ۱- پارامترهای هندسی و هیدرولیکی (مشخصه‌های جریان) کانال‌های مرکب پیچان مورد استفاده در این پژوهش

| کانال مورد بررسی | عرض سیلاب دشت | عرض مرکب | دبی کل (Q)    | عمق نسبی (Dr) | عمق جریان (H) |
|------------------|---------------|----------|---------------|---------------|---------------|
| واحد             | (متر)         | (متر)    | مکعب بر ثانیه | ----          | (سانتی متر)   |
| FA1              | ۳/۳           | ۴        | ۰/۱۸۹         | ۰/۴۵          | ۲۵/۵          |
| FA2              | ۳/۳           | ۴        | ۰/۱۱۳         | ۰/۳۵          | ۲۱/۶          |
| FA3              | ۳/۳           | ۴        | ۰/۰۸۵         | ۰/۲۶          | ۱۸/۹          |
| FB1              | ۴/۳۱          | ۵/۰۱     | ۰/۱۸۹         | ۰/۴۵          | ۲۵/۵          |
| FB2              | ۴/۳۱          | ۵/۰۱     | ۰/۱۱۳         | ۰/۳۵          | ۲۱/۶          |
| FB3              | ۴/۳۱          | ۵/۰۱     | ۰/۰۸۵         | ۰/۲۶          | ۱۸/۹          |
| FC1              | ۵/۳۲          | ۶/۰۲     | ۰/۱۸۹         | ۰/۴۵          | ۲۵/۵          |
| FC2              | ۵/۳۲          | ۶/۰۲     | ۰/۱۱۳         | ۰/۳۵          | ۲۱/۶          |
| FC3              | ۵/۳۲          | ۶/۰۲     | ۰/۰۸۵         | ۰/۲۶          | ۱۸/۹          |
| FD1              | ۶/۳۳          | ۷/۰۳     | ۰/۱۸۹         | ۰/۴۵          | ۲۵/۵          |
| FD2              | ۶/۳۳          | ۷/۰۳     | ۰/۱۱۳         | ۰/۳۵          | ۲۱/۶          |
| FD3              | ۶/۳۳          | ۷/۰۳     | ۰/۰۸۵         | ۰/۲۶          | ۱۸/۹          |



شکل ۲- پلان جزئیات هندسی و موقعیت مقاطع عرضی

#### ۱- مدل‌سازی عددی و معادلات حاکم

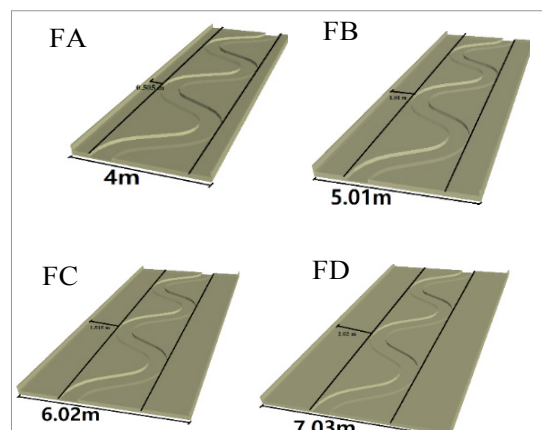
معادلات پایه مورد استفاده در نرم‌افزار Flow3D معادلات ناویر-استوکس می‌باشد که از پنج مدل آشفتگی مختلف در حل خصوصیات جریان‌های آشفته استفاده می‌کند. باتوجه به پژوهش‌های انجام شده روی کانال‌های مرکب، مدل آشفتگی RNG انطباق بهتری با داده‌های آزمایشگاهی داشته، بنابراین در این پژوهش از این مدل آشفتگی در مدل‌سازی استفاده شد (نقوی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین بررسی مطالعات عددی نشان می‌دهد مدل RNG می‌تواند تنش برشی رینولدز

یافته به‌طوری که مقدار حداکثر تنش برشی بستر از ۱/۳۲ به ۴/۶۱ پاسکال (حدود ۲۵۰ درصد) افزایش پیدا کرده است و به سمت مرکز کانال اصلی حرکت می‌کند.

در پژوهش‌هایی که تاکنون در کانال‌های مرکب پیچان انجام شده، تغییر عرض سیلاب دشت باتوجه به شرایط توپوگرافی منطقه که بخش مهمی از سیستم‌های رودخانه می‌باشد در نظر گرفته نشده است. بنابراین در این پژوهش اثر تغییر عرض سیلاب دشت و عمق نسبی کانال مرکب پیچان روی پروفیل قائم سرعت طولی و عرضی جریان و همچنین تغییرات دبی جریان عبوری از مقاطع مختلف با استفاده از مدل‌سازی عددی بررسی شد.

#### مواد و روش‌ها

برای بررسی سرعت طولی و عرضی جریان و همچنین تغییرات دبی جریان عبوری از مقاطع مختلف در کانال‌های مرکب پیچان تحت اثر تغییر عرض سیلاب دشت و عمق نسبی از چهار کانال مرکب پیچان با عرض سیلاب دشت مختلف و سه عمق نسبی متفاوت مطابق شکل (۱) و جدول (۱) استفاده شده است. عمق نسبی ( $Dr = h_f/H$ ) به‌صورت نسبت عمق جریان در سیلاب دشت ( $h_f$ ) به عمق جریان در کانال اصلی ( $H$ ) تعریف می‌شود. در همه کانال‌های مورد استفاده در این پژوهش، عرض و ارتفاع کانال اصلی به ترتیب ۰/۷ و ۰/۱۴ متر، شعاع قوس داخلی و خارجی ۰/۹ و ۱/۶ متر، طول خط اتصال خم‌ها ۱/۲ متر، عرض ناحیه پیچان ۲/۹۹ متر و میزان سینوسیته ( $s = L_m/L$ ) کانال ۱/۳۸۱ می‌باشد ( $L$  طول مستقیم کانال و  $L_m$  طول مسیر پیچان است). در شکل (۲) پلان مشخصات هندسی کانال مرکب پیچان مورد استفاده در این پژوهش، نشان داده شده است. براساس شکل (۲) سرعت جریان و دبی عبوری از کانال در هفت مقطع با استفاده از نرم‌افزار Flow3D بررسی شد.



شکل ۱- پلان شماتیک کانال‌های مرکب پیچان مورد استفاده در این پژوهش با عرض سیلاب دشت مختلف

را با دقت پیش‌بینی کرده و جریان‌های ثانویه را به درستی ایجاد کند. معادله پیوستگی و معادله اندازه حرکت در جهت محورهای مختصات سه‌گانه که به معادلات ناویر-استوکس موسوم‌اند برای جریان آشسته تراکم‌ناپذیر با لزجت و چگالی ثابت و در فرم تانسوری با روابط (۱) و (۲) معرفی می‌شوند (Naghavi و همکاران، ۲۰۲۳c).

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_i \frac{\partial U_i}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \nu \frac{\partial U_i}{\partial x_i} - \overline{u_i u_i} \right) \quad (2)$$

که در آن  $x_i$  و  $x_j$  محورهای مختصات،  $t$  زمان،  $\rho$  چگالی سیال،  $\bar{p}$  فشار متوسط،  $U_i$  و  $U_j$  سرعت و  $u_i' u_j'$  تانسور تنش رینولدز می‌باشند. همچنین در این پژوهش، برای پیش‌بینی تغییرات سطح آزاد جریان از روش حجم سیال (VOF) استفاده شد. پروفیل سطح آزاد جریان در روش (VOF) با تعریف تابع  $F(x,y,z,t)$  که بیانگر نسبت حجم اشغال شده توسط سیال به کل حجم می‌باشد و از معادلات (۳) و (۴) به‌دست می‌آید.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (F A_x u) + R \frac{\partial}{\partial y} (F A_y V) \right] + \frac{1}{V_F} \left[ \frac{\partial}{\partial z} (F A_z W) + \xi \left( \frac{F A_x u}{X} \right) \right] = FDIF + FSOR \quad (3)$$

$$FDIF = \frac{1}{V_F} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (v_F A_x \frac{\partial F}{\partial X} + R \frac{\partial}{\partial X} (v_F A_y \frac{\partial F}{\partial y})) \right] + \frac{1}{V_F} \left[ \frac{\partial}{\partial Z} (v_F A_z \frac{\partial F}{\partial z}) + \xi \left( \frac{F A_x v_F}{X} \right) \right] \quad (4)$$

در این روابط،  $u, v, w$  مؤلفه‌های سرعت،  $A_x, A_y, A_z$  جزء سطحی جریان در جهت‌های  $x, y, z$  و  $V_F$  جزء حجمی جریان می‌باشند. در سیستم مختصات کارتزین،  $R$  برابر ۱ بوده و  $\xi$  صفر می‌باشد. FSOR نرخ زمانی تغییرات جزء حجمی سیال ناشی از منبع جرم در یک سلول محاسباتی است. تعریف تابع  $F$  وابسته به مسئله‌ای است که مدل می‌شود. چنانچه یک سلول محاسباتی مشخص پر از آب باشد  $F=1$  و اگر سلول مورد نظر خالی باشد  $F=0$  و اگر سلول مورد نظر حاوی آب و هوا باشد  $0 < F < 1$  است.

## ۲- شبکه‌بندی میدان جریان و شرایط مرزی

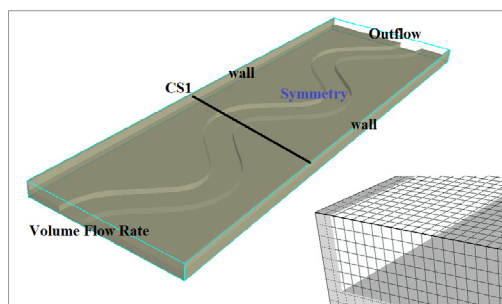
ساختن شبکه مناسب برای میدان حل معادلات، دقت محاسبات، هم‌گرایی و زمان محاسبات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در کلیه مدل‌های عددی، برای به‌دست آوردن نتایج درست و منطقی و کاهش خطا و زمان شبیه‌سازی، طبق راهنمای برنامه Flow3D ابعاد شبکه به‌صورتی تعیین شد که نسبت اندازه دو سلول مجاور و نسبت شکل تا حد ممکن نزدیک به ۱ باشد و مقدار حداکثر این دو پارامتر به ترتیب از ۱/۲۵ و ۳ تجاوز

نکند (Naghavi و همکاران، ۲۰۲۳c). در تحقیق حاضر پس از بررسی شبکه‌بندی‌های مختلف براساس جدول (۳) ریزکردن شبکه تا رسیدن به انحای مناسب در کانال اصلی پیمان رود و نزدیک شدن به نتایج آزمایشگاهی با سعی و خطاهای متعددی انجام شد. همچنین شرایط مرزی اعمال شده برای مدل عددی به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که با شرایط فیزیکی مدل آزمایشگاهی Liu و همکاران (۲۰۱۴) که برای صحت‌سنجی از آن استفاده شده هماهنگی داشته باشد. بنابراین باتوجه‌به داشتن دبی و عمق جریان ورودی، برای حل معادلات حاکم بر میدان جریان، شرایط مرزی و شبکه‌بندی هندسه کانال براساس جدول (۲) و شکل (۳) تعریف شده است. لازم به ذکر است نرم‌افزار Flow3D فاکتور  $K_s$  را به عنوان زبری معادل برای مشخصه ناهمواری بستر به‌صورت مقیاس طولی در نظر می‌گیرد. در این پژوهش باتوجه‌به ضریب زبری مانینگ ( $n=0.015$ ) ارائه شده در آزمایش‌های Liu و همکاران (۲۰۱۴) که در بخش صحت‌سنجی از آن استفاده شده و باتوجه‌به معادله Ackers (۱۹۹۱) که به‌صورت رابطه (۵) ارائه شده است، مقدار  $K_s$  برابر  $0.003$  متر به‌دست آمد، این مقدار در شبیه‌سازی‌ها به‌عنوان ضخامت زبری بستر در نظر گرفته شد.

$$K_s = (8.25n\sqrt{g})^6 \quad (5)$$

جدول ۲- شرایط مرزی اعمال شده به مدل

| خروجی کانال | ورودی کانال      | دیواره‌های کناری کانال | کف کانال | سقف کانال |
|-------------|------------------|------------------------|----------|-----------|
| خروج جریان  | دبی ورودی        | دیوار                  | دیوار    | تقارن     |
| Outflow     | Volume Flow Rate | wall                   | Wall     | Symmetry  |



شکل ۳- شرایط مرزی و شبکه‌بندی تعریف شده برای مدل عددی

## ۳- صحت‌سنجی نتایج

برای صحت‌سنجی و کنترل نتایج استخراج شده در این پژوهش، از داده‌های آزمایشگاهی Liu و همکاران (۲۰۱۴) استفاده شد. در پژوهش آزمایشگاهی Liu و همکاران (۲۰۱۴) شرایط جریان در

را افزایش می‌دهد. در نهایت باتوجه به اختلاف ناچیز بین نتایج شبکه‌بندی نوع F و FS، از شبکه‌بندی نوع F، باتوجه به مدت زمان کمتر محاسبات برای شبیه‌سازی‌ها استفاده شد. شکل (۴) مقایسه نتایج عددی پارامترها با شبکه‌بندی نوع F و داده‌های آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. مقدار خطای ریشه میانگین مربعات سرعت متوسط عمقی (DAV) در مقطع CS1 برای عمق نسبی ۰/۴۵ و ۰/۳۵ به ترتیب ۰/۰۸۱ و ۰/۰۵۲ است که نشان‌دهنده دقت مناسب شبیه‌سازی جریان توسط نرم‌افزار می‌باشد.

جدول ۳- مشخصات شبکه‌میدان محاسباتی و خطای ریشه میانگین مربعات

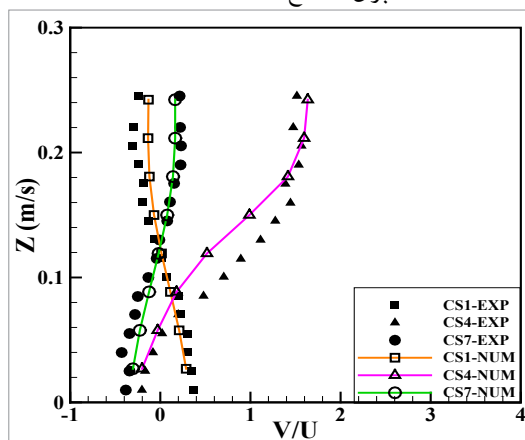
| RMSE<br>(DAV)-CS1<br>Dr=0.35<br>(m/s) | RMSE<br>(DAV)-CS1<br>Dr=0.45<br>(m/s) | ابعاد مش<br>مکعبی منظم<br>(سانتی‌متر) | نوع شبکه‌بندی |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| ۰/۱۱۴                                 | ۰/۱۳۱                                 | ۳                                     | درشت (C)      |
| ۰/۰۸۷                                 | ۰/۱۰۳                                 | ۱/۵                                   | متوسط (M)     |
| ۰/۰۵۲                                 | ۰/۰۸۱                                 | ۱                                     | ریز (F)       |
| ۰/۰۵۱                                 | ۰/۰۷۹                                 | ۰/۷۵                                  | خیلی ریز (FS) |

کانال FA1، FA2 و FA3 (براساس جدول ۱) بررسی شد. در این پژوهش از داده‌های مربوط به سرعت متوسط عمقی در مقطع CS1 و نسب سرعت عرضی به سرعت طولی جریان (V/U) در مقاطع CS1-7 برای صحت‌سنجی استفاده شد. به منظور بررسی میزان دقت نتایج مدل عددی نسبت به مقادیر آزمایشگاهی پس از بررسی شبکه‌بندی‌های مختلف براساس جدول (۳) از شاخص آماری خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE) براساس رابطه (۶) استفاده شد.

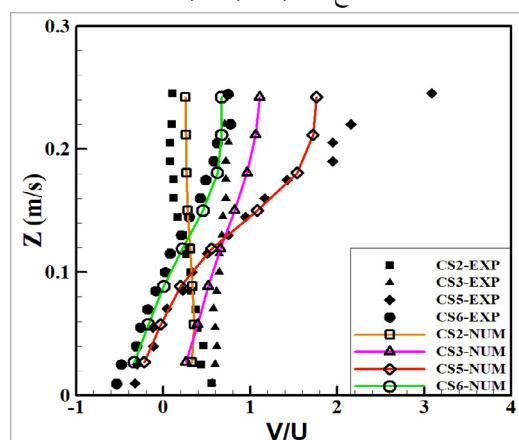
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - N_i)^2} \quad (6)$$

در این رابطه  $E_i$  و  $N_i$  به ترتیب مقادیر داده‌های عددی و آزمایشگاهی و  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد. در جدول (۳) عبارت DAV سرعت متوسط عمقی است. باتوجه به نتایج جدول (۳) مشخص شد خطای ریشه میانگین مربعات پارامترهای جریان بر اساس شبیه‌سازی با شبکه‌بندی ریز (نوع F) در مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی اختلاف ناچیزی دارد. همچنین در استفاده از شبکه‌بندی نوع FS، نتایج به دست آمده، اختلاف بسیار ناچیزی با شبکه‌بندی نوع F دارد، بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت کاهش ابعاد شبکه به بیش از یک مقدار معین، تنها کمی باعث بهتر شدن نتایج می‌شود اما مدت زمان شبیه‌سازی

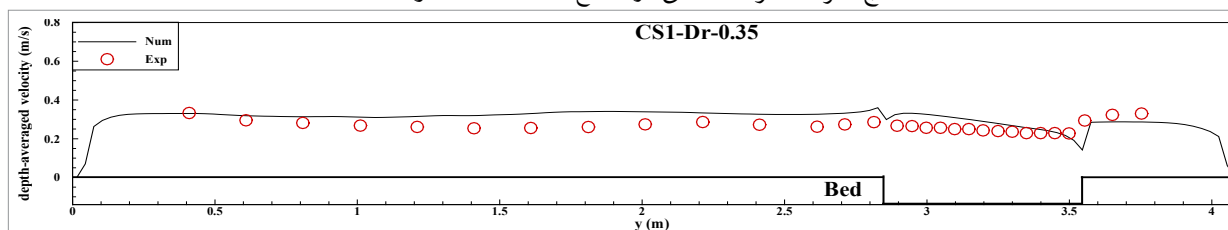
ب- نسبت سرعت عرضی به طولی در مرکز کانال اصلی FA1 برای مقاطع CS1, CS4, CS7



الف- نسبت سرعت عرضی به طولی در مرکز کانال اصلی FA1 برای مقاطع CS2, CS3, CS5, CS6



ج- سرعت متوسط عمقی در مقطع CS1 کانال FA1 و FA2



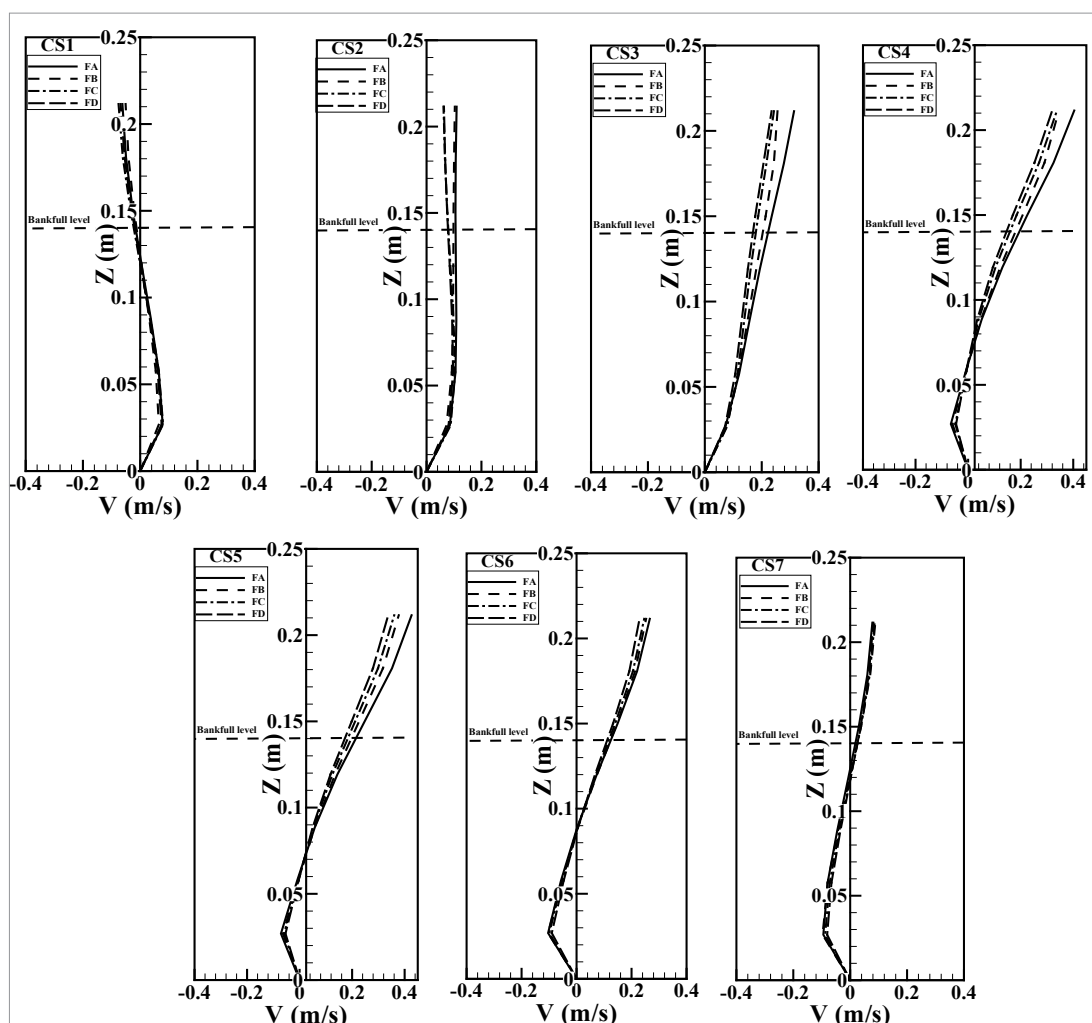
شکل ۴- مقایسه نتایج آزمایشگاهی (Liu و همکاران، ۲۰۱۴) و عددی سرعت جریان و منحنی دبی-عمق برای مدل با شبکه‌بندی نوع F



براساس شکل (۵)، در مقاطع میانی (CS2,3,4,5,6) باتوجه به عبور جریان سیلاب دشت بالادست از روی کانال اصلی، قدرت جریان عرضی افزایش می‌یابد و این افزایش در بالای عمق لبریز در مقطع CS4 به اوج خود می‌رسد. در مقطع CS1,7 نیز باتوجه به زاویه عبور جریان عبوری سیلاب دشت، میزان سرعت عرضی جریان به حداقل مقدار خود می‌رسد. در یک کانال مرکب پیچان با حرکت در طول خم، زاویه بین راستای جریان کانال اصلی و راستای سیلاب دشت مستقیم تغییر می‌کند (به عنوان مثال در کانال مرکب پیچان FA با میزان سینوسیته  $1/381$  زاویه  $\theta$  در مقطع CS1 برابر صفر درجه و در مقطع CS3 برابر ۶۰ درجه می‌باشد). بنابراین جریان عرضی ناشی از سیلاب دشت بالادست در طول خم پیچان با افزایش زاویه مقطع جریان افزایش می‌یابد.

## ۱- پروفیل قائم سرعت عرضی جریان در مرکز کانال اصلی

در شکل (۵) توزیع سرعت عرضی جریان در محور عمود بر مرکز کانال اصلی در مقاطع مختلف باتوجه به تغییر عرض سیلاب دشت در عمق نسبی  $0/45$  نمایش داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود با افزایش عرض سیلاب دشت از میزان سرعت عرضی جریان کاسته می‌شود و این تغییرات در مقاطع میانی و بالای عمق لبریز کانال اصلی محسوس‌تر است به طوری که با افزایش ۹۲ درصدی عرض سیلاب دشت، مقدار حداکثر سرعت عرضی جریان در مقطع میانی CS4، ۲۱ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ۵- توزیع سرعت عرضی جریان در محور عمود بر مرکز کانال اصلی

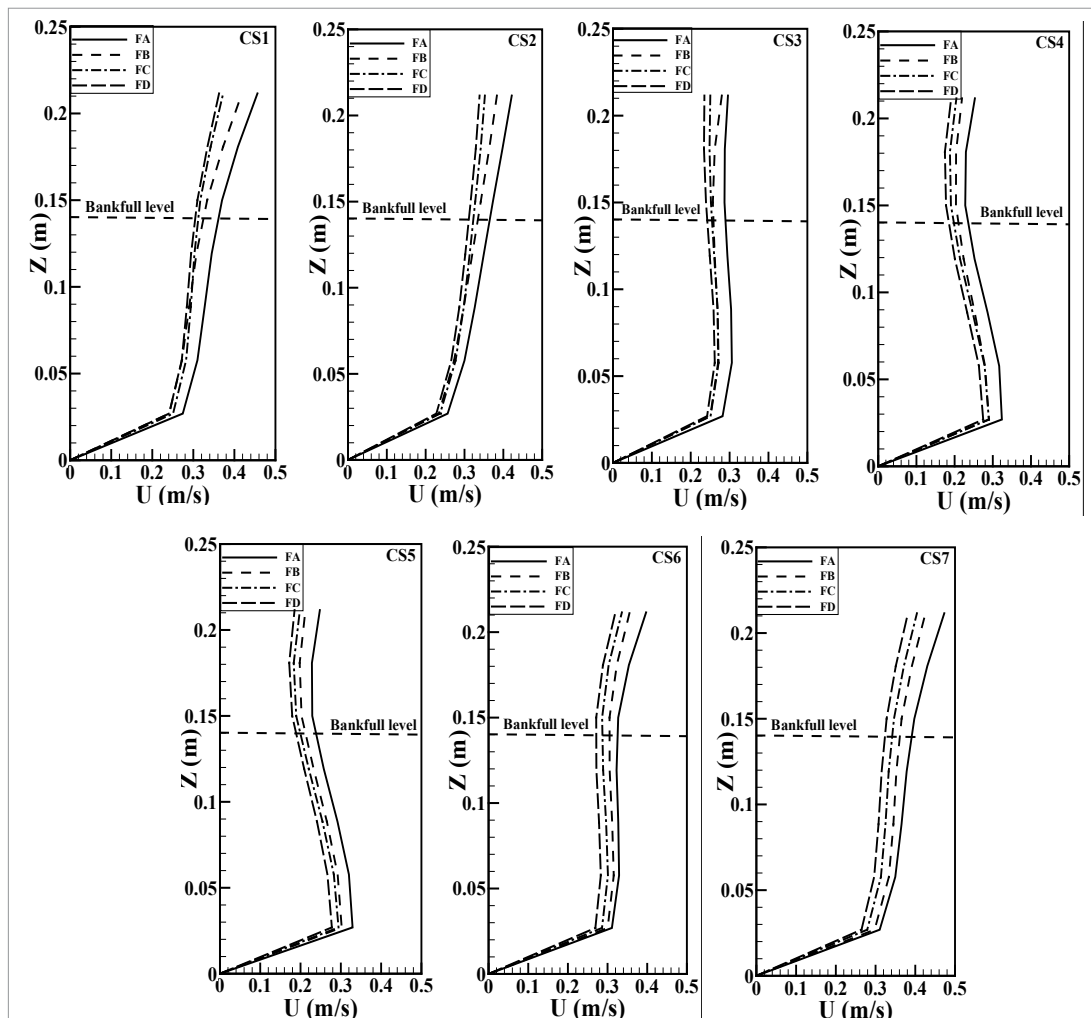
دشت در عمق نسبی  $0/45$  نمایش داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود با افزایش عرض سیلاب دشت از میزان سرعت طولی جریان کاسته می‌شود و این تغییرات در

## ۲- پروفیل قائم سرعت طولی جریان در مرکز کانال اصلی

در شکل (۶) توزیع سرعت طولی جریان در محور عمود بر مرکز کانال اصلی در مقاطع مختلف باتوجه به تغییر عرض سیلاب

جریان به حداکثر مقدار خود می‌رسد. با افزایش عرض سیلاب دشت از ۳/۳ متر در کانال FA به ۶/۳۳ متر در کانال FD (۹۲ درصد افزایش) مطابق شکل (۶) با افزایش ۹۲ درصدی عرض سیلاب دشت، مقدار حداکثر سرعت طولی جریان در مقاطع راس خم (CS1, CS7) ۲۰ درصد و در مقطع میانی CS4، ۲۵ درصد کاهش می‌یابد.

کانال FA به FB محسوس‌تر است. در مقاطع میانی (CS3,4,5) باتوجه به زاویه جریان سیلاب دشت عبوری از روی کانال اصلی و افزایش قدرت عرضی جریان، از مقدار سرعت طولی در بالای عمق لبریز کانال اصلی کاسته می‌شود اما در مقاطع (CS1,7) باتوجه به راستای جریان سیلاب دشت عبوری، قدرت جریان عرضی بسیار ناچیز است، بنابراین در این مقاطع سرعت طولی

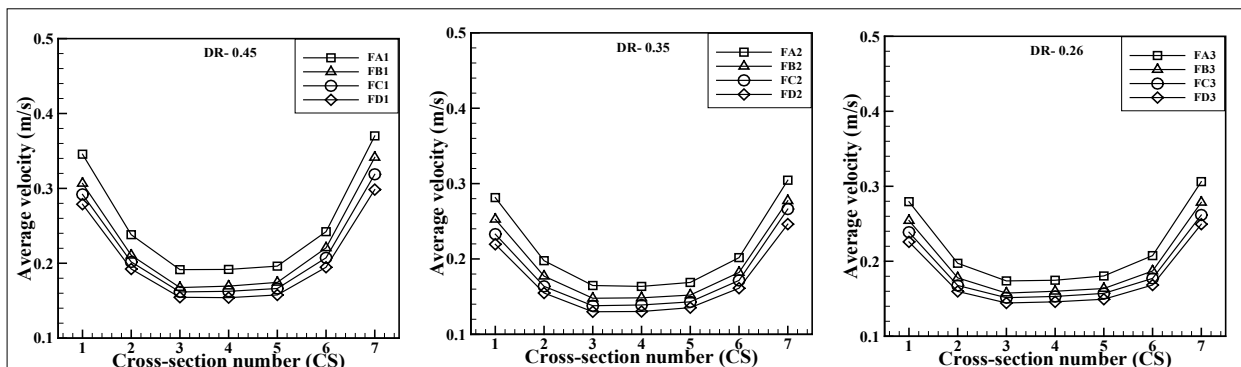


شکل ۶- توزیع سرعت طولی جریان در محور عمود بر مرکز کانال اصلی

تغییرات برای عرض سیلاب دشت پایین محسوس‌تر است (تغییر عرض سیلاب دشت از کانال FA به کانال FB) و به طور متوسط برای تمامی عمق‌های نسبی، مقدار سرعت متوسط کانال اصلی با افزایش ۹۲ درصدی عرض سیلاب دشت (از کانال FA به کانال FD) ۲۴ درصد کاهش می‌یابد. همچنین مطابق این شکل، در تمام کانال‌ها با افزایش عمق نسبی بر میزان سرعت متوسط مقاطع اصلی افزوده می‌شود به طوری که در عمق‌های نسبی بالا (از ۰/۳۵ به ۰/۴۵) این تغییرات محسوس‌تر است.

### ۳- تغییرات سرعت متوسط و میزان دبی عبوری از کانال اصلی در مقاطع مختلف

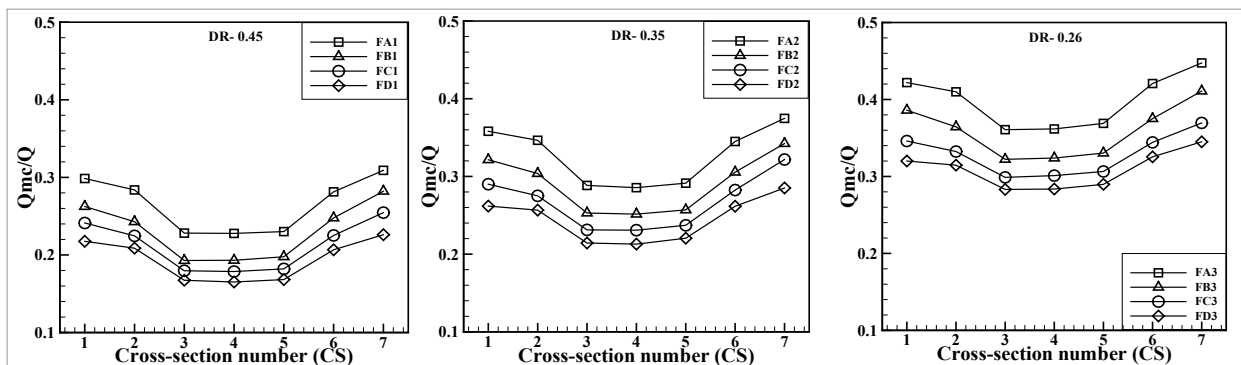
در این بخش سرعت متوسط کانال اصلی در مقطع CS1 تا CS7 کانال‌های مرکب پیمان باتوجه به تغییر عرض سیلاب دشت و عمق نسبی محاسبه می‌شود. شکل (۷) این تغییرات را برای کانال‌های FA تا FD نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودارها مشخص است با افزایش عرض سیلاب دشت، مقدار سرعت متوسط کانال اصلی کاهش می‌یابد به طوری که این



شکل ۷ - سرعت متوسط کانال اصلی در مقاطع مختلف

CS7 کاهش می‌یابد. علاوه بر این باتوجه به افزایش زاویه جریان بین کانال اصلی و سیلاب دشت در مقاطع میانی، اثر مولفه افقی جریان سیلاب دشت روی کانال اصلی بیشتر می‌شود. به عنوان مثال برای کانال مرکب پیچان مقدار مولفه افقی جریان سیلاب دشت  $(U_{fp}(y) = U_{fp} \sin \theta)$  باتوجه به افزایش مقدار زاویه  $\theta$ ، افزایش یافته (در CS3,4,5 زاویه  $\theta$  برابر ۶۰ درجه می باشد) و باعث تأثیر روی جریان ثانویه و تغییر دبی عبوری از کانال اصلی می‌شود. همچنین برای تمامی عمق‌های نسبی، میزان دبی عبوری از کانال اصلی با افزایش ۹۲ درصدی عرض سیلاب دشت (از کانال FA به کانال FD) به طور متوسط ۳۳ درصد کاهش می‌یابد و در تمامی کانال‌ها با افزایش عمق نسبی بر میزان دبی عبوری از کانال اصلی افزوده می‌شود.

در ادامه میزان دبی عبوری از هر مقطع کانال اصلی باتوجه به تغییر عرض سیلاب دشت کانال مرکب پیچان محاسبه شده است. در شکل (۸) این میزان تغییرات بر اساس نسبت دبی عبوری از کانال اصلی به دبی کل  $(Q_{mc}/Q)$  نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود با افزایش عرض سیلاب دشت از ۳/۳ به ۶/۳۳ متر (کانال FA به FD)، مقدار دبی عبوری از کانال اصلی کاهش می‌یابد. در مقاطع میانی (CS2-CS6)، جریان عرضی سیلاب دشت بالادست در کانال اصلی پیچان رود غرق شده و با جریان این کانال برخورد می‌کند. این فرایند، انرژی جنبشی اضافی را با تولید تنش برشی عمودی قوی تبدیل به افت انرژی می‌کند. در نتیجه این امر، قابلیت انتقال جریان در مقاطع میانی نسبت به مقاطع CS1 و



شکل ۸- میزان دبی عبوری از کانال اصلی در مقاطع مختلف

کاسته می‌شود و این تغییرات در مقاطع میانی و بالای عمق لبریز کانال اصلی محسوس‌تر است به طوری که با افزایش ۹۲ درصدی عرض سیلاب دشت، مقدار حداکثر سرعت عرضی جریان در مقطع میانی CS4، ۲۱ درصد کاهش می‌یابد. - با افزایش عرض سیلاب دشت از میزان سرعت طولی جریان کاسته می‌شود به طوری که با افزایش ۹۲ درصدی عرض سیلاب دشت، مقدار حداکثر سرعت طولی جریان در مقاطع راس خم (CS1, CS7) ۲۰ درصد و در مقطع میانی CS4، ۲۵ درصد کاهش می‌یابد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سرعت‌های طولی و عرضی جریان و میزان دبی گذرا از کانال اصلی در مقاطع مختلف کانال‌های مرکب پیچان باتوجه به تغییر عرض سیلاب دشت و عمق نسبی بررسی شد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان نتایج حاصل از این تحقیق را به شرح زیر بیان نمود:

- با افزایش عرض سیلاب دشت از میزان سرعت عرضی جریان

Advances in Water Resources, 74, 26-43. doi: [10.1016/j.advwatres.2014.08.003](https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.08.003)

Liu, C., Shan, Y., Liu, X., Yang, K., & Liu, H. (2016). The effect of floodplain grass on the flow characteristics of meandering compound channels. *Journal of Hydrology*, 542, 1-17. doi: [10.1016/j.jhydrol.2016.07.037](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.037)

Lyness, J. F., Myers, W. R. C., Cassells, J. B. C., & O'Sullivan, J. J. (2001). The influence of planform on flow resistance in mobile bed compound channels. *Proceedings of the ICE - Water and Maritime Engineering*, 148(1), 5-14. doi: [10.1680/wama.148.1.5.40367](https://doi.org/10.1680/wama.148.1.5.40367)

Moncho-Estevé, I., Palau-Salvador, G., García-Villalba, M., Muto, Y. and Shiono, K. (2018). A numerical study of the complex flow structure in a compound meandering channel. *Advances in Water Resources*, 116, 95-116. doi: [10.1016/j.advwatres.2018.03.013](https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.03.013)

Naghavi, M., Mohammadi, M., & Mahtabi, G. (2022). An experimental evaluation of the blocks in floodplain on hydraulic characteristics of flow in a meandering compound channel. *Journal of Hydrology*, 612, 127976. doi: [10.1016/j.jhydrol.2022.127976](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127976)

Naghavi, M., Mohammadi, M., & Mahtabi, G. (2023a). The effect of building arrangement on the flow characteristics in meandering compound channels. *Journal of Environmental Management*, 331, 117288. doi: [10.1016/j.jenvman.2023.117288](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117288)

Naghavi, M., Mohammadi, M., Mahtabi, G., & Abraham, J. (2023b). Experimental assessment of velocity and bed shear stress in the main channel of a meandering compound channel with one-sided blocks in floodplain. *Journal of Hydrology*, 617, 129073. doi: [10.1016/j.jhydrol.2023.129073](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129073)

Naghavi, M., Mohammadi, M., & Mahtabi, G. (2023c). Transverse Velocities and Vortices in Compound Meandering Channel: Effect of Building Arrangement in the Floodplains. *Journal of Hydraulic Structures*, 6(3), 66-87. 117288. doi: [10.22055/jhs.2023.45051.1267](https://doi.org/10.22055/jhs.2023.45051.1267)

Shan, Y., Liu, X., Yang, K., & Liu, C. (2017). Analytical model for stage-discharge estimation in meandering compound channels with submerged flexible vegetation. *Advances in Water Resources*, 108, 170-183. doi: [10.1016/j.advwatres.2017.07.021](https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.07.021)

- در مقاطع میانی (CS3,4,5) باتوجه به زاویه جریان سیلاب دشت عبوری از روی کانال اصلی و افزایش قدرت عرضی جریان، کاهش مقدار سرعت طولی در بالای عمق لبریز کانال اصلی محسوس تر است.

- با افزایش عرض سیلاب دشت، مقدار سرعت متوسط و دبی عبوری از هر مقطع کانال اصلی کاهش می یابد به طوری که این تغییرات برای عرض سیلاب دشت پایین محسوس تر است (تغییر عرض سیلاب دشت از کانال FA به کانال FB) و به طور متوسط برای تمامی عمق های نسبی، مقدار سرعت متوسط و دبی عبوری از هر مقطع کانال اصلی با افزایش ۹۲ درصدی عرض سیلاب دشت (از کانال FA به کانال FD) به ترتیب ۲۴ و ۳۳ درصد کاهش می یابد.

## منابع

نقوی، محمد، محمدی، میرعلی، و مهتابی، قربان. (۱۳۹۸). سرعت جریان در کانال مرکب پیچان تحت تأثیر ضریب خمیدگی. *مهندسی عمران مدرس*، ۱۹(۵)، ۲۰۸-۲۱۹. <https://mcej.modares.ac.ir/article-16-30266-fa.html>

نقوی، محمد، محمدی، میرعلی، و مهتابی، قربان. (۱۳۹۹). شدت آشفته گی و تنش برشی جداره در کانال مرکب پیچان تحت اثر تغییر ضریب خمیدگی. *مدل سازی در مهندسی*، ۱۸(۶۰)، ۵۳-۶۹. doi: [10.22075/JME.2019.18692.1776](https://doi.org/10.22075/JME.2019.18692.1776)

نقوی، محمد، محمدی، میرعلی، و مهتابی، قربان. (۱۴۰۰، الف). خصوصیات جریان های عرضی در کانال های مرکب پیچان. *نشریه مهندسی عمران امیرکبیر*، ۵۳(۸)، ۳۴۹۹-۳۵۱۶. doi: [10.22060/CEEJ.2021.17983.6728](https://doi.org/10.22060/CEEJ.2021.17983.6728)

نقوی، محمد، محمدی، میرعلی، و مهتابی، قربان. (۱۴۰۰، ب). تأثیر عمق نسبی سیلاب روی هیدرولیک جریان در کانال های مرکب پیچان. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۱(۳)، ۵۵-۷۸. doi: [10.22125/TWE.2021.128113](https://doi.org/10.22125/TWE.2021.128113)

نقوی، محمد، محمدی، میرعلی، و مهتابی، قربان. (۱۴۰۳). اثر تراکم سازه های حاشیه پیچان رودها روی مشخصات جریان در مواقع سیلابی. *مدیریت آب و آبیاری*، ۱۴(۱)، ۱۲۳-۱۳۹. doi: [10.22059/TWIM.2023.364637.1101](https://doi.org/10.22059/TWIM.2023.364637.1101)

Ervine, D. A., Willetts, B. B., Sellin, R. H. J., & Lorena, M. (1993). Factors Affecting Conveyance in Meandering Compound Flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(12), 1383-1399. doi: [10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1993\)119:12\(1383\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1993)119:12(1383))

Liu, C., Wright, N., Liu, X., & Yang, K. (2014). An analytical model for lateral depth-averaged velocity distributions along a meander in curved compound channels.

- Shan, Y., Huang, S., Liu, C., Guo, Y., & Yang, K. (2018). Prediction of the depth-averaged two-dimensional flow direction along a meander in compound channels. *Journal of Hydrology*, 565, 318-330. doi: [10.1016/j.jhydrol.2018.08.004](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.004)
- Shiono, K., & Muto, Y. (1998). Complex flow mechanisms in compound meandering channels with overbank flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 376, 221-261. doi: [10.1017/S0022112098002869](https://doi.org/10.1017/S0022112098002869)
- Shiono, K., Spooner, J., Chan, T. L., Rameshwaran, P., & Chandler, J. H. (2008). Flow characteristics in meandering channels with non-mobile and mobile beds for overbank flows. *Journal of Hydraulic Research*, 46(1), 113-132. doi: [10.1080/00221686.2008.9521848](https://doi.org/10.1080/00221686.2008.9521848)
- Wormleaton, P. R., Sellin, R. H. J., & Bryant, T. (2004). Conveyance in a two-stage meandering channel with a mobile bed. *Journal of Hydraulic Research*, 42(5), 493-506. doi: [10.1080/00221686.2004.9641219](https://doi.org/10.1080/00221686.2004.9641219)



## A Study on the Internal Erosion of Gap-Graded Soils

M. Nazari<sup>1</sup>, A. Maroof<sup>2</sup>, A. Akhtarpour<sup>3\*</sup>, J. Bolouri Bazaz<sup>3</sup>

1, 3- MSc in Geotechnics and Associate Professor, Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 2- Ph.D. in Geotechnics, Department of Civil Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

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

Received: 08-02-2024

Revised: 18-04-2024

Accepted: 20-04-2024

Available Online: 30-05-2024

## بررسی فرسایش داخلی در رسوبات آبرفتی با دانه‌بندی گسسته

ملیحه نظری<sup>۱</sup>، علی معروف<sup>۲</sup>، علی اخترپور<sup>۳\*</sup>، جعفر بلوری بزاز<sup>۳</sup>

۱ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئوتکنیک و دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۲- دانش‌آموخته دکتری ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

\*(نویسنده مسئول، E-Mail: Akhtarpour@um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰

### Abstract

Internal erosion is a common reason for dam failure, which is caused by soil subsidence and the formation of sinkholes. This phenomenon typically occurs in internally unstable soils. The dam is located in Neyshabour City and is built on a deep alluvial foundation with gap-graded and concave gradation soils. This study aims to investigate the potential for soil suffusion and the impact of compaction and surcharge on internal erosion. Initially, Data was collected after the dam impounding, index tests were conducted on soil samples. Subsequently, three methods were used to assess the probability of suffusion based on the particle size distribution and experimental criteria. Two methods indicated soil was internally unstable, while one method indicated stability. To study the influence of compaction. Soil samples were tested at different densities under four water head conditions. The results indicated that the soil has the potential for suffusion and is internally unstable. Furthermore, the study found that compaction reduced soil erosion, with the amount of washed fine particles decreasing from 4.5% at 70% relative density to 0.37% at 85% density. Moreover, increasing compaction from 70% to 85% resulted in a deformation decrease from 13.3% to 3.33%.

**Keywords:** Sinkhole, Internal Erosion, Microwashing, Internal Instability, Compaction.

### چکیده

فرسایش داخلی از متداول‌ترین دلایل شکست سدها است و ریزشویی یکی از انواع فرسایش داخلی محسوب می‌شود که با نشست خاک و ایجاد فروچاله همراه است. ریزشویی به طور معمول در خاک‌های ناپایدار داخلی اتفاق می‌افتد. سد بار در شهر نیشابور که بر روی پی آبرفتی با دانه‌بندی گسسته و مقعر رو به بالا قرار گرفته است، بعد از آبیگری دچار نشست و فروچاله شده است. در این پژوهش پتانسیل ریزشویی در خاک منطقه و تأثیر عوامل تراکم و سربار بر فرسایش داخلی بررسی می‌شود. در ابتدا آزمایش‌های شاخص بر روی نمونه خاک انجام شد و سپس باتوجه به دانه‌بندی نمونه و کاربرد معیارهای تجربی موجود برای خاک، احتمال ریزشویی به سه روش بررسی شد که دو روش خاک را ناپایدار و یک روش پایدار نشان داد. در ادامه برای بررسی اثر تراکم، نمونه خاک در تراکم‌های مختلف و تحت چهار بار آبی، مورد آزمایش ریزشویی قرار گرفت. یافته‌ها نشان می‌دهد خاک مورد نظر پتانسیل ریزشویی داشته و ناپایدار داخلی است. علاوه بر آن اثر کاهشی تراکم بر فرسایش در آزمایش‌ها مشاهده شد، میزان ذرات ریز شسته شده نمونه از ۴/۵ درصد در تراکم ۷۰ درصد به ۰/۳۷ درصد در تراکم ۸۵ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش تراکم از ۷۰ درصد به ۸۵ درصد میزان نشست از ۱۳/۳ درصد به ۳/۳۳ درصد کاهش یافت. **واژه‌های کلیدی:** فروچاله، فرسایش داخلی، ریزشویی، ناپایداری داخلی، تراکم.

پارامترهای مؤثر در ریزشویی به سه بخش تقسیم می‌شوند (Foster و همکاران، ۲۰۰۰؛ Li و همکاران، ۲۰۲۴):

الف- پارامترهایی که در هندسه محیط متخلخل مؤثر هستند؛ مانند دانه‌بندی، تنش مؤثر، تنش همه جانبه، مورفولوژی دانه‌ها و میزان منافذ باز موجود.

ب- پارامترهایی که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محیط را تغییر می‌دهند؛ مانند دمای آب، میزان کلرات سدیم موجود در آب و ماهیت خاک رس موجود.

ج- شرایط هیدرولیکی مانند گرادیان هیدرولیکی.

انجام آزمون‌های آزمایشگاهی معتبرترین روش برای تشخیص خاک‌های ناپایدار داخلی است، اما ممکن است به دلایلی از جمله هزینه و زمان، انجام مطالعات آزمایشگاهی امکان پذیر نباشد. در چنین مواقعی پیشنهاد استانداردهای معتبری نظیر ICOLD<sup>۵</sup> و USBR<sup>۶</sup>، استفاده از روش‌های تجربی است. روش‌های تجربی متعددی برای شناسایی ناپایداری داخلی خاک‌ها وجود دارد که در آن‌ها مبنای اصلی قضاوت، توزیع دانه‌بندی خاک است. روش‌های Zhang و Lou، Sherard و Kezdi، Istomina، Kenny، Maroof (معروف، ۱۳۹۹؛ Maroof و همکاران، ۲۰۲۱) و همکاران، (۲۰۲۴).

باتوجه به مشاهدات میدانی و فروچاله‌های ایجاد شده در سد بار و درشت دانه بودن خاک آبرفتی منطقه، احتمال وقوع پدیده ریزشویی در این محل زیاد است. بنابراین پتانسیل ریزشویی مصالح محل، در تراکم‌های مختلف در پژوهش حاضر بررسی شده است. برای بررسی پتانسیل ریزشویی در خاک از دو روش استفاده از معیارهای تجربی و انجام آزمایش می‌توان استفاده نمود.

### ۱- معیارهای تجربی

روش‌های تجربی زیادی برای شناسایی پتانسیل ریزشویی خاک‌ها وجود دارد، مبنای اصلی در این معیارها توزیع دانه‌بندی خاک است. در جدول (۱) برخی از این روابط ارائه شده است.

جدول ۱- معیارهای بررسی شده در این پژوهش

| نام معیار | منبع                | روش بررسی ناپایداری                                             |
|-----------|---------------------|-----------------------------------------------------------------|
| کنی و لو  | (Kenny و lau، ۱۹۸۵) | $(H/F)_{\min} \geq 1.3$ : پایدار                                |
| شرارد     | (Sherard، ۱۹۷۹)     | $(H/F)_{\min} \geq 1$ : پایدار                                  |
| وان و فل  | (Fell و Wan، ۲۰۰۸)  | $30/\log(d_{90}/d_{60}) < 80$ و $15/(d_{20}/d_5) > 22$ : پایدار |

روش کنی و لو: Kenny و lau (۱۹۸۵) برای ارزیابی پایداری به لزوم وجود فیلتر برای هر دانه اشاره کردند. بر اساس پیشنهاد این دو پژوهشگر برای قطر متناظر با درصد‌های عبوری مختلف از الک‌ها، باید قطر فیلتر آن نیز موجود باشد. به این منظور در منحنی دانه‌بندی،

فرسایش داخلی به انواع مختلفی تقسیم می‌شود، و ریزشویی<sup>۱</sup> یکی از انواع آن است که در یک تعریف کلی شامل حرکت ذرات ریز در بین دانه‌های درشت تحت جریان تراوش است. علت شکست بیشتر از ۳۵٪ سدهای خاکی، فرسایش داخلی است (Li و همکاران، ۲۰۲۴). پدیده ریزشویی می‌تواند در محل سدها، سازه‌های هیدرولیکی و در مناطق شهری در محدوده سازه‌هایی مانند تونل‌ها، قنات‌های قدیمی و شبکه‌های آب و فاضلاب به وقوع بپیوندد. از اولین نشانه‌های پدیده ریزشویی شکل‌گیری ناگهانی فروچاله‌های بزرگ در محل سازه‌های ذکر شده است.

پی‌آبرفتی در سدهای خاکی نسبت به سایر پی‌ها بیشتر در معرض ریزشویی قرار دارد و علت اصلی آن ناهمگنی و ناهمسانی پی آبرفتی است. در این نوع از فرسایش، در زمان مجاورت آب با بستر آبرفتی، مصالح ریز به درون لایه درشت‌تر حرکت کرده و باعث افزایش هدایت هیدرولیکی در ناحیه فرسایش یافته و کاهش آن در ناحیه پایین دست می‌شود که این پدیده می‌تواند با نشست همراه باشد (Fell و همکاران، ۲۰۰۳). خاک‌هایی که پتانسیل ریزشویی دارند، به عنوان خاک ناپایدار داخلی شناخته می‌شوند. در این پژوهش پتانسیل ریزشویی در خاک و میزان تأثیر تراکم بر آن بررسی شده است.

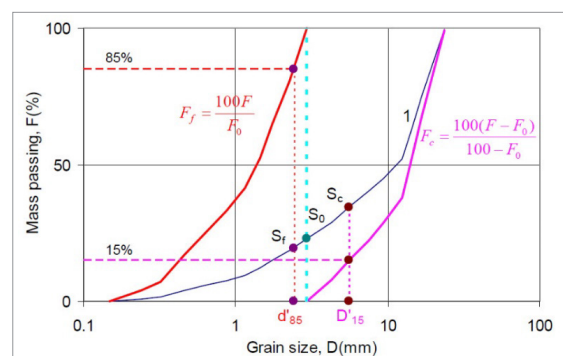
به‌طورکلی بافت خاک به دو گروه درشت‌دانه و ریزدانه تقسیم می‌شود. اکثر خاک‌های ناپایدار داخلی بافت درشت‌دانه دارند. در این خاک‌ها، تنش‌های موجود از طریق تماس ذرات درشت با یکدیگر تحمل شده و ذرات ریز که پتانسیل حرکت دارند می‌توانند جابه‌جا شوند. پایداری داخلی خاک‌ها به شرایط هندسی (مانند دانه‌بندی و میزان فضای خالی)، شرایط هیدرولیکی (مانند گرادیان هیدرولیکی و سرعت جریان) و شرایط مکانیکی (مانند تراکم و چسبندگی) بستگی دارد (نوروزی، ۱۳۹۷).

اصطلاح‌های مختلفی برای توصیف روند جدا شدن و انتقال ذرات ریز درون شبکه متخلخل یک خاک تحت تأثیر جریان داخلی آب استفاده می‌شود، فرسایش متمرکز<sup>۲</sup>، فرسایش عقب رونده<sup>۳</sup>، فرسایش تماسی<sup>۴</sup> و ریزشویی از این قبیل هستند که زیرمجموعه فرسایش داخلی محسوب می‌شوند (Bendahmane و همکاران، ۲۰۰۸).

پاولوف برای اولین بار مفهوم علمی ریزشویی را در سال ۱۸۹۸ این گونه بیان کرد که ریزشویی به علت وجود جریان تراوش در منافذ خاک شکل می‌گیرد در نتیجه شروع و ادامه آن از یک طرف به هندسه و دانه‌بندی مصالح و از طرف دیگر به شرایط هیدرولیکی جریان آب مانند گرادیان بستگی دارد (Marot و Benamar، ۲۰۱۳). ریزشویی ممکن است باعث ایجاد تغییر در تخلخل شود و مشخصات هیدرولیکی و مکانیکی خاک را تغییر دهد. چنین تغییراتی در محیط با تخلخل بالا می‌تواند موجب تسریع در ناپایداری شود (Benamar و Marot، ۲۰۱۲).

قطر  $D$  انتخاب شده و از روی مقدار آن قطر  $\phi D$  (فیلتر برای دانه‌های با قطر  $D$ ) نیز تعیین شده است. درصد ذرات ریزتر از  $D$  با  $F$  و درصد ذرات بین  $D$  و  $\phi D$  با  $H$  نمایش داده می‌شود. این فرآیند برای همه اندازه‌های  $D$  در محدوده عبوری ۰ تا ۴۰ درصد صورت می‌گیرد. بر اساس مبنای نظری این روش، ذره‌ای می‌تواند با اندازه  $D$  در اثر نیروی تراوش جابه‌جا شود که خاک حاوی آن، در مقدار ذرات با اندازه  $D$  تا  $\phi D$  کمبود داشته باشد. در صورتی که در محدوده  $F$ ،  $(H/F)_{\min} \geq 1.3$  باشد، خاک پایدار داخلی است. یک سال بعد Kenny و Lau (۱۹۸۶) در رابطه عدد ۱ را جایگزین  $1/3$  کردند  $((H/F)_{\min} \geq 1.0)$ .

**روش شرارد:** شرارد از معیار  $d'_{15}/d'_{85} = 4 \sim 5$  استفاده نمود، که در آن  $d'_{15}$  و  $d'_{85}$  استفاده شده در این معیار در شکل (۱) نشان داده شده است (منحنی ۱ منحنی اصلی است). در شکل (۱) افراز نمودار دانه‌بندی به دو نمودار ریز و درشت دانه بر اساس نقطه  $f$  صورت گرفته است. منظور از  $F$  نیز درصد ذرات عبوری است و فرمول هر افراز نیز در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- نمودار افراز ریز و درشت در روش شرارد (Kazdi, ۱۹۷۹)

**روش وان و فل:** Wan و Fell (۲۰۰۸) در پژوهشی به بررسی آزمایشگاهی خاک‌های ناپایدار پرداختند. در این آزمایش‌ها، از خاک‌های درشت‌دانه دارای سیلت و خاک‌های درشت‌دانه دارای سیلت و رس استفاده شد، از دستگاه آزمایشی بزرگ مقیاسی نیز برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد و در انتها معیاری را ارائه دادند که با دو رابطه (۱) و (۲) کنترل می‌شود.

$$30/\log(d_{90}/d_{60}) < 80 \quad (1)$$

$$15/(d_{20}/d_5) > 22 \quad (2)$$

در این روابط  $d_{90}$  و  $d_{60}$ ،  $d_{20}$ ،  $d_5$  قطر ذره‌ای از خاک است که به ترتیب ۵، ۲۰، ۶۰ و ۹۰ درصد ذرات خاک از آن کوچک‌تر باشد و با استفاده از منحنی دانه‌بندی قابل تعیین هستند.

## ۲- معیارهای آزمایشگاهی

در آزمایش ریزشویی یک نمونه با تراکم و رطوبت مورد نظر، در یک سلول بازسازی شده و بارآبی مورد نظر به صورت پله‌ای به نمونه اعمال شده و تغییرات نفوذپذیری ناشی از ذرات شسته شده، تغییر

شکل نمونه براساس روش الف تا ج بررسی می‌شود. معیار کلی که بر اساس آن، پایداری خاک بررسی شود وجود ندارد اما به طور معمول ریزشویی با سه روش کلی زیر بررسی می‌شود:

**الف- میزان ذرات شسته شده:** اگر ذرات به‌طور پیوسته فرسایش پیدا کنند، یا نشست زیاد و بیشتر از حد تعیین شده در نمونه ایجاد شود، خاک ناپایدار شناخته می‌شود. USACE (۱۹۵۳)؛ Kenny و Lau (۱۹۸۵)؛ Lafleur و همکاران (۱۹۸۹)؛ Chapuis و همکاران (۱۹۹۶)؛ Honjo و همکاران (۱۹۹۶)؛ Moffat (۲۰۰۵)؛ Fannin و Moffat (۲۰۰۶)؛ Lafleur و Nguyen (۲۰۰۷)؛ Li (۲۰۰۸)؛ Chang و Wan (۲۰۰۸)؛ Fell و Cividini (۲۰۰۸)؛ همکاران (۲۰۰۹)؛ Zhang (۲۰۱۳) و معروف (۱۳۹۹) از این روش برای بررسی پایداری خاک استفاده کرده‌اند.

Kenny و Lau (۱۹۸۵) در پژوهش خود بیان کردند اگر درصد ذرات ریز شسته شده حداقل ۷٪ باشد، خاک ناپایدار خواهد بود، Wan و Fell (۲۰۰۸) حداقل مقدار درصد ذرات ریز شسته شده برای قرارگیری خاک در دسته ناپایدار را ۴٪ عنوان کردند. Chang و Zhang (۲۰۱۳) بیان کردند اگر ذرات ریز شسته شده بیش از ۴٪ یا نشست بیش از ۱/۲٪ باشد، خاک ناپایدار است. معروف (۱۳۹۹) نمونه‌هایی با ذرات شسته شده بیش از ۳٪ کل وزن نمونه خشک را به‌عنوان خاک ناپایدار دسته‌بندی کرد. در این پژوهش نیز معیار ناپایداری به روش چانگ و ژانگ و معروف ارزیابی شد.

**ب: تغییرات نفوذپذیری:** در روش دوم در صورتی که یک تغییر ناگهانی در نفوذپذیری نمونه رخ دهد، نمونه به‌عنوان خاک ناپایدار در نظر گرفته می‌شود. در این روش برای بررسی تغییر نفوذپذیری از رابطه بین نفوذپذیری- زمان در حین آزمایش استفاده می‌شود. Sun (۱۹۸۹) و Kaoser و همکاران (۲۰۰۶) از این روش برای بررسی ناپایداری استفاده کردند.

**ج- مشاهده گسیختگی در خاک:** در روش سوم، در صورتی که گسیختگی، تحت گرا دیان هیدرولیکی بسیار کمتر از گرا دیان هیدرولیکی بحرانی به‌دست آمده از روش‌های تئوری ایجاد شود، خاک در دسته ناپایدار قرار می‌گیرد (Honjo و همکاران، ۱۹۹۶). Brogan و Skempton (۱۹۹۵) این گرا دیان را برای خاک شن و ماسه‌ای حدود یک سوم گرا دیان هیدرولیکی بحرانی نظری به‌دست آوردند. Adel و همکاران (۱۹۸۸) از این روش برای بررسی ناپایداری استفاده کردند.

## مواد و روش‌ها

### ۱- منطقه مورد مطالعه

سد بار در استان خراسان رضوی و شهرستان نیشابور قرار دارد. در این سد، بعد از اولین آبگیری، فروچاله، ترک و نشست مشاهده شده است. این فروچاله‌ها در بالادست سد اصلی و در کل مخزن

را در منطقه به وجود آورده است. زمین ساخت فعال منطقه باعث شده، تشکیلات زمین شناسی با جنس و سن گوناگون در کنار یکدیگر قرار گیرند. این تنوع و گوناگونی بر خصوصیات کمی و کیفی آبرفت و منابع آب زیرزمینی موجود در سطح منطقه تأثیرگذار بوده است. نهشته‌های آبرفتی در این منطقه عمده‌ترین تشکیلات زمین شناسی است که ضخامت زیادی دارد و به شکل تراس‌های آبرفتی و مخروط افکنه در اکثر نقاط منطقه گسترش یافته است. منشأ آب زیرزمینی ذخیره شده در آبرفت‌های ضخیم دشت این منطقه، رودخانه‌های دامنه جنوبی کوهستان بینالود است (رنجبر، ۱۳۹۰).

بدنه سد اصلی بر روی این آبرفت احداث شده است. پس از ایجاد ریزشویی، نشست زیاد قابل تصور بوده و احتمال ایجاد آسیب در بدنه سد اصلی وجود دارد.

### ۳- آزمایش‌های شاخص روی نمونه خاک محل

آزمایش تعیین وزن مخصوص ویژه قسمت جامد خاک بر اساس استاندارد ASTM D 854-10 انجام شده است. برای آزمایش حدود اتربرگ از استاندارد ASTM D 4318، آزمایش دانه‌بندی بر اساس استاندارد ASTM D2487 و برای آزمایش هیدرومتری از استاندارد ASTM D422-63 استفاده شده است. نتیجه شناسایی خاک در جدول (۲) و نمودار دانه‌بندی در شکل (۳) ارائه شده است. نام خاک باتوجه به نتایج شناسایی SP-SM است. برای نمونه خاک منطقه آزمایش تراکم اصلاح شده با استاندارد ASTM D 1557-02 انجام شد. باتوجه به جدول (۲) مشاهده می‌شود درصد رطوبت بهینه برای این نمونه خاک برابر ۷ درصد و وزن مخصوص حداکثر برابر  $20/28 \text{ KN/m}^3$  است.

جدول ۲- مشخصات خاک مورد مطالعه

| نوع خاک       | D <sub>90</sub><br>(mm) | D <sub>60</sub><br>(mm) | D <sub>30</sub><br>(mm) | D <sub>20</sub><br>(mm) | D <sub>10</sub><br>(mm) | G <sub>s</sub> | C <sub>u</sub> | LL<br>(%) | PI<br>(%) | $\gamma_{d_{max}}$<br>( $\text{kN/m}^3$ ) | $\omega_{opt}$<br>(%) |
|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|-----------|-----------|-------------------------------------------|-----------------------|
| خاک منطقه بار | ۱۹/۳                    | ۶/۲۴                    | ۱/۳۶                    | ۰/۳۱                    | ۰/۰۹۵                   | ۲/۶۹           | ۶۲/۴           | ۳۴        | ۵/۲       | ۲۰/۲۸                                     | ۷                     |

### ۴- مشخصات دستگاه آزمایش طراحی شده

برای بررسی پتانسیل ریزشویی خاک، نیاز به یک سلول با قابلیت اعمال بار آبی و همچنین توان تحمل سربار بود به این منظور، دستگاه مورد نظر با همکاری گروه عمران و مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد طراحی و ساخته شد. تصویر شماتیک دستگاه مورد نیاز در شکل (۴) نشان داده شده است. منبع آب نیز به طور جداگانه تهیه شده و در زمان انجام آزمایش در ارتفاع‌های مورد نیاز قرار گرفت. از هشت لوله پیرومتر ایستاده برای اندازه‌گیری تراز آب استفاده شد. این دستگاه برای انجام آزمایش در هر دو حالت جریان رو به بالا و جریان رو به پایین می‌تواند استفاده شود.

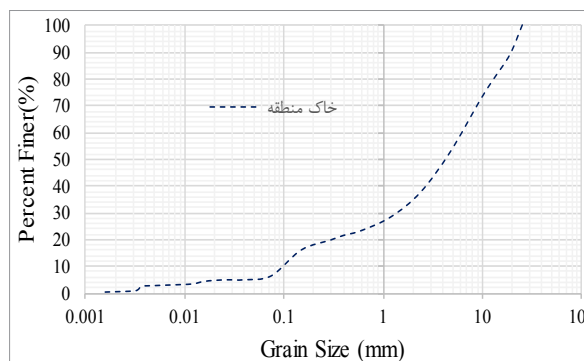
به صورت پراکنده مشاهده شده است. شکل (۲) یک قسمت از فروچاله‌های بالادست سد را نشان می‌دهد. چنانکه در بخش قبل نیز بیان شد، نشست و فروچاله می‌تواند نشانه‌ای از پتانسیل ریزشویی خاک‌ها باشد، بر همین مبنا در این پژوهش از نمونه خاک از نزدیکی محل فروچاله‌ها برداشته شده است. آزمایش ریزشویی بر روی نمونه میانگین دانه‌بندی این نمونه‌ها انجام شد.



شکل ۲- نمونه‌ای از فروچاله‌های ایجاد شده بعد از آبیگری در بالادست سد بار

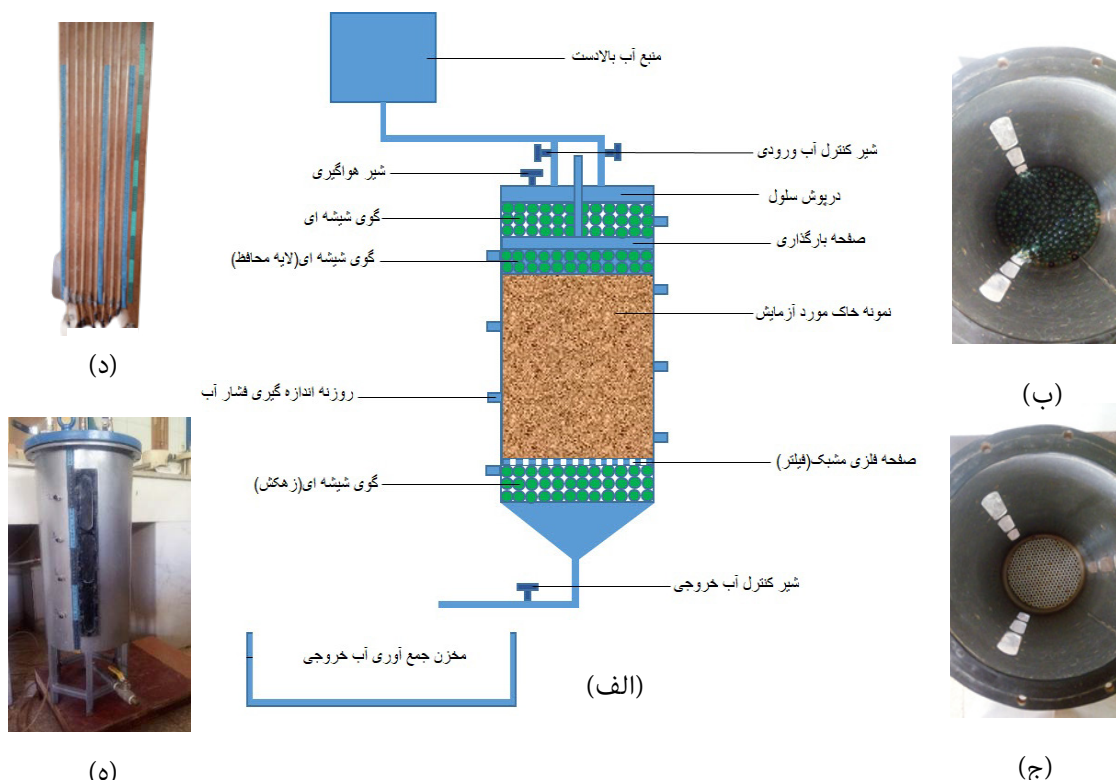
### ۲- زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

خاک‌ها بر اساس منشأ زمین شناسی به شش گروه خاک بادی، یخچالی، واریزه‌ای، برجا، آبرفتی و خاک‌های ثانوی تقسیم می‌شوند. طبقه‌بندی خاک بر اساس نقش زمین شناسی آن قادر است اطلاعات دقیقی در مورد ساخت، نحوه دانه‌بندی و تاریخچه تنش آن به دست دهد. محدوده مورد مطالعه به لحاظ قرارگیری نسبت به پهنه‌های ساختاری ایران در منطقه زمین شناسی بینالود واقع شده است. زون بینالود یکی از زون‌های زمین ساختی ایران به شمار می‌رود که در امتداد رشته کوه‌های البرز با روند شمال غربی-جنوب شرقی قرار گرفته است. فعالیت شدید گسل‌های تراسی نمای به هم ریخته‌ای



شکل ۳- نمودار دانه‌بندی نمونه خاک مورد استفاده در آزمایش





شکل ۴- (الف): تصویر شماتیک از دستگاه آزمایش ریزشویی، (ب): زهکش (گهی شیشه ای)، (ج): فیلتر و واشر لاستیکی، (د): صفحه اندازه گیری بار آبی (ه): نمای کلی دستگاه

الف- آماده سازی نمونه خاک: باتوجه به دانسیته مورد نظر برای آزمایش و حجم سلول، وزن مورد نیاز از خاک را تعیین کرده و سپس حدود ۷ درصد وزن نمونه، رطوبت به آن اضافه می شود. نمونه خاک حدود ۱۶ ساعت به منظور یکنواخت شدن رطوبت در یک ظرف در بسته نگهداری می شود.

ب- آماده سازی سلول آزمایش: به منظور زهکشی نمونه از یک صفحه فلزی مشبک و مقداری گهی شیشه ای استفاده می شود (شکل ۴- ب و ج). روی صفحه فلزی یک واشر لاستیکی قرار داده می شود تا احتمال خروج آب از کنار جداره به حداقل برسد.

ج- قرار دادن نمونه خاک درون سلول: لایه خاک مورد آزمایش در چند مرحله باتوجه به دانسیته مورد نظر درون سلول کوبیده می شود.

د- اشباع سازی نمونه: اشباع سازی به وسیله شیر پایین دستگاه و در جهت پایین به بالا صورت می گیرد. اشباع سازی به صورت خیلی آرام است. زمانی که مقداری آب از بالای نمونه خارج شود، مرحله اشباع سازی به پایان رسیده است.

ه- شروع آزمایش: در این مرحله منبع آب در ارتفاع مورد نظر قرار داده می شود و به شیر بالای دستگاه متصل می شود. بعد از باز کردن شیر آب ورودی شیر خروجی نیز باز شده و آب و خاک شسته شده در وان جمع آوری می شوند. این مرحله تا شفاف شدن آب خروجی

سلول آزمایش بزرگ مقیاس (شکل ۴- ه) دارای قطر داخلی ۲۴۴ میلی متر، قطر خارجی ۲۷۰ میلی متر و ارتفاع ۵۴۰ میلی متر است، همچنین ارتفاع مخروط ۶۰ میلی متر و ضخامت صفحه بارگذاری ۱۰ میلی متر است. باتوجه به اینکه Luo و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی قطر سلول آزمایش را حداقل ۶ برابر قطر بزرگترین سنگ دانه در نظر گرفتند، در این دستگاه نیز قطر سلول ۱۰ برابر قطر بزرگترین دانه در نظر گرفته شد. ارتفاع نمونه نیز بر همین اساس باید حداقل ۶ برابر قطر بزرگترین دانه باشد. جداره دستگاه برای تحمل فشار ۳ بار طراحی شده است و در ۸ نقطه از جداره سلول نیز روزنه هایی برای بررسی تراز آب تعبیه شده است که به وسیله لوله نایلونی به پیرومتر لوله ایستاده متصل می شود (شکل ۴- د). همچنین همانطور که در شکل (۴- ب، ج و ه) مشخص است، در سه قسمت از جداره سلول، صفحاتی از جنس پلکسی گلس برای مشاهده خاک درون سلول تعبیه شده است. به دلیل کاهش مقاومت جداره سلول امکان تعبیه تعداد بیشتر صفحه پلکسی گلس وجود ندارد.

## ۵- روش انجام آزمایش

در این پژوهش، آزمایش ریزشویی به صورت گام به گام مشابه مراحل زیر انجام شده است.



جدول ۳- نتایج بررسی پایداری نمونه بر اساس روش های تجربی

| نام معیار | نتیجه بررسی پایداری |
|-----------|---------------------|
| کنی و لو  | ناپایدار            |
| شرارد     | ناپایدار            |
| وان و فل  | پایدار              |

باتوجه به اینکه روش های تجربی بر اساس یک نوع خاص خاک ارائه شده و ممکن است برای همه نوع دانه بندی نتایج دقیقی برآورد نکند، در این پژوهش با استفاده روش آزمایشگاهی پتانسیل ریزشویی خاک منطقه بار بررسی شد.

## ۲- بررسی پایداری خاک بر اساس آزمایش ریزشویی

همانطور که در مقدمه نیز بیان شد، روش های مختلفی برای بررسی پایداری وجود دارد، آزمون های دانسیته در محل انجام شده در مخزن سد نشان می دهد تراکم مصالح مخزن بین حدود ۷۰ تا ۸۵ درصد متغیر است.

براین اساس ناپایداری داخلی مصالح مخزن در چهار تراکم ۷۰، ۷۵، ۸۰ و ۸۵ بررسی شد. پایداری/ ناپایداری داخلی خاک ها بر مبنای میزان ذرات شسته شده و مقدار نشست نمونه در انتهای آزمایش ارزیابی شد.

### -اثر تراکم بر ناپایداری داخلی

پایداری داخلی خاک با روش درصد وزنی ذرات شسته شده و نشست نمونه بررسی شد. در جدول (۴) این مقادیر برای چهار آزمایش (آزمایش برای چهار درصد تراکم مختلف) ارائه شده است. مبنای تئوری در این روش همان طور که در مقدمه این پژوهش نیز بیان شد، بر این اساس است که اگر ذره ای با قطر  $D$  بخواهد در اثر نیروی تراوش جابه جا شود، باید در مقدار دانه های با اندازه  $D$  تا  $4D$  کمبود وجود داشته باشد. در این قسمت بیشترین کمبود برای یک دانه با قطر  $D$  بررسی می شود. باتوجه به جدول (۴) مشاهده می شود با هر دو معیار  $Chang$  و  $Zhang$  و معروف، سه نمونه با نسبت تراکم ۷۰٪، ۷۵٪ و ۸۰٪ ناپایدار و نمونه با تراکم ۸۵٪ پایدار است.

جدول ۴- بررسی ناپایداری داخلی خاک در برابر فرسایش بر اساس ذرات شسته شده

| نمونه خاک     | تراکم<br>نمونه (%) | وزن مخصوص<br>( $KN/m^3$ ) | ذرات ریز<br>شسته شده (%) | وزن ذرات شسته<br>شده (g) | ذرات شسته شده<br>از کل نمونه (%) | پایداری/<br>ناپایداری خاک |
|---------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| خاک منطقه بار | ۷۰                 | ۱۵                        | ۲۲/۷۴                    | ۱۰۲۵/۵۰۳                 | ۴/۵۸                             | ناپایدار                  |
| خاک منطقه بار | ۷۵                 | ۱۶                        | ۲۰/۴                     | ۱۰۱۳/۰۰۶                 | ۴/۲۳                             | ناپایدار                  |
| خاک منطقه بار | ۸۰                 | ۱۷                        | ۱۵/۳                     | ۸۸۳/۴۶۵                  | ۳/۴۸                             | ناپایدار                  |
| خاک منطقه بار | ۸۵                 | ۱۸                        | ۲/۰۳                     | ۱۰۰                      | ۰/۳۷                             | پایدار                    |

در دسته پایدار را برابر ۱/۲ درصد عنوان کردند. برای محاسبه درصد نشست، همان طور که در مقدمه بیان شد، در انتهای هر آزمایش میزان نشست به طور متوسط محاسبه می شود و

ادامه پیدا می کند. در زمان های مورد نیاز تراز آب از روی سطح آب در لوله های پیزومتر ثبت می شود. بعد از شفاف شدن آب خروجی، منبع آب به ارتفاع بالاتر منتقل شده و ظرف جمع آوری آب خروجی نیز تعویض می شود. این مراحل برای ۴ بار آبی (۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۲ متر) تکرار شده و آب و خاک خروجی برای هر مرحله به صورت جداگانه جمع آوری شده و تا زمان ته نشینی کامل نگهداری می شود. در انتهای آزمایش و بعد از باز کردن درپوش سلول، میزان نشست در چهار نقطه با استفاده از کولیس اندازه گیری و ثبت شد. ی- جمع آوری دانه های شسته شده: خاک ته نشین شده در هر کدام از مراحل، به صورت جداگانه روی الک ۲۰۰ جمع آوری و در گرم خانه خشک شد. سپس نمونه خاک، وزن شده و در مرحله بعد روی الک ۲۰۰ شسته شده تا دانه بندی برای هر کدام صورت گیرد. این تست برای چهار تراکم ۷۰، ۷۵، ۸۰ و ۸۵ درصد انجام و میزان فرسایش و پایداری یا عدم پایداری نمونه خاک با هم مقایسه شد، که در بخش نتایج و بحث ارائه شده است.

## نتایج و بحث

هدف از این پژوهش بررسی پتانسیل ریزشویی خاک منطقه بار نیشابور به صورت آزمایشگاهی و همچنین تأثیر تراکم بر این پدیده است. نتایج بررسی پایداری خاک منطقه بر اساس معیارهای تجربی از قبیل  $Istomina$ ،  $Chang \& Zhang$ ،  $Wan \& Fell$ ،  $Bourenkova$ ،  $Sherard$  و  $Kenny \& Lau$  در پژوهش نظری و همکاران (۱۴۰۱) ارائه شده است. در این پژوهش نتایج بررسی پایداری حاصل از آزمون های آزمایشگاهی ارائه شده است.

### ۱- بررسی پایداری خاک بر اساس معیارهای تجربی

معیارهای تجربی زیادی برای بررسی ناپایداری خاک در برابر ریزشویی ارائه شده است. در این پژوهش خاک مورد مطالعه بر اساس معیارهای  $Wan \& Fell$ ،  $Sherard$ ،  $Kenny \& Lau$  و بررسی شد که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است.

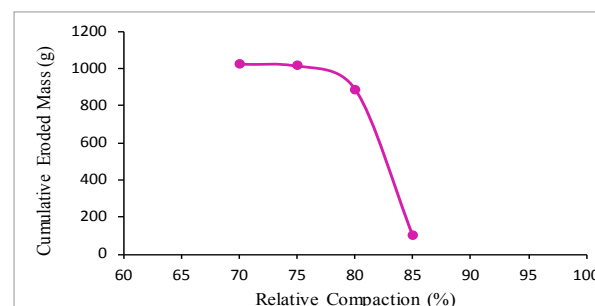
علاوه بر درصد دانه های فرسایش یافته، تغییر شکل قائم نمونه ها نیز اندازه گیری شد.  $Chang$  و  $Zhang$  (۲۰۱۳) در پژوهش خود حداکثر میزان نشست برای قرارگیری نمونه خاک

در ادامه درصد نشست نسبت به ضخامت اولیه نمونه تعیین می‌شود. در جدول (۵) نتایج آزمایش برای چهار تراکم مختلف از نمونه خاک منطقه بار آورده شده است. مشاهده می‌شود که در نمونه خاک برای تراکم‌های ۷۰٪، ۷۵٪ و ۸۰٪ نمونه ناپایدار است.

جدول ۵- نتایج پایداری خاک بر اساس میزان نشست

| نمونه خاک     | تراکم نمونه (%) | نشست (%) | پایداری / ناپایداری خاک |
|---------------|-----------------|----------|-------------------------|
| خاک منطقه بار | ۷۰              | ۱۳/۳     | ناپایدار                |
| خاک منطقه بار | ۷۵              | ۱۰       | ناپایدار                |
| خاک منطقه بار | ۸۰              | ۳/۳۳     | ناپایدار                |
| خاک منطقه بار | ۸۵              | ۰~       | پایدار                  |

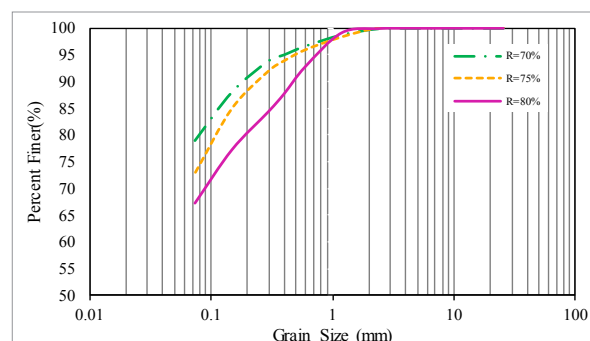
در جدول (۴) نتایج آزمایش‌ها در چهار تراکم برای نمونه خاک منطقه بار ارائه شده است. مشاهده می‌شود، هر چه تراکم افزایش پیدا کرده، درصد ذرات شسته شده کمتر از ۰/۲ میلی‌متر کاهش یافته است و در تراکم ۸۵٪ خاک پایدار است (شکل ۵).



شکل ۵- نمودار تغییرات میزان ذرات شسته شده در برابر تراکم

### ۳- بررسی ذرات شسته شده در تراکم‌های مختلف

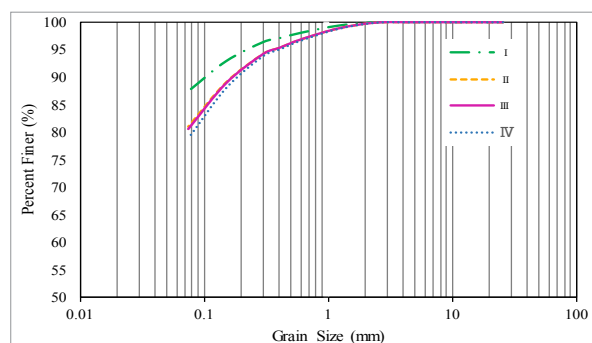
در این بخش ذرات شسته شده در سه آزمایش (تراکم ۷۰، ۷۵ و ۸۰ درصد)، در طی آزمایش پس از جمع‌آوری، دانه‌بندی شده و نمودار آن‌ها در شکل (۶) مقایسه شده است. این نمودار برای آزمایش نمونه با بار آبی چهارم که بیشترین مقدار را دارد ارائه شده است.



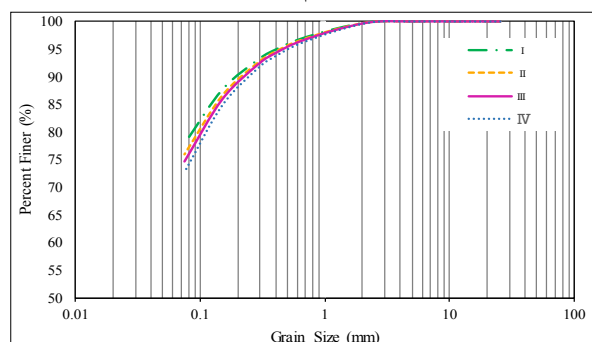
شکل ۶- دانه‌بندی ذرات شسته شده در سه تراکم مختلف نمونه A

همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود با افزایش تراکم، ذرات شسته شده درشت‌تر شده‌اند. در آزمایش ریزشویی با چهار نسبت تراکم مختلف مشاهده شد با افزایش نسبت تراکم، گرا دیان نقطه‌ای و متوسط افزایش می‌یابد، دلیل این پدیده می‌تواند ایجاد روزنه‌های کوچکتر بین دانه‌های خاک باشد، روزنه‌های کوچکتر باعث افزایش سرعت جریان در روزنه‌ها شده و در نتیجه گرا دیان نقطه‌ای در نمونه افزایش پیدا می‌کند. گرا دیان بالاتر نیز می‌تواند ذرات درشت‌تری را جابه‌جا کند در نتیجه در تراکم ۸۰٪ دانه‌بندی ذرات شسته شده نسبت به تراکم ۷۰٪ درشت‌تر شده است، هرچند میزان کل ذرات شسته شده با افزایش تراکم کاهش یافته است.

همچنین آزمایش ریزشویی برای هر تراکم در چهار بار آبی مختلف انجام شد. ذرات شسته شده در هر چهار مرحله نیز به صورت جداگانه جمع‌آوری و دانه‌بندی شده است. در شکل‌های (۷) تا (۹) برای سه تراکم ۷۰٪، ۷۵٪ و ۸۰٪ نمودار دانه‌بندی برای دانه‌های شسته شده در ۴ بار آبی (۱، ۱/۴، ۱/۸، ۲/۲ متر) رسم و مقایسه شد. در این شکل‌ها بار آبی ۱ متر با نام I، بار آبی ۱/۴ با II، بار آبی ۱/۸ با III و بار آبی ۲/۲ متر با IV نمایش داده شده است. باتوجه به شکل‌های (۷) تا (۹) مشاهده می‌شود در بار آبی ۱ متر که گرا دیان متوسط کمتر است، ذرات ریزتری شسته شده‌اند. با افزایش بار آبی گرا دیان متوسط در سلول بالا رفته و دانه‌های درشت‌تری نسبت به بار آبی اول شسته شده‌اند.



شکل ۷- دانه‌بندی ذرات شسته شده در چهار بار آبی مختلف برای تراکم ۷۰٪



شکل ۸- دانه‌بندی ذرات شسته شده در چهار بار آبی مختلف برای تراکم ۷۵٪

معروف، محمدعلی. (۱۳۹۹). بررسی اثر مورفولوژی دانه‌ها بر ناپایداری داخلی خاک‌های دانه‌ای. پایان‌نامه دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

نظری، ملیحه، معروف، محمدعلی، اخترپور، علی، و بلوری بزاز، جعفر. (۱۴۰۱). بررسی پتانسیل ریزشویی در پی آبرفتی سدها (مطالعه موردی: سد بار نیشابور). هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، سازه و زلزله. دانشگاه فرهنگ و هنر، تهران، ایران.

نوروزی، بهنام. (۱۳۹۷). ابزار دقیق و رفتارنگاری در سدهای خاکی و سنگریزه‌ای، انتشارات نوید شیراز. چاپ اول. شیراز، ایران.

Adel, H. D., Bakker, k., & Breteler, M.K. (1988). Internal stability of minestone. in Proceedings of the International Symposium on Modelling Soil-Water- Structure Interactions. International Association for Hydraulic Research (IAHR). Netherlands, Rotterdam, Balkema.

USACE (U.S. Army Corps of Engineers). (1953). Investigation of filter requirements for underdrains. Tech. Memo. No. 3-360. U.S. Waterways Experiment Station. Vicksburg, Mississippi.

Bendahmane, F., Marot, D., & Alexis, A. (2008). Experimental Parametric Study of Suffusion and Backward Erosion. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 134(1), 57–67. doi: [10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2008\)134:1\(57\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2008)134:1(57))

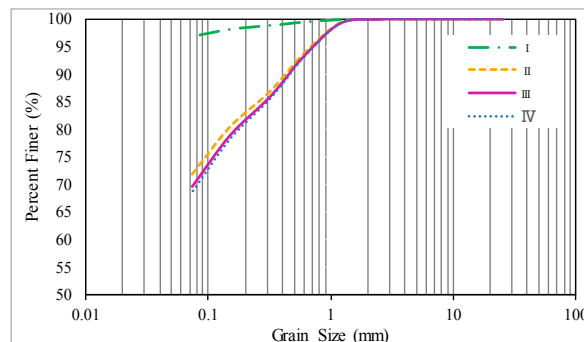
Chapuis, R., Contant, A., & Baass, K. A. (1996). Migration of fine in 0-20 mm crushed base during placement, compaction, and seepage under laboratory conditions. can. geotech, 33(1), 168–176. doi: [10.1139/t96-032](https://doi.org/10.1139/t96-032)

Chang, D. S., & Zhang, L. M. (2013). Extended internal stability criteria for soils under seepage. Soils Found., 53(4), 569–583. doi: [10.1016/j.sandf.2013.06.008](https://doi.org/10.1016/j.sandf.2013.06.008)

Cividini, A., Bonomi, S., Vignati, G. C., & Gioda, G. (2009). Seepage-Induced Erosion in Granular Soil and Consequent Settlements. International Journal of Geomechanics, 9(4), 187–194. doi: [10.1061/\(asce\)1532-3641\(2009\)9:4\(187\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1532-3641(2009)9:4(187))

Fannin, R. J., & Moffat, R. (2006). Observations on internal stability of cohesionless soils. Geotechnique, 56(7), 497–500. doi: [10.1680/geot.2006.56.7.497](https://doi.org/10.1680/geot.2006.56.7.497)

Fell, R., Wan, C. F., Cyganiewicz, J., & Foster, M. (2003). Time for Development of Internal Erosion and Piping in Embankment Dams. J. Geotech. Geoenviron-



شکل ۹- دانه‌بندی ذرات شسته شده در چهار بار آبی مختلف برای تراکم ۸۰٪

## نتیجه‌گیری

- باتوجه به نتایج ریزشویی که برای نمونه خاک منطقه انجام شد، نمونه خاک دارای پتانسیل ریزشویی است و فروچاله‌های ایجاد شده پس از آبیگری می‌تواند مربوط به این پدیده باشد.

- نتیجه انجام آزمایش ریزشویی با چهار درصد تراکم مختلف نشان داد تراکم می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش میزان ریزشویی داشته باشد، افزایش تراکم، میزان ذرات فرسایش یافته را به میزان قابل توجهی کاهش داد.

- مقایسه نتایج آزمایش ریزشویی برای چند نوع تراکم، نشان می‌دهد هرچه تراکم کمتر باشد میزان ریزدانه بیشتری شسته می‌شود.

- با افزایش گرادیان درصد دانه‌های شسته شده افزایش می‌یابد همچنین افزایش گرادیان در نمونه با تراکم بیشتر باعث می‌شود ذرات شسته شده درشت‌تر شوند.

## پی‌نوشت‌ها

- 1-Suffusion
- 2-Concentrated Leak
- 3-Backward Erosion
- 4-Contact Erosion
- 5-International Commission On Large Dams
- 6-United States Bureau of Reclamation

## منابع

رنجبر ایوری، محسن. (۱۳۹۰). بررسی ویژگی‌های زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی ساختگاه سد بار نیشابور. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

- Moffat, R. (2005). Experiments on the Internal Stability of Widely Graded Cohesionless Soils. Doctor of Philosophy Thesis, Faculty of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Marot, D., & Benamar, A. (2012). Erosion Geomaterials, Suffusion, Transport and Filtration of Fine Particle in Granular Soil. Wiley-ISTE. New York, USA, doi: [10.1002/9781118561737](https://doi.org/10.1002/9781118561737)
- Maroof, A., Mahboubi, A., & Noorzad, A. (2021). Effects of grain morphology on suffusion susceptibility of cohesionless soils. *Granular Matter*, 23, 8. <https://doi.org/10.1007/s10035-020-01075-1>
- Maroof, A., Mahboubi, A., Vincens, E., & Hassani, M. (2024). A developed capillary tube model for suffusion susceptibility of non-cohesive soils. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 83, 17. doi: [10.1007/s10064-023-03515-7](https://doi.org/10.1007/s10064-023-03515-7)
- Sherard, J.L. (1979). Sinkholes in Dams of Coarse, Broadly Graded Soils (Paper introduced by Jean Lafleur). *Proceedings of the 13th ICOLD Congress. India*, 2, 25-35.
- Skempton, A., & Brogan, J. (1995). Experiments on piping in sandy gravels. *Geotechnique*, 45(3), 449-460. <https://doi.org/10.1680/geot.1994.44.3.449>
- Sun, B. C. (1989). Internal Stability of Clayey to Silty Sands. Doctor of Philosophy Thesis, Faculty of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, USA.
- Wan, C. F., & Fell, R. (2008). Assessing the Potential of Internal Instability and Suffusion in Embankment Dams and Their Foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134(3), 401-407, doi: [10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2008\)134:3\(401\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2008)134:3(401))
- mental Engineering, 129(4), 307-314. doi: [10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2003\)129:4\(307\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2003)129:4(307))
- Foster, M., Fell, R., & Spannagle, M. (2000). The statistics of embankment dam failures and accidents. *Can. Geotech, J*, 37(5), 1000-1024. doi: [10.1139/t00-030](https://doi.org/10.1139/t00-030)
- Honjo, Y., Haque, M., & Tsai, K. (1996). Self-filtration behaviour of broadly and gap-graded cohesionless soils. in *Proceedings of the 2nd International Conference on Filters and Drainage in Geotechnical and Environmental Engineering*. Montreal, Canada.
- Kaoser, S., Barrington, S., Elektorowicz, M., & Ayadat, T. (2006). The influence of hydraulic gradient and rate of erosion on hydraulic conductivity of sand-bentonite mixtures. *Soil Sediment Contam*, 15(5), 481-496. doi: [10.1080/15320380600847815](https://doi.org/10.1080/15320380600847815)
- Kezdi, A. (1979). *soil physics*. Elsevier. Scientific Publishing Company. Amsterdam, North-Holland.
- Kenny, T. C., & Lau, D. (1985). Internal stability of granular filters. *Canadian Geotechnical Journal*, 22(2), 215-225. doi: [10.1139/t85-029](https://doi.org/10.1139/t85-029)
- Kenny, T. C., & Lau, D. (1986). Internal stability of granular filter: Reply. *can. geotech*, 23, 420-423. DOI: [10.1139/t86-068](https://doi.org/10.1139/t86-068)
- Lafleur, J., Mlynarek, J., & Rollin, A. L. (1989). Filtration of broadly graded cohesionless soils. *J. Geotech. Engineering*, 115(12), 1747-1768. doi: [10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1989\)115:12\(1747\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1989)115:12(1747))
- Lafleur, J., & Nguyen, P. (2007). *Internal stability of particles in dam cores made of cohesionless broadly graded moraines*. Teylor & Francis. CRC Press. 1st Edition. Balkema, South Africa.
- Li, M. (2008). Seepage Induced Instability in Widely Graded Soils. Doctor of philosophy Thesis, Faculty of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Li, Sh., Russell, A. R., & Muir Wood, D. (2024). Internal erosion of a gap-graded soil and influences on the critical state. *Acta Geotechnica*, 1-19. doi: [10.1007/s11440-024-02249-4](https://doi.org/10.1007/s11440-024-02249-4)
- Luo, Y. (2020). Effect of deviator stress on the initiation of suffusion. *Acta Geotechnica*, 15: 1607-1617. doi: [10.1007/s11440-019-00859-x](https://doi.org/10.1007/s11440-019-00859-x)



## تمدن قناتی بم

در قرون اولیه، بم دومین شهر عمده کرمان به حساب می‌آمده و مرکزی پررونق بوده که با سیستان و خراسان روابط تجاری داشته است. شهرستان بم در ۱۸۰ کیلومتری جنوب شرقی کرمان واقع و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰۶۲ متر است. بم از نظر ارتفاع دو وضعیت متفاوت دارد، یکی کوهستانی که ادامه رشته کوه‌های مرکزی ایران و مشهور به جبال‌بارز است. این کوه‌ها چون سدی بین بم و جیرفت واقع شده‌اند و تنها راه عبور از آنها، گردنه‌هایی چون گردنه معروف ده‌بکری است و کوه هزار در جنوب غربی راین که مرتفع‌ترین کوه این ناحیه است. دیگر ناحیه پست کویری که مشتمل بر شن‌زار و نم‌زار لوت و اطراف آن است که پست‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۳۳۰ متر از سطح دریا در حد بین شوره‌گز و فهرج واقع شده است.

در شهرستان بم بادهای چندی می‌وزند که عبارتند از باد معروف گاوکش، بادگرم جنوب، باد غربی و بادهای مشهور به کوه باد. آب کشاورزی شهرستان بم از رودهای فصلی، قنات‌ها و چاه‌های عمیق تأمین می‌شود، مهمترین رودهای بم عبارتند از رود نساء، رود فاشکوه، تلنگو، تهرود و آدوری که از جبال‌بارز و راین سرچشمه می‌گیرند. اقتصاد بم بر کشاورزی و دامپروری متکی است و برخی از فرآورده‌های کشاورزی آن جنبه تجاری و صادراتی دارد.

دشت بم از نظر تعداد قنات در شماره دشت‌های مهم کشور به شمار می‌رود؛ تعداد قنات‌های آن به ۳۷۰ رشته می‌رسد که حداکثر عمق مادرچاه آن ۱۲۷ متر و حداقل ۶۹ متر و حداکثر آبدهی آنها ۱۸۰ لیتر در ثانیه و حداقل یک لیتر است. تقسیم آب قنات‌ها بر عهده میراب‌هاست که توسط مالکین انتخاب می‌شوند. مدار گردش آب هر قنات، ۷ شبانه روز و ۱۴ تاق و هر تاق آب ۱۲ ساعت است که در مجموع ۶ دانگ هر قنات ۱۶۸ ساعت به حساب می‌آید که به نسبت سهم در مدار آبیاری میان سهامداران پخش می‌شود. اجزای تاق، عبارتند از نیم تاق برابر ۶ ساعت و ربع تاق برابر ۳ ساعت. در گذشته برای تقسیم آب از گاوبند استفاده می‌کردند، گاوبند مقدار آبی بود که در مدت یک روز در هفته پنج هکتار زمین را آبیاری می‌کرد. شیوه آبیاری در گذشته نیز مانند امروز غرقابی بوده است. در گذشته واحد تقسیم آب سنگ آب بوده که عبارت است از مقدار آبی که در سطح افقی از یک فضای ۲۰×۲۰ سانتی‌متری جاری شود و جریان آب طوری است که اگر یک

تکه کاه در آن بیندازند در هر ۵ ثانیه ۴ گز بپیماید، واحد دیگر آسیاب گردان معادل ۴ سنگ بوده است، ولی امروز از واحد ساعت استفاده می‌شود.

قنات‌های زیادی در حوضه بم وجود دارد که طولانی‌ترین آنها عبارتند از باغ چمک ۱۰۵۰۰ متر، یزدان‌آباد ۱۰۷۰۰ متر، سعادت‌آباد ۱۰۸۰۰ متر، اکبرآباد ۱۲۶۰۰ متر، قدرت‌آباد ۱۳۵۰۰ متر، رحمت‌آباد ۱۱۷۰۰ متر، برج بهزادی ۱۳۸۰۰ متر، رحمت‌آباد عامری ۱۲۳۰۰ متر، لطف‌آباد جرجین ۱۲۰۰ متر، سعادت‌آباد چهل تخم، حسین‌آباد، آبشور نظام‌آباد و ابراهیم‌آباد ۱۱۰۰۰ متر، دهنو محمدآباد، محمودآباد و الله‌آباد ۶۰۰۰ متر، بدرآباد، ۱۶۵۰۰ متر و عبدل‌آباد ۱۳۵۰۰ متر. به علاوه قنات‌های اسدآباد، رحمانیه، معصومیه و نجمیه باغ چمک، حافظ‌آباد و سرسبیل دشت گاو، پاکم و ده شتر خواجه عسکر، قنبرآباد شیخی بم، قاسم‌آباد و اکبرآباد بروات که ثبت جهانی شده‌اند، از قنات‌های پرآب بم محسوب می‌شوند.

## آبرسانی به ارگ بم

آب قسمت حاکم‌نشین از چاهی که در بالای صخره در دل سنگ حفر شده است، تأمین می‌شده و قدمت این چاه را به عهد باستان می‌رسانند، زیرا حفر چاه‌ها و یا آب‌انبارها در سنگ از دوره هخامنشی آغاز گردید و در قلاع متعلق به دوره ساسانی نیز به وفور مشاهده می‌گردد. آنچه مسلم است حفر چنین چاه‌هایی که در سنگ انجام گردیده بر اثر اجبار بوده، زیرا اکثر ابنیه این دوره بر صخره‌های بلند بنا می‌شد. این چاه در کنار چهار فصل و حمام حاکم قرار دارد و چهل متر عمق داشته و از آب آن برای خزینه حمام استفاده می‌شده است. در بخش تأسیسات نظامی نیز دو چاه وجود دارد، یکی در گوشه جنوب شرقی قورخانه واقع شده و عمق آن ۳۱/۵ متر است. جرز دیواری که چرخ چاه بر آن قرار می‌گرفته تا قبل از زلزله ۱۳۸۲ باقی بود. چاه دوم در محل اصطبل بزرگ در گوشه جنوب شرقی آن قرار دارد و از نحوه قرار گرفتن آن به خوبی آشکار است که بنای اصطبل پس از حفر چاه انجام پذیرفته است. عمق این چاه ۲۸ متر است. جالب توجه است که هر سه چاه بر روی یک محور قرار گرفته و حتی گسترش بعدی قلعه و افزودن ساختمان اصطبل و قورخانه در همین راستا بوده است. اعتماد السلطنه در مورد این چاه‌ها می‌نویسد: در وسط سنگ در سر کوهی چاهی حفر کرده‌اند که ۴۰ گز طناب می‌خورد و آب شیرین و گوارا دارد، چاه دوم که پایین‌تر است سی‌ذرع



طناب می‌خورد و سوم که در پایین ۲۷ ذرع ریسمان می‌خورد و بادلوهای که ۴۵ من به وزن تبریز آنگیر آن است. اگر روز هزار دلو از چاه‌های مزبور آب بکشند، کسر و نقصان در آن پیدا نمی‌شود، سرپرسی سایکس عمق چاه دوم را حدود ۱۸۰ پا یا ۵۴ متر یاد می‌کند. اعتماد السلطنه همچنین می‌نویسد که به علت وزش باد شمال دائم و قوی در این نواحی، آسیاب همیشه دایر بوده و سنگ‌های بزرگی در گردش داشته، آخرین تعمیر آسیاب در زمان ابراهیم خان سرهنگ به توسط محمدقاسم خان بمی صورت گرفته است. سنگ آسیاب سه متر قطر و ۷۵ سانتی‌متر ارتفاع داشته است. وزیری می‌نویسد که یک چاه در بالای قلعه هست که عمق آن متجاوز از ۲۰۰ ذرع است و اکنون آب دارد در نهایت گوارندگی، وزیری بنای قلعه را به بهمن پسر اسفندیار و حفر چاه را به دست رستم دستان و به امر سلیمان نبی نسبت می‌دهد.

عباسقلی خان جوانشیر در سال ۱۲۵۸ خورشیدی از ارگ بازدید کرده می‌نویسد که از این چاه به وسیله گاوپناه (دولاب) برای آشامیدن آب بالا می‌کشیدند و آب جاری آن به دو سنگ آب بالغ می‌شده و مصرف کلی شهریان قلعه‌نشین را تأمین می‌کرده است و یک چاه را که پر شده بود، دوبار خالی کردم و در بالای ارگ یک آسیاب بادی قرار دارد.

یکی دیگر از چاه‌های معروف ارگ، چاه آبی است که در ضلع جنوب شرقی مسجد بزرگ ارگ وجود داشته که به چاه صاحب‌الزمان معروف است. می‌گویند که در این چاه در زمان قدیم نه‌ری جاری بوده است. در ارگ بم از آب باران به عنوان ذخیره آبی استفاده می‌شده است. به عنوان مثال در سقف چاه خانه منزل معروف به تاجر هندی تنبوشه‌هایی تعبیه شده بود که به احتمال قوی از طریق آن آب باران به حوضچه بالای چاه ریخته و از آن راه وارد منبعی که در مقابل ایوان خانه قرار داشته، می‌شده است.

مقدسی می‌نویسد که در کنار شهر نه‌ری روان است که از محله نیازان شهر را می‌شکافد و به دژ وارد شده و از آنجا به باغ‌ها می‌رود، دلایلی نیز وجود دارد که آب از طریق شترگلو که از زیر بارو وارد ارگ شده و از آنجا به آب انبار اصطبل می‌رفته است. در خندق نیز آثاری پیدا شده که به نظر می‌رسد شتر گلو در آنجا بوده است. چون ارگ در جنوب یک شاخه رودخانه بم قرار گرفته و خندق هم ظاهراً از آنجا آب می‌شده است. از شواهد می‌توان به این نتیجه رسید که برای مسجد آب مستقلاً به داخل ارگ آورده باشند.

دفع فاضلاب در ارگ بم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و در بیشتر خانه‌ها سیستم توالی وجود داشته که دارای چاهی مجزا بوده است. آثار به جای مانده در خانه‌ای که ۲۰۰ سال پیش تخلیه شده، سند معتبری برای نکات بهداشتی و استفاده

از توالی به شیوه کنونی برای این شهر کهن است. آب انبارهای عمومی و متعدد در مکان‌های مشخص ساخته شده بود که توسط گاوپناه پر می‌شده است و آثار تقریباً دست نخورده یکی از همین آب انبارها باقی است که از دستبرد زلزله هم مصون مانده است.

گاوپناه جنوبی که در گوشه جنوب شرقی سربازخانه قرار داشت، آب را به قسمت‌های پایین‌تر انتقال می‌داده است؛ بطوری که آب از زیر محل ورودی سربازخانه عبور کرده و بعد از درب ورودی دو شاخه می‌شده که شاخه میانی به اصطبل راه یافته و دو شاخه دیگر به شرق و غرب ارگ می‌رفته‌اند، یخدان ارگ بم در خارج حصار شرقی ارگ واقع شده و تنها یادگار و بازمانده یخچال‌های سنتی است از بانی یا معمار آن اطلاعی در دست نیست و به احتمال زیاد در عصر صفویه و حتی قبل از آن یعنی تیموریان و ایلخانیان ایجاد شده است. یخ این یخدان از کوه‌های ده‌بکری تأمین می‌شده است که در فصل زمستان پر از برف می‌شده و در تابستان به مصرف می‌رسیده است. این بنا بیشتر به برف چاه شبیه بوده، چون آب و هوای بم اقتضای تولید یخ را ندارد.

### تمدن رودخانه‌یی نساء

رودخانه نساء که ساختمان بند آن مشهور و منصوب به همسر اردشیر است، در مجموع به ۱۴۴ تاق بین روستاهایی که در مسیر آن قرار دارند، تقسیم شده است. بنا به روایات شفاهی آب این رودخانه را به شهر بم نیز می‌برده‌اند. کارشناسان از بقایای کانال انتقال آب رودخانه نساء که در دوره خشک‌سالی آب را به دشت بم منتقل می‌نموده، یاد کرده‌اند. ساخت سد نساء، کلیه معیارهای رودخانه نساء را عوض کرده است. ارتفاع محدوده رودخانه نساء از سطح دریا حدود ۸۰۰ متر است. طول این رودخانه ۱۸۵ کیلومتر و حوضه آبریز آن بیش از ۴۰۰۰ کیلومتر وسعت دارد. ۲۳ آبادی دشت نساء از این رودخانه حقا به دارند و تا سال ۱۳۴۳ نظام بهره‌برداری از آب و زمین به صورت ارباب رعیتی بوده است. رودخانه نساء، سه میراب داشت که در مورد انتقال آب و تقسیم آب‌بند تصمیم می‌گرفتند. کل آب رودخانه ۱۲۹ تاق و هر تاق ۱۲ ساعت آب داشت و در مجموع ۱۵۴۸ ساعت میان روستائیان تقسیم می‌شده در زیر آب رودخانه ۳۶ گاوبند زراعت می‌کردند. گاوبندها میان ۲ تا ۴ نفر عضو داشتند. برای بستن بندر رودخانه که زیر نظر میرابها سامان داده می‌شد هر گاوبند یک نفر نیرو تأمین می‌کرد و در مواقع طغیان آب، هر گاوبند دو نفر نیرو می‌داد که بستن بند میان ۱۰ تا ۱۵ روز طول می‌کشید. در حال حاضر یک آبیاری در هر روستا وجود دارد که در تقسیم آب نظارت می‌کند.

ناصرالدوله فرمانفرما، فرزند فیروز میرزا و حاکم کرمان در سال ۱۲۶۱ شمسی در مورد آب رودخانه و حقایق گروک می‌نویسد که گروک یکی از مزارع نماشیر است و تقریباً ۵ سنگ آب دارد و آبش خیلی گوارا است. منبع این آب کوه جبالبارز است. از منابع تا این مزرعه قریب سه فرسنگ است تا سه فرسخ به گروک مانده چهل سنگ آب می‌آید و بعد منشعب می‌شود و باقی در سایر دهات نماشیر می‌رود. در سال ۱۱۹۰ شمسی هنری پاتینجر در سر راه خود از بمپور به بم از دشت نماشیر گذشته و به توصیف جویبارهایی که از چشمه‌های طبیعی و برف کوهستان آبادی‌های نماشیر را آبیاری می‌کرده‌اند و اراضی بسیار حاصلخیز که تماماً زیر کشت بوده‌اند، می‌پردازد و در مسیر بین ریگان و بم ۲۰ آسیاب را می‌شمارد. در زمان اصلاحات اراضی، ۱۳۶ آبادی دشت میان کشاورزان تقسیم شدند.

### ریگان

منطقه عمومی ریگان شامل ۱۰۰ پارچه آبادی در ۹۵ کیلومتری شهرستان بم و در مسیر جاده ایرانشهر قرار دارد. به علت وفور شن‌های روان به ریگان مشهور شده است. افزون بر ۵۰ رشته قنات در منطقه وجود دارد که قنات محمدآباد از همه قدیمی‌تر و دارای سابقه ۴۰۰ ساله است این قنات ۲۵۰ حلقه چاه با عمق متوسط هر چاه ۵۵ متر دارد. قناتهای بم بیان و رحمت‌آباد در رده بعدی قرار دارد. رودخانه بهمن از رودخانه‌های فصلی است که در ریگان وجود دارد و مدار گردش آب شش یک و نظام آبیاری بر اساس گاوبند بوده است. هر گاوبند مقدار زمینی است که در مدت ۱۲ ساعت با دو گاواهن کشت می‌شده است. هر دو گاوبند یک دمن را می‌سازند و هر دمن ۲۴ ساعت است. مهمترین نقش تقسیم آب در منطقه ریگان بر عهده آبدار است. در مسیر بسیاری از قنات‌ها استخرهایی درست کرده‌اند که استخرهای رحمت‌آباد، احمدآباد، و الله‌آباد از بقیه معروف‌ترند. قنات گزان خواست در دوره اشکانیان به منظور تأمین آب قلعه و پر کردن خندق اطراف آن حفر شده است. واحد کار بر روی مزارع نیز گاوبند است، هر گاو بند ۴ نفر را شامل می‌شود که دشتبان، آبدار، سرزعیم و بازیار هستند. سرزعیم کار اصلی را انجام می‌داده و گاو و آهن و وسایل دیگر را تهیه می‌کرده است. وظیفه بازیار جو زدن، خاک‌برداری، چینه‌کشی، کوددهی و وجین کردن محصول بوده است و دشتبان نیز از محصول حفاظت می‌کند. در این منطقه هر دانگ ۲۴ ساعت آب دارد. زمان شروع کار از پاییز شروع و در قوس برداشت محصول تمام

می‌شود. بعد از قوس و آغاز چله بزرگ کار بریدن و هرس کردن درختان و لایروبی جویی بوده، چله‌ی تابستان و چله‌ی زمستان هر کدام ۶۰ روز زمان دارند. بعد از چله‌ی زمستان سیاه بهار از اول اسفند تا ۲۰ فروردین شروع می‌شود که زمان بو دادن نخل‌ها است. از مقنی‌های معروف ریگان می‌توان از عباس، غلامحسین و محمد کرمشاهی، دادمحمد پیشکار، محمد اشک، حسین قربان‌پور و علی صباغ نام برد. قنات رستم‌آباد علی چارک ریگان قرار بود ثبت ملی شود که به علت عدم پیگیری مسئولین تاکنون اقدامی نشده است.

### فهرج

بنا به گفته دکتر احمد مستوفی استاد دانشگاه تهران در کتاب دشت لوت حدود فهرج از سمت شرق به دشت لوت، رود دستکو، آب رئیس و بزمان از سمت جنوب به بم کوه جبالبارز از سمت شمال به کبیر دشت لوت زنگی احمد و از سمت مغرب به سلسله جبال کوه شاه و آب گرم و آب بادی چهل تن محدود است. فهرج انبار غله شهرستان بم بوده و آذوقه بم از فهرج تأمین می‌شده است. جاده ابریشم وارد فهرج می‌شده و از آنجا به سایر نقاط جهان آن روز امتداد داشته است. در گذشته دور، پرورش کرم ابریشم نیز رواج داشته است. دکتر احمد مستوفی می‌گوید که در این محل در زمان ساسانیان پرورش اسب رواج داشته و آن به علت وفور یونجه بوده است. می‌گویند قدمت فهرج از بم هم بیشتر است. ارتفاع فهرج از سطح دریا ۷۰۰ متر است. از قنات‌های مشهور منطقه فهرج می‌توان از قنات‌های ده‌بالا، یحیی‌آباد، برج‌معاذ، حسین‌آباد، فتح‌آباد، کهن‌آباد و جهان‌آباد نام برد، قنات رکن‌آباد قدمت ۶۰۰ ساله و ۲۰۰ حلقه چاه دارد. طول آن ۸ کیلومتر و عمق مادرچاه آن ۶ متر است. حمام قدیمی فهرج با قدمت ۲۰۰ ساله، اکنون رو به ویرانی است. در مسیر ورود قنات‌ها به روستاها پایاب‌هایی ساخته شده که دسترسی به چاه‌های آب قنات‌ها را با پلکان‌هایی میسر ساخته و ساکنین مسیر قنات از آب برای آشامیدن و احشام استفاده می‌کرده‌اند. در مسیر رودخانه فهرج چشمه‌های زیادی وجود داشته و قدمگان ابوالفضل در کنار این رودخانه قرار دارد. در کنار این قدمگاه تل عدس، مظهر تمدن هزار ساله واقع شده است. قلعه فهرج تا ۸۰ سال پیش مسکونی بوده و آب آن از طریق نقب به رودخانه تأمین می‌شده است. مدار گردش آب در فهرج شش روز و نظام آبیاری بر اساس ساعت است که در ۴۰ پارچه آبادی رواج دارد.

نرماشیر به گواه تاریخ‌نویسان عمری به درازای تاریخ و قدمتی وری تاریخ دارد. عموم جغرافی‌نویسان بعد از اسلام نرماشیر را ناحیه‌ی اقتصادی و بازرگانی معتبر گفته‌اند. در قدیم گوشواران (نرماشیر) شهری که محل گذر اقوام و کالاهای مختلف بوده است. فاصله نرماشیر تا بم ۳۵ کیلومتر است از قنات‌های منطقه نرماشیر قنات رستم‌آباد، زعیم‌آباد، افضل‌آباد، قصر، محمدآباد آب شیرین، ده‌شور، چهل تخم و قاسم‌آباد، مشهور هستند. قنات رستم‌آباد بیش از ۲۰ کیلومتر طول دارد. نرماشیر مرکز اصلی مقنی‌های حوضه بم به شمار می‌رود و در قرن گذشته، رابطه بسیار زیادی میان مقنی‌های یزدی و نرماشیری وجود داشته است. قربانعلی زابلی، عباس اکبرزاده، اکبر ترکان و کدخدا کهکین از مقنی‌های مشهور منطقه بوده‌اند. مدار گردش آب شش روز و نظام آبیاری بر اساس ساعت است. رودخانه‌های عزیزآباد، محمدآباد و آب شیرین از جمله رودخانه‌های فصلی منطقه هستند و در نرماشیر چشمه و رودخانه دائمی وجود ندارد.

## منابع

- برشان، محمد. (۱۳۸۸). تاریخ آب و آبیاری استان کرمان (آب‌نامه). انتشارات کرمان‌شناسی. چاپ اول. ایران.
- برشان، محمد. (۱۳۹۰). سفرنامه آب‌ها. انتشارات پاپلی، چاپ اول. مشهد، ایران.
- برشان، محمد. (۱۳۹۱). سنگ‌ها، سفال‌ها و خشت‌ها. انتشارات اوراق. چاپ اول. تهران، ایران.
- عبداللهی، علی‌اصغر، و سایکس، پرسی‌مولزورث. (۱۳۹۵). سفرنامه ژنرال سرپرسی سایکس، یا، ده هزار میل در ایران (ترجمه حسین سعادت نوری). انتشارات دنیای کتاب. ایران.
- مقدسی، ابوعبدالله محمد بن احمد. (۱۳۶۱). احسن التقاسیم فی معرفت الاقالیم (ترجمه دکتر علی نقی منزوی). انتشارات شرکت مولفان و مترجمان ایران.
- نوربخش، حمید. (۱۳۵۵). ارگ بم: همراه با تاریخ مختصری از شهرنشینی و شهرسازی در ایران. انتشارات پیوند، تهران. ایران.
- وزیری کرمانی، احمدعلی خان. (۱۳۵۲). تاریخ کرمان (سالاریه) (مصحح: محمد ابراهیم باستانی پاریزی). انتشارات ابن سینا. ایران.
- وزیری کرمانی، احمدعلی خان. (۱۴۰۰). جغرافیای کرمان (مترجم: محمد ابراهیم باستانی پاریزی). انتشارات علم، چاپ ششم. ایران.

خانم مالین فالکن‌مارک، آب‌شناس برجسته سوئدی، در سوم دسامبر ۲۰۲۳ در سن ۹۸ سالگی چشم از جهان فرو بست. او به خاطر تلاش‌های بی‌وقفه و ابداعات ارزشمندش در زمینه استفاده پایا از منابع آب برای برآوردن نیازهای انسان و اکوسیستم شناخته شده است.

فالکن‌مارک در سال ۱۹۲۵ در استکهلم سوئد متولد شد. او در دانشگاه اوپسالا در رشته هیدرولوژی تحصیل کرد و در سال ۱۹۶۴ به عنوان اولین زن سوئدی، دکترای این رشته را اخذ نمود. فالکن‌مارک در طول دوران حرفه‌ای پربار خود، سهم بسزایی در درک صحیح و مدیریت جامع منابع آب در سطح ملی و بین‌المللی ایفا کرد.



### شاخص تنش آبی: گامی نوین در اندازه‌گیری کمبود آب

یکی از مهم‌ترین دستاوردهای فالکن‌مارک، ابداع شاخص تنش آب در سال ۱۹۸۹ (در سن ۶۴ سالگی) بود. این شاخص، برای نخستین بار با ادغام مولفه‌های طبیعی و اجتماعی، عدم کفایت یا کمبود آب موجود را برای مصارف انسانی به روشی نوین اندازه‌گیری می‌کند.

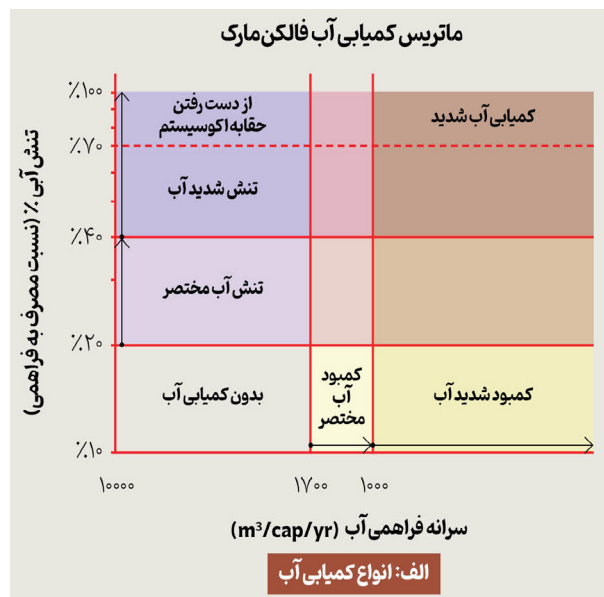
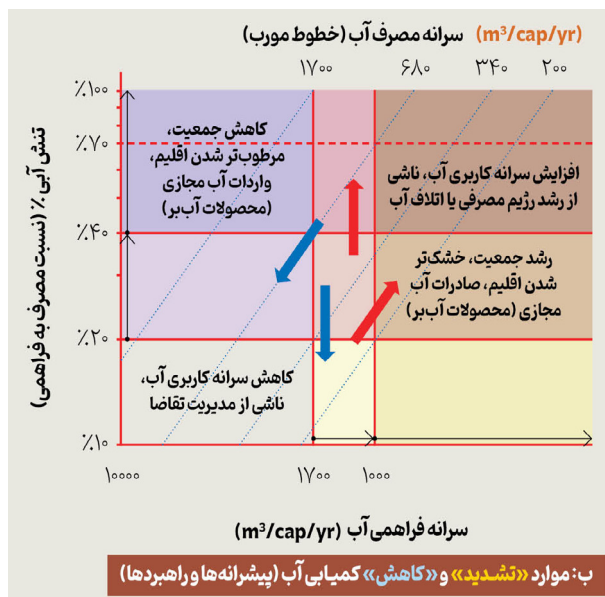
تا پیش از این، روش‌های موجود برای اندازه‌گیری کمبود آب به طور جداگانه به بررسی مولفه‌های طبیعی مانند بارش، روان‌آب و تبخیر و تعرق از یک سو و مولفه‌های اجتماعی مانند تقاضای آب و زیرساخت‌های آبی، از سوی دیگر می‌پرداختند. این امر منجر به ارائه تصویری ناقص از وضعیت کمبود آب و چالش‌های مرتبط با آن می‌شد. فالکن‌مارک با درک این نقص، شاخص تنش آب را به عنوان ابزاری رساتر برای اندازه‌گیری کمبود آب معرفی کرد. این شاخص با در نظر گرفتن هر دو مولفه طبیعی و اجتماعی، به طور دقیق‌تر میزان تنش موجود در سیستم‌های آبی را نشان می‌دهد و اطلاعات ارزشمندی برای تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت منابع آب ارائه می‌کند.

شاخص تنش آب فالکن‌مارک به سرعت در سراسر جهان به عنوان یک ابزار کلیدی برای ارزیابی وضعیت منابع آب و تدوین سیاست‌های مرتبط با آن، مورد استفاده قرار گرفت.

این شاخص به طور گسترده‌ای توسط سازمان‌های بین‌المللی مانند سازمان ملل و بانک جهانی و همچنین توسط دولت‌ها، دانشگاه‌ها و سازمان‌های غیردولتی در سراسر جهان به کار گرفته می‌شود.

نباید از نظر دور داشت که در بیست سال گذشته روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری کمیابی آب، تکامل بسیار بیشتری یافته است. اما این فالکن‌مارک بود که برای اولین بار آستانه‌های تنش آب را پیشنهاد نمود. این پایه بسیار مهمی بود که وقتی او مصارف آب توسط جوامع انسانی را بر روی آن قرار داد، مفهوم کمیابی آب، متولد شد. در واقع تشخیص اینکه مصرف آب توسط بخش انسانی (اجتماعی) بطور مستقل از بخش طبیعی (هیدرولوژی) در جریان است، فالکن‌مارک را بر آن داشت تا شاخص کمیابی آب را با ترکیب «تنش آبی» و «فراهمی آب» توسعه دهد. این ترکیب، به خوبی در شکل (۱)، ترسیم شده است.

داشتن شاخصی که از جنبه‌های مختلف و نه تک بعدی، شرایط آبی در یک منطقه را مشخص کند؛ از این منظر که اظهارنظرهای سلیقه‌ای و شخصی را ساماندهی می‌کند و وجهی کمی به مسأله‌ای کیفی می‌دهد؛ حایز اهمیت بسیار است و ما این ایده روشنی‌بخش را مرهون ایده و ابتکار فالکن‌مارک هستیم.



شکل ۱- شاخص کمیابی آب، ابداع شده توسط فالکن مارک از رهگذر ترکیب «تنش آبی» و «فراهمی آب»

### فعالیت‌های بین‌المللی: تعهدی به حفظ محیط‌زیست

فالکن‌مارک در طول فعالیت حرفه‌ای خود، در سمت‌های متعددی در ارگان‌های بین‌المللی مانند سازمان ملل و بانک جهانی خدمت کرد. او به طور خستگی‌ناپذیر در نقش‌های ملی و جهانی برای ترویج مدیریت پایای منابع آب و حفظ محیط زیست، تلاش می‌کرد. فالکن‌مارک در سال ۱۹۸۴ به عنوان عضو شورای تحقیقات علوم طبیعی سوئد انتخاب شد و تا سال ۱۹۹۵ در این سمت فعالیت کرد. او همچنین در دهه ۱۹۶۰ به عنوان دبیر و سپس رئیس کمیته سوئدی دهه بین‌المللی هیدرولوژی (یک برنامه پژوهش پیرامون مسائل آب دنیا که به ابتکار یونسکو از ۱۹۶۵ تا ۱۹۷۵ برگزار شد) فعالیت کرد. بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۳ نیز به عنوان رئیس کمیته علمی در مؤسسه بین‌المللی آب استکهلم خدمت نمود و در همین سمت بود که رویداد سالانه «هفته جهانی آب» را راه اندازی کرد. در سال ۲۰۰۷، به عنوان محقق ارشد به مرکز تاب‌آوری استکهلم پیوست. در سال ۲۰۱۸، «جایزه سیاره آبی» را مشترکاً با یک بوم‌شناس، از موسسه آساهی ژاپن دریافت نمود. مالین فالکن‌مارک، پس از یک عمر پر بار علمی، در ۳ دسامبر ۲۰۲۳ (یکشنبه دوازدهم آذر ۱۴۰۲) در سن ۹۸ سالگی درگذشت.

### هفته جهانی آب: تلاشی جمعی برای یافتن راه‌حل‌های پایدار

فالکن‌مارک در تاسیس «هفته جهانی آب» (که در ابتدا با نام سمپوزیوم آب استکهلم، آغاز به کار نمود)؛ در سال ۱۹۹۱ نقش کلیدی داشت. این رویداد سالانه که در حال حاضر به عنوان کانون بررسی مسائل آب در جهان شناخته می‌شود، فرصتی برای تبادل نظر و یافتن راه‌حل‌های پایدار برای چالش‌های آبی جهان فراهم می‌کند.

هفته جهانی آب هر ساله با حضور هزاران نفر از جمله دانشمندان، سیاستمداران، فعالان محیط زیست و نمایندگان بخش خصوصی از سراسر جهان برگزار می‌شود. این رویداد شامل سخنرانی‌ها، جلسات بحث و گفتگو، کارگاه‌های آموزشی و نمایشگاه‌ها می‌شود و به عنوان پلتفرمی برای تبادل دانش، تجربیات و ایده‌ها در زمینه مدیریت منابع آب عمل می‌کند.

فالکن‌مارک معتقد بود که حل چالش‌های آبی جهان نیاز به همکاری و تعهد جهانی دارد. او هفته جهانی آب را به عنوان ابزاری برای ایجاد این همکاری و تعهد تأسیس کرد. این رویداد به طور قابل توجهی به افزایش آگاهی عمومی در مورد مسائل مربوط به آب و تشویق به اقدام برای یافتن راه‌حل‌های پایدار برای این چالش‌ها، کمک کرده است.



مالین فالکن مارک که به عنوان یکی از پیشگامان علم هیدرولوژی مدرن شناخته می‌شود، در حالی بدرد جهان گفت که با تعهد راسخ خود به حفظ منابع آبی، الهام‌بخش نسل‌های متعددی از دانشمندان، سیاست‌مداران و فعالان محیط زیست در سراسر جهان گردیده است.

میراث این بانوی گران قدر شامل دستاوردهای علمی ارزشمند، تعهد به عدالت آبی و تلاش برای افزایش آگاهی عمومی در مورد مسائل مربوط به آب است. کار او به طور قابل توجهی به درک ما از منابع آب و چالش‌های مرتبط با آن کمک کرده است و الهام‌بخش ما برای یافتن راه‌حل‌های پایدار برای این چالش‌ها ناظر به نسل‌های آینده به‌ویژه در سرزمین‌هایی که بر خلاف خاستگاه فالکن مارک، کم آبی، در هم تنیده با سرشت آن است؛ خواهد بود.

#### منابع

نشریه آب و توسعه پایدار، (شماره اسفند ۱۴۰۲)، تصویر روی جلد. Falkenmark, M. (1989). The massive water scarcity threatening Africa-why isn't it being addressed. Ambio, 18(2), 112-118.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Malin\\_Falkenmark#cite\\_note-1](https://en.wikipedia.org/wiki/Malin_Falkenmark#cite_note-1)

<https://siwi.org/latest/thank-you-malin-falkenmark>

علاوه بر دستاوردهای برجسته ذکر شده، فالکن مارک در زمینه‌های متعددی در حوزه آب فعالیت می‌کرد که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

• **ترویج استفاده از آب‌های غیرمتعارف:** فالکن مارک معتقد بود که برای حل چالش کمبود آب در جهان، باید به منابع آب غیرمتعارف مانند آب شورزدایی شده و آب بازیافتی توجه بیشتری شود. او در ترویج استفاده از این منابع و توسعه فناوری‌های مربوط به آنها تلاش می‌کرد.

• **تأکید بر اهمیت عدالت آبی:** فالکن مارک بر این باور بود که دسترسی به آب سالم و کافی یک حق اساسی بشر است و باید برای همه افراد در سراسر جهان به طور عادلانه توزیع شود. او به طور فعال در زمینه عدالت آبی فعالیت می‌کرد و از سیاست‌هایی که به برابری در دسترسی به آب منجر می‌شد، حمایت می‌کرد.

• **توجه به ارتباط بین آب و تغییرات آب و هوایی:** فالکن مارک یکی از اولین دانشمندانی بود که به ارتباط بین آب و تغییرات آب و هوایی اشاره کرد. او هشدار می‌داد که تغییرات آب و هوایی می‌تواند منجر به افزایش خشکسالی، سیل و سایر رویدادهای شدید آب و هوایی شود که به طور قابل توجهی بر منابع آب و امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد.

• **ترویج آموزش و آگاهی عمومی:** فالکن مارک معتقد بود که آموزش و آگاهی عمومی در مورد مسائل مربوط به آب برای حل چالش‌های کمبود آب ضروری است. او در ترویج آموزش در مدارس و دانشگاه‌ها و همچنین در افزایش آگاهی عمومی از طریق سخنرانی‌ها، مقالات و مصاحبه‌ها فعالیت می‌کرد.



کتاب «مدیریت آب» حاصل ده سال تلاش تیم باانگیزه و خستگی ناپذیری است که کوشیده با مطالعه علمی مولفه های مدیریت منابع و مصارف آب از ضرورت اتخاذ رویکردهای نو و توجه به مباحث جدید در مدیریت آب کشور بگوید.

مؤلفین: دکتر کامران داوری، امیر اسلامی، حمید عمرانیان خراسانی، هاشم درخشان و محمد سالاریان

انتشارات: جهاد دانشگاهی مشهد

تعداد صفحات: ۵۸۰ صفحه



اصولی سنجش و داده در مدیریت تاکید شود. در حقیقت برای مدیریت یکپارچه آب، نظام پایش و ارزیابی نقشی حیاتی دارد؛ و برای اخذ تصمیمات صحیح در سطوح مختلف مدیریت یکپارچه، داده های اندازه گیری شده نه تنها بایستی موثق و کافی باشند، بلکه باید متناسب با نیازهای سطوح مدیریتی گوناگون سنجش و گردآوری شوند.

در شرایط کنونی ضروری است تا مدیران آب تلاش کنند با افزایش کارآمدی نظام ارزیابی، صحت و دقت تصمیمات خویش را ارتقاء دهند؛ تا بتوانند پیامدهای «محیط زیستی، اجتماعی، سیاسی و اقتصادی» ناشی از سناریوهای مختلف تخصیص آب را قبل از تصمیم گیری، با پیش نگر و دوراندیشی برآورد کنند.

در این راستا و برای تضمین پایایی به رسمیت شناخته شدن (۱) حقایق اکوسیستم از آب تجدیدپذیر؛ (۲) عدم قطعیت در برآوردهای آینده (تغییر اقلیم، تحولات اقتصادی، و رشد جمعیت) و پایداری به سه اصل: (۱) توسعه عمودی کشاورزی و افزایش بهره وری این بخش؛ (۲) مدیریت جامع تقاضای آب با توجه به نقش مردم؛ و (۳) تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی، و تبعیت بدون استثناء تمامی سیاست های مرتبط از آن؛ ضروری است.

کتاب «مدیریت آب (منابع و کاربردها)» در ۱۵ فصل زیر گستره وسیع «مولفه های مدیریت منابع-مصارف آب» را مورد بررسی دقیق قرار داده و راهکارهای نو را عرضه می کند.

۱- کلیات مدیریت آب، ۲- حقوق و قواعد آب، ۳- تاریخ مدیریت آب ایران، ۴- آب مجازی و رد پای آب، ۵- بهره وری آب کشاورزی، ۶- مالکیت، تبادل و بازار آب، ۷- مدیریت تقاضا، ۸- تجدیدپذیری و بیلان، ۹- تخصیص آب، ۱۰- داده، پایش و ارزیابی، ۱۱- تصمیم گیری، ریسک و توسعه پایا، ۱۲- حکمرانی آب و مدیریت یکپارچه، ۱۳- مدیریت آب زیرزمینی و خشکسالی، ۱۴- مدیریت راهبردی-مشارکتی آب و ۱۵- نگرش سیستمی.

در این کتاب آمده است که سیستم منابع-مصارف آب از زیرسیستم های متعددی تشکیل شده، که با یکدیگر تعاملات و بازخورهای درهم تنیده و پویایی دارند. در واقع باید پذیرفت که گسترده شدن دخالت انسان در یک قرن اخیر، اثرات منفی بر منابع آب داشته و پایایی این سیستم ها را دچار مخاطره کرده است. به گونه ای که برهم کنش امروزی بین جوامع بشری و چرخه هیدرولوژی، در گذشته هرگز مشاهده نشده است. اکنون شدت تأثیر متقابل میان سیستم های انسانی و طبیعی نشان می دهد که فعالیت های انسان محور منجر به پیوستگی قوی میان این دو سیستم شده است. لذا، اثرات مثبت و منفی تصمیم گیری های مدیریتی برای توسعه های اجتماعی-اقتصادی، مستقیماً بر سیستم های طبیعی بازتاب می یابند. این واکنش های متقابل، به نوبه خود بازخورهایی را منعکس می کنند و روابطی درهم تنیده و چنبدبُعدی میان این دو سیستم (و زیرسیستم ها) در مقیاس های مکانی و زمانی گوناگون ایجاد می گردد.

مدیریت آب برای حفظ پایایی سیستم منابع-مصارف آب (و یا بازیابی پایایی آن)، نیازمند شناسایی زود هنگام این پیشراندها و نشان دادن واکنش به موقع و متناسب نسبت به آنها است. چنین واکنشی با تدوین هوشمندانه قواعد (قوانین و ضوابط) و برنامه های واقع گرایانه ممکن می گردد. قطعاً اثر بخشی، تابع تناسب و کفایت این قواعد و تبعیت بخش انسانی (مسئولین، آب بران و سایرین) از آنها است؛ که نیازمند توجه به منافع عموم گروداران (به ویژه با مشارکت دادن کنشگران کلیدی) در فرآیند تصمیم سازی و سیاست گذاری می باشد. همچنین مدیریت آب برای هدایت برنامه های خود در دستیابی به اصلاح و یا تعدیل سیستم، نیازمند یک نظام پایش و ارزیابی است (هم در بُعد عملیاتی و هم در بُعد راهبردی)؛ تا به کمک آن بتواند مستمراً پیشرفت اقدامات (بُعد عملیاتی) و نیز مثمر بودن را (بُعد راهبردی) را سنجش کند. به نظر می آید، امروزه در ایران باید بر مفاهیم و اهمیت پایش و ارزیابی و بیش از آن بر نقش

# کنکاشی درسدسازی ایران



به سفارش

نشریه آب و توسعه پایدار و شرکت آب  
منطقه ای خراسان رضوی

با همکاری

پژوهشکده آب و محیط زیست  
دانشگاه فردوسی مشهد



بهار  
۱۴۰۳

## تهیه و تدوین

- دکتر کاظم اسماعیلی
- مآئده اسکوهی
- وحیده مرتضوی امیری
- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد
- دکتری علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد
- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد



بخش اول

مقدمه



بخش دوم

جنبه های مثبت و منفی سدسازی در ایران



بخش سوم

انعکاس مسأله سدسازی در رسانه ها



بخش چهارم

مصاحبه با متخصصین منابع آب و سدسازی



بخش پنجم

ارزیابی مصاحبه ها از طریق نرم افزار تحلیل داده های کیفی MAXQDA



بخش ششم

تحلیل نهایی



سدسازی یکی از روش‌های مهم مدیریت منابع آبی در جهان است، که به‌منظور تأمین آب برای آبیاری، تولید برق، کنترل سیلاب و فراهم آوردن منابع آب شرب برای جوامع انسانی ساخته می‌شوند. این سازه‌ها می‌توانند اثرات مثبت و منفی زیادی بر جوامع و محیط‌زیست داشته باشند، به همین دلیل، برنامه‌ریزی دقیق و پایش دائمی برای اجرای پروژه‌های سدسازی ضروری است. با این حال، سدسازی ممکن است به اثرات زیان‌بار محیط‌زیستی در زیست‌بوم‌های آبی و ایجاد تغییرات در رژیم رودخانه‌ها منجر شود. سدسازی در جهان از دو جنبه بررسی می‌گردد؛ از یک سو، بسیاری از کشورها از سدها برای تأمین نیازهای آبی و انرژی استفاده می‌کنند و این سدها می‌توانند اثرات مثبت زیادی داشته باشند. از سوی دیگر، برخی از کشورهای در حال توسعه با سختی‌ها و مشکلات محیط‌زیستی مربوط به سدها مواجه هستند. برای تصمیم‌گیری درباره سدسازی، باید اثرات مثبت و منفی آن را به دقت مورد بررسی قرار داد و تدابیر مناسب برای کاهش اثرات منفی احتمالی اتخاذ نمود. تجربیات سدسازی در جهان می‌تواند به‌عنوان زمینه مفید برای پروژه‌های آینده مورد استفاده قرار گیرند. در این پژوهش، به بررسی چالش‌های سدسازی در ایران و ارائه راهکارهای مفید در این زمینه پرداخته می‌شود. بنابراین ابتدا به طرح مسأله و تقسیم‌بندی‌های جزئی‌تر و سپس کلی‌تر در حوزه چالش‌های سدسازی در کشور پرداخته شد. پس از تحلیل و بررسی، سدهایی در ایران که چالش‌ها و نکات منفی زیادی در فرآیند احداث و بهره‌برداری داشتند، به تفصیل بیان گردید. همچنین منابع مورد استفاده در این پژوهش شامل مقالات علمی، مصاحبه با خبرگان، وینارهای برگزار شده با حضور استادان متخصص در حوزه سدسازی و کارشناسان مرتبط، مطالب منتشر شده در رسانه‌ها و همچنین مصاحبه‌های متخصصان موجود در سایت‌های علمی در این زمینه می‌باشد.

### << اشتباهات بحران‌آفرین در زمینه سدسازی

دسترسی به آب سالم، غذا و انرژی از جمله بنیادی‌ترین نیازهای جامعه بشری امروز است و با این وجود، همچنان صدها میلیون نفر در سراسر جهان از این موارد بی‌بهره هستند. براساس آمارهای منتشر شده از سازمان‌های درمانی و مدیریت انرژی جهان، سالانه ۳/۵ میلیون نفر به دلیل بیماری‌های مرتبط با کیفیت پایین آب جان خود را دست می‌دهند و بیش از یک میلیارد نفر در سال ۲۰۰۹، به برق دسترسی دائم نداشته‌اند. نکته قابل توجه این است که تا سال ۲۰۳۰ میزان تقاضا برای غذا و انرژی، ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت و این موضوع اهمیت سدسازی را بیش از گذشته افزایش می‌دهد. توجه یک‌طرفه به موضوع تأمین غذا و انرژی سبب شده است در بسیاری از کشورها بدون توجه به واقعیت‌های محیط‌زیستی، تغییرات جمعیتی و مطالعات زمین‌شناسی اقدام به ساخت سد در مناطق مختلف کنند و پس از چند سال با بروز خشکسالی، طوفان‌های شن، گرد و خاک، فرسایش خاک، کمبود آب و نابودی کشاورزی روبرو شوند. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۵ انجام شده است، مشخص شد که بیش از ۶۰ درصد رودخانه‌های جهان تحت تأثیر سدسازی، دچار تغییر شدید شده است که این تغییرات باعث بروز مشکلات محیط‌زیستی زیادی می‌شوند. هفت اشتباه بحران‌آفرین در زمینه سدسازی که در گزارش کمیسیون جهانی سد به آنها اشاره شده است:

#### • انتخاب رودخانه اشتباه برای ساخت سد

نخستین و سریع‌ترین تغییراتی که ساخت یک سد در یک منطقه ایجاد می‌کند، تغییر در جریان آب رودخانه‌های اطراف است. بیشترین تأثیر سدها بر روی جریان‌های پایین‌دست مشاهده می‌شود. مخازن سدها می‌توانند به شدت بر روند این جریان‌ها تأثیر بگذارند و ممکن است باعث شوند که جریان‌ها بیشتر، کمتر یا حتی متوقف گردند. جریان طبیعی یک رودخانه از زیست‌بوم منطقه حمایت می‌کند و به پایداری اکولوژیکی آن کمک می‌نماید. به همین دلیل، هر گونه تغییر در این جریان‌ها می‌تواند تأثیرات بنیادین بر نقش رودخانه، حیات جانوری و انسانی در آن منطقه

داشته باشد. همچنین، با توجه به نقش جریان‌های پایین‌دست در رسوب‌گذاری و تشکیل دلتاهای حاصلخیز، هر گونه تغییر بیش از حد در این جریان‌ها می‌تواند مشکلات جدی برای پایداری شکل و ساختار رودخانه به وجود آورد.

#### • بی‌توجهی به تغییرات جریان آب پایین‌دست

برای ساخت سد، لازم است خواص جغرافیایی و زیستی یک رودخانه به دقت ارزیابی شود تا تأثیرات منفی آن به حداقل برسد و در نهایت مزایای آن بیشتر از معایب باشد. دلایل زیادی وجود دارد که می‌تواند یک رودخانه را به گزینه‌ای نامناسب برای ساخت سد تبدیل کند. عواملی مانند جنس خاک، بستر رود و میزان لرزه‌خیزی منطقه، باید به‌طور کامل مورد بررسی قرار گیرند. همچنین ممکن است گونه‌های جانوری منطقه در خطر نابودی قرار گیرند و در موارد حادتر، به دلیل ضعف در جنس خاک، سد ساخته شده کارایی نداشته باشد.

#### • غفلت از تنوع زیستی

سدها نه تنها منابع ذخیره آب هستند، بلکه محل زندگی انواع موجودات آبی نیز به شمار می‌آیند. اگر تنوع زیستی در سدها به درستی شکل نگیرد و زنجیره غذایی موجودات به درستی برقرار نشود، ممکن است تمام موجودات آبی در سد از بین بروند. همچنین، وجود سد می‌تواند باعث ایجاد سیلاب‌ها و طغیان رودخانه‌ها شود که این موضوع نیز برای جان موجودات آبی تأثیر منفی می‌گذارد. در بسیاری از کشورها، گونه‌های زیستی که در پایین‌دست رودخانه‌ها زندگی می‌کنند و در بالادست آنها سد ساخته شده، در معرض خطر نابودی قرار دارند. این مسأله در مناطقی که ماهیگیری و کشاورزی بخش مهمی از معیشت ساکنان است، عواقب انسانی نیز به همراه دارد و می‌تواند باعث مهاجرت افراد گردد. برای جلوگیری از نابودی ماهی‌ها و کاهش تلفات، می‌توان از توربین‌های سازگار با محیط‌زیست ماهی‌ها استفاده نمود.

#### • سیاست‌ها و محاسبات اقتصادی اشتباه

پس از بررسی کامل جنبه‌های محیطی، زیستی و فنی یک پروژه سدسازی، باید به جنبه اقتصادی آن نیز توجه شود تا پروژه از نظر

مالی توجیه‌پذیر باشد. در هنگام محاسبات، معمولاً هزینه‌های زیستی و منطقه‌ای نادیده گرفته می‌شوند و به همین دلیل، بسیاری از پروژه‌های سدسازی در مراحل اولیه به‌عنوان پروژه‌های سودآور شناخته می‌شوند. اما متأسفانه، زمانی که اجرای پروژه به پایان می‌رسد، مشکلاتی که در ابتدا نادیده گرفته شده‌اند، نمایان می‌گردند. به همین دلیل، بسیاری از کارشناسان بر این باورند که هزینه‌های واقعی ساخت سد به درستی در زمان مطالعه آن محاسبه نمی‌شود. هر چه اختلاف بین محاسبات تئوری و مشکلات واقعی بیشتر باشد، صرفه اقتصادی سد کمتر می‌شود و گاهی اوقات مضرات آن بر مزایا غلبه می‌کند.

#### • ناتوانی در جلب رضایت عمومی منطقه

یکی از مهم‌ترین نکاتی که باید توسط مسئولان قبل از شروع پروژه سدسازی مد نظر قرار گیرد، جلب رضایت ساکنان محلی است. همچنین، در مواردی که احتمال تغییرات گسترده محیط‌زیستی وجود دارد، نیاز است برنامه‌ریزی‌هایی برای جابجایی ساکنان و اقدامات پیشگیرانه انجام شود. باید گروه‌های آسیب‌پذیر شناسایی شوند و راهکارهایی برای حل مشکلات آنها در نظر گرفته شود. این موضوع همچنین در مورد مشکلاتی که ممکن است یک پروژه در طولانی‌مدت ایجاد کند، مورد توجه قرار می‌گیرد.

#### • سوء مدیریت در خطرات و تأثیرات

بسیاری از پروژه‌های سدسازی در سراسر جهان به استانداردهای روز، پایبند نیستند و این کمبود استانداردها، مشکلات بیشتری را نسبت به آنچه در مراحل مطالعاتی پیش‌بینی شده، ایجاد می‌کند. برخی از طراحان و مسئولان سدسازی به این فکر می‌کنند که مسائل آب‌وهوایی، زیستی و انسانی منطقه به آنها مربوط نمی‌شود و بنابراین از پذیرش مسئولیت‌های خود شانه خالی می‌کنند. اشتباه دیگری که در این زمینه رخ می‌دهد، قربانی کردن اصول و قواعد برای تسریع در اتمام پروژه‌هاست. برخی شرکت‌ها با ایجاد شرایط اضطراری و حس نیاز کاذب، سعی می‌کنند پروژه‌های سدسازی را سریع‌تر به پایان برسانند. این رویکرد باعث می‌شود که بسیاری از ملاحظات ایمنی نادیده گرفته شوند که در نتیجه عمر سد کاهش می‌یابد، عملکرد آن بهینه نمی‌باشد و در نهایت برنامه‌ها با شکست مواجه می‌گردند.

#### • ساخت و ساز بی‌رویه سد

با توجه به اهمیت منابع آب در زندگی انسان‌ها، توجه زیادی به موضوع سدسازی به شکل سیاسی معطوف شده است. بسیاری از دولت‌ها به دلیل نیاز به تأمین آب برای مناطق مختلف، از سدسازی‌های بی‌رویه حمایت می‌کنند. این نوع سدسازی که بیشتر برای اهداف کوتاه‌مدت صورت می‌گیرد، مشکلات محیط‌زیستی زیادی را به همراه دارد. برای هر سدی که قرار است ساخته شود، نیاز به انجام مطالعات علمی و فنی دقیق وجود دارد. متأسفانه، در

برخی کشورها، سرعت ساخت سد‌ها به قدری بالا است که می‌توان با اطمینان گفت که بررسی‌های لازم به طور کافی صورت نگرفته است. جدول (۱) به نمونه‌هایی از تجربیات ناموفق سدسازی در ایران اشاره می‌کند و جدول (۲) نیز تقسیم‌بندی انواع سد‌ها بر اساس ویژگی‌های مشترک در عدم موفقیت یک پروژه سدسازی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مثال‌هایی از دلایل تجربیات ناموفق سدسازی در ایران، با زمینه‌های مختلف

| نمونه                     | دلایل تجربیات ناموفق سدسازی در ایران   |
|---------------------------|----------------------------------------|
| سد گتوند و کوثر           | تغییر کیفیت آب رودخانه                 |
| سد شورک و مچی (فریم صحرا) | عدم تأمین حجم مخزن                     |
| سد کرخه و پانزده خرداد    | عدم تأمین حجم مناسب مخزن               |
| سد دز                     | عدم تأسیس شبکه آبیاری                  |
| سد آیدوغموش               | کاهش سطح زیر کشت پایین‌دست             |
| سد کارون ۳                | تخریب روستاها و مناطق مسکونی           |
| سد سیاه بیشه و کالپوش     | ایجاد رانش زمین و خرابی جاده‌ها        |
| سد شفارود و گلورد         | نابودی سطح وسیعی از جنگل‌ها            |
| سد کارون ۳                | نابودی سازه‌های تاریخی و میراث معنوی   |
| سد آمند                   | شکستگی سازه سد و ایجاد آسیب‌های مرگبار |

جدول ۲- تقسیم‌بندی چالش‌های سدسازی به همراه نمونه‌های مورد بررسی

| شماره | چالش کلی                 | موارد مورد بررسی         | نمونه                                   |
|-------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|
| ۱     | محیط‌زیستی               | کیفیت آب                 | کارون ۳، کوهرنگ ۳، سد علویان، حنا       |
|       |                          | لایه‌بندی حرارتی         | لتیان، تهم                              |
|       |                          | تبخیر                    | شهید کاظمی، کارده                       |
|       |                          | تغییر اقلیم              | کرخه، کرج، دز، کمال صالح                |
| ۲     | ژئوتکنیک                 | خشکسالی                  | گتوند، نهب                              |
|       |                          | نشت                      | رودبار، شمیل، لیرو                      |
|       |                          | شکست                     | قره آقاج، کارده، پلرود                  |
|       |                          | لرزه‌پذیری               | توزانلو، شفارود                         |
| ۳     | هیدرولیک                 | زهکشی                    | آمند                                    |
|       |                          | هندسه سازه‌های سد        | کوپنا، کارون ۳                          |
|       |                          | هیدرولیک سازه‌های سد     | نمرود، پارسیان                          |
|       |                          | سیلاب                    | گلستان                                  |
| ۴     | منابع آب                 | کاویتاسیون               | سورک، گاوشان                            |
|       |                          | اثر هیدرولیکی احداث سد   | بهمنشیر، مارد                           |
|       |                          | رسوب                     | سفیدرود، شهید عباسپور، دز، ایلام        |
|       |                          | مورفولوژی                | پلرود                                   |
| ۵     | شبکه و تأسیسات           | وضعیت آبخوان             | فجر بهبهان، روداب                       |
|       |                          | بهره‌برداری مخزن         | وشمگیر، گاوشان، گلستان                  |
| ۶     | غیر فنی                  | برق‌آبی                  | طالقانی، شهید عباسپور، مهاباد، گاماسیاب |
|       |                          | تغییر کاربری             | سیستان، ایلام، کرخه                     |
| ۶     | اقتصادی، سیاسی و اجتماعی | اقتصادی، سیاسی و اجتماعی | فینسک، گتوند، سلیمان‌شاه، شاه قاسم      |



سدسازی باعث تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری زمین‌های کشاورزی می‌شود و به افزایش تولید محصولات کشاورزی کمک می‌نماید. سدسازی با ایجاد یک مخزن بزرگ آب، امکان تولید برق از طریق نیروگاه‌های برقی را فراهم می‌کند که در آنها از یک منبع تجدیدپذیر و پایدار برای تأمین برق استفاده می‌گردد. سدها همچنین به منظور پیشگیری از سیلاب‌ها عمل می‌کنند و با کنترل جریان آب، می‌توانند خسارات ناشی از سیلاب را کاهش دهند. گاهی به عنوان مقاصد تفریحی و گردشگری مورد استفاده قرار می‌گیرند، زیرا ایجاد یک دریاچه مصنوعی و مناظر زیبا، جذابیت‌های گردشگری را افزایش می‌دهد. همچنین این سازه‌ها به عنوان یک منبع تأمین آب شرب برای جوامع شهری و روستایی عمل می‌کنند و امکان دسترسی به آب سالم و قابل مصرف را فراهم می‌نمایند. در جدول (۳) جنبه‌های مثبت و منفی سدسازی در ایران ارائه شده است.

جدول ۳- جنبه‌های مثبت و منفی سدسازی در ایران

| جنبه‌های مثبت سدسازی در ایران            | جنبه‌های منفی سدسازی در ایران                                   |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ✓ تأمین آب برای کشاورزی                  | ✓ تغییرات در زیست‌بوم‌های آبی و زیستی                           |
| ✓ تولید برق از طریق نیروگاه‌های هیدرولیک | ✓ تخریب محیط زیست                                               |
| ✓ کنترل و کاهش خسارات سیل                | ✓ از بین رفتن مناطق تاریخی و فرهنگی                             |
| ✓ ایجاد فضایی برای تفریح و گردشگری       | ✓ تخریب زمین‌های کشاورزی، تغییرات اجتماعی و اقتصادی در اطراف سد |
| ✓ تأمین آب شرب برای شهرها و روستاها      |                                                                 |

در کشورهای در حال توسعه، کاهش کیفیت آب رودخانه‌ها و آسیب به زیست‌بوم به دلیل ساخت و سازهای مرتبط با سدها و سازه‌های آبی از مشکلات مهم محیط‌زیستی به شمار می‌آید. در ایران، با توجه به پیشینه هفت دهه‌ای اقدامات مرتبط با احداث سدها و سازه‌های وابسته در سراسر کشور، مسائل و مشکلاتی به وجود آمده است که در این بخش از گزارش نام و مشخصات تعدادی از سدهای پرچالش ایران ارائه شده است.

جدول ۴- نام و مشخصات تعدادی از سدهای پرچالش در ایران

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سد مراش                   | سد مراش در ۱۲۵ کیلومتری زنجان در شهر دندی، و بر روی رودخانه حلب احداث شده است. ریسک‌های برآورد شده برای احداث این سد، در ۱۹ شاخص شناسایی شد که بخشی از آن شامل: انهدام پوشش گیاهی، تغییر کاربری زمین، تخریب زیستگاه، آلودگی آب و تأثیر بر آبزیان می‌باشد (رباطی و همکاران، ۱۳۹۷).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| سد سنگریزه‌ای آزاد        | سد سنگریزه‌ای آزاد در جنوب شرقی شهر مریوان بر روی رودخانه کوماسی احداث شده است. آبدهی متوسط سالانه این رودخانه ۹۱/۱۱ متر مکعب بر ثانیه و بارندگی سالانه حوزه بیش از ۶۰۰ میلی‌متر است. چهار روستا در محدوده سد قرار دارند و فعالیت اقتصادی منطقه شامل باغداری، کشاورزی و دامداری است. ریسک‌های محیط‌زیستی احداث این سد در منطقه زاگرس، شامل آلودگی خاک، تخریب پوشش گیاهی، آلودگی آب، کاهش شدید مواد آلی و بار مغذی رودخانه می‌باشد (ملماسی و الله‌داد، ۱۳۹۶).                                                                                                                                                       |
| سد مخزنی بالارود          | سد مخزنی بالارود در استان خوزستان و شهر اندیمشک بر رودخانه بالارود از سرشاخه‌های رود دز احداث شده است. اهداف اجرای این سد شامل تأمین آب کشاورزی، شرب، کنترل جریان‌های سیلابی رودخانه، تولید انرژی برقی و نیز حفظ محیط‌زیست منطقه بوده است. نتایج بررسی کیفیت آب نشان می‌دهد مقادیر پارامترهای کیفی بالاتر از حد مجاز بوده و بر اساس استانداردهای محیط‌زیستی، از نظر مصرف آب آشامیدنی، کشاورزی و آبی‌پروری در وضعیت نامناسب قرار دارد. از بعد اثرات ساخت‌وساز سد بر نواحی پایین‌دست، افزایش فرسایش و رسوب‌گذاری در پایین‌دست سد اتفاق افتاده است که حیات آبزیان را با مشکل مواجه کرده است (درویشی و همکاران، ۱۳۹۸). |
| سد بزرگ بتنی دو قوسی لیرو | سد بزرگ بتنی دو قوسی لیرو با ارتفاع ۲۴۰ متر و حجم مخزن ۶۷۵ مترمکعب در استان چهارمحال و بختیاری احداث شده است و در زمینه نشت از سازه سد دچار مسأله است. مطالعات شبیه‌سازی میزان نشت آب از درز و شکستگی‌های موجود در تکیه‌گاه‌های سد نشان داد، میزان نشت در مجموع دو تکیه‌گاه برابر با ۱۳۵۴۱۵ مترمکعب در سال می‌باشد که این مقدار برابر با ۰/۰۳ درصد از حجم مفید مخزن سد می‌باشد (امامی میبدی و گهروی باجگیرانی، ۱۴۰۰).                                                                                                                                                                                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>سد رودبار لرستان در جنوب شهرستان الیگودرز، در محدوده رشته کوه زاگرس قرار دارد و بر روی رودخانه رودبار احداث شده است. سرشاخه‌های اصلی این رودخانه، شامل رودخانه‌های کاکلستان، قلیان و وهرگان می‌باشند. متوسط جریان سالانه ورودی به مخزن معادل <math>30/2</math> مترمکعب در ثانیه است. مطالعه سه‌بعدی هیدرودینامیک جریان و رسوب در مخزن این سد نشان داده که بیشترین راندمان تخلیه رسوب مرتبط با سیلاب با دوره بازگشت بیست ساله و برابر با ۱۷ درصد می‌باشد (فاضلی و قمی، ۱۴۰۱).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>سد رودبار</p>            |
| <p>سد مخزنی شهید رجایی در محدوده شهرهای ساری و نکا، بر کیفیت آب نکا رود، نشان می‌دهد، بیشتر پارامترهای کیفی از سال بهره‌برداری (۱۳۶۴) بهبود یافته‌اند و تا سال ۱۳۹۰ به بهترین میزان خود رسیده، اما پس از آن، مقادیر افزایش پیدا کرده است. همچنین شمال شرقی منطقه مورد مطالعه به علت وجود آبخوان شور، وضعیت به لحاظ شرایط کیفی، حاد گزارش شده است. موقعیت این سد بر روی رودخانه دودانگه، یکی از سرشاخه‌های اصلی تجن می‌باشد (خوش‌روش و ولی‌زاده، ۱۳۹۶).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>سد مخزنی شهید رجایی</p>  |
| <p>حوزه سد گلستان از سه زیرحوضه مادرسو، حاجی قوشان و اوغان تشکیل می‌شود. این سد در شرق شهرستان گنبد در سال ۱۳۷۹ احداث شده و در زمینه تأثیر کاربری اراضی بر شرایط سد مورد بررسی قرار گرفته است. بیشترین درصد تغییرات دبی اوج سیلاب در مناطقی دیده شد که به‌طورگسترده از اراضی مرتعی به زراعی تغییر کاربری یافته بودند. همچنین در اثر تخریب جنگل‌ها و مراتع بین سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۵، دبی اوج و حجم سیل حوزه آبخیز سد گلستان تا <math>25/7</math> درصد برای سیل با دوره بازگشت ۱۰ ساله، روند افزایشی داشته است (ثقفیان و همکاران، ۱۳۸۵).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>سد گلستان</p>            |
| <p>سد پانزده خرداد در شمال غرب شهرستان دلیجان و در فاصله ۵ کیلومتری آن قرار دارد. سد از نوع خاکی غیرهمگن با هسته رسی با حداکثر ارتفاع از کف رودخانه <math>54/30</math> متر می‌باشد. ارتفاع از روی پی ۹۶ متر، طول تاج ۳۲۰ متر و عرض آن در تاج ۱۰ متر است. حجم آب مفید آن ۱۶۵ میلیون متر مکعب می‌باشد که به‌وسیله آب‌های جاری خمین تغذیه می‌گردد و با بارندگی‌های فصلی دشت‌های اطراف، شهر دلیجان را نیز تغذیه می‌کند. این سد بخشی از آب مورد نیاز قم را تأمین می‌کند. همچنین مقداری از آب سد به کشاورزان این منطقه اختصاص می‌یابد. سد مزبور در سال ۱۳۷۳ به بهره‌برداری رسیده و پس از گذشت حدود ۲ سال از بهره‌برداری، کیفیت آب مخزن تغییر نموده و شوری آن افزایش یافته، به‌طوری که هدایت الکتریکی آب (EC) آن از مقدار ۱۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در سال ۱۳۷۳ به مقدار ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر رسیده است. از عوامل مؤثر بر افزایش EC مخزن، می‌توان به خشکسالی پیاپی سال‌های اخیر، لایه‌بندی حرارتی و نمک، تبخیر شدید از سطح دریاچه سد، ورود رودخانه‌های شور و دربند شور و واکنش شیمیایی کف مخزن با آب سد اشاره نمود. دیگر تأثیرات محیط‌زیستی احداث این سد، اثرات آن بر آب‌های زیرزمینی دشت‌های پایین‌دست، وضعیت کشاورزی و شرایط اجتماعی اشاره نمود. برای بهبود کیفیت آب سد و کاهش اثرات منفی بر محیط‌زیست، روش‌هایی از قبیل: شست و شوی مخزن، مدیریت بهره‌برداری کیفی، انحراف و یا اصلاح رودخانه‌های شور و دربند شور، ممانعت از برداشت‌های غیرمجاز آب‌های زیرزمینی، انتقال آب از سرشاخه‌های دز به مخزن سد، جلوگیری از نفوذ فاضلاب شهر دلیجان به سد و کنترل کود شیمیایی و سموم دفع آفات نباتی در بالادست سد مطرح می‌باشد (میرزایی و همکاران، ۱۳۸۰).</p> | <p>سد پانزده خرداد</p>    |
| <p>سد کارون ۳، از سدهای بزرگ ایران، بر روی رودخانه کارون در مرز استان خوزستان و چهارمحال و بختیاری و در منطقه بختیاری در ۱۹ کیلومتری شهر دهدز و ۳۶ کیلومتری شهر ایذه احداث شده است. نیروگاه این سد با تولید سالیانه ۴۱۷۲ میلیون کیلووات ساعت انرژی برق آبی بزرگ‌ترین نیروگاه برق‌آبی کشور است. هدف از احداث سد کارون ۳، تأمین بخشی از برق مورد نیاز کشور و نیز کنترل سیلاب‌های مخرب کارون بوده است. بی‌توجهی شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران بر انجام تعهدات قانونی در خصوص ترمیم راه‌های روستایی غرق شده در دریاچه سد کارون ۳ موجب مرگ نفر از روستائیان بخش دهدز شهرستان ایذه شد مطالعات نشان می‌دهند که اجرای سد کارون ۳ بر مؤلفه‌های محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی، آثار منفی برجای گذاشته است (حسینی توسل و همکاران، ۱۳۸۶؛ محمدی و چهارتنگی، ۱۳۹۷).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>سد کارون ۳</p>         |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>سد شورک در ۲۵ کیلومتری جنوب غربی شهر شیروان و ۱۹۰ کیلومتری شمال غربی مشهد بر روی رودخانه‌ای به نام شورک ساخته شده است. این رودخانه یکی از سرشاخه‌های رود اترک است. این سد از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی قائم است که ارتفاع آن از پی ۵۰ متر، از بستر رودخانه ۵/۳۵ متر، طول تاج آن ۲۰۰ متر و عرض آن ۹ متر است. مساحت دریاچه این سد ۲۷ هکتار، حجم خاکریزی ۶۳ هزار و ۲۰۰ مترمکعب و حجم بتن‌ریزی سرریز و کالورت آن ۲۴ هزار مترمکعب است. ساخت این سد طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ انجام شده، ولی بعد از گذشت حدود دو دهه از زمان ساخت، هنوز آبیگری جدی نشده است. این سد با هدف جمع‌سیلاب‌های فصلی در مخزن سد و جلوگیری از بروز خسارت‌های آن به مناطق روستایی ساخته شد، ولی اهداف مورد نظر محقق نشد. عدم مکان‌یابی مناسب یکی از علل بی‌آب ماندن مخزن می‌باشد. بیشترین حجم سیلاب مخزن سد، ۳۰۰ هزار مترمکعب و همیشه حجم ذخیره آب در مخزن سد زیر یک میلیون مترمکعب بوده است؛ در صورتی که این سازه نیم میلیون مترمکعب حجم مرده دارد. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر حجم ورودی سیلاب به مخزن کم بوده، لذا حجم ذخیره آب پشت سد در فصل‌های بهار و تابستان تبخیر شده و بخشی از آن در دل زمین نفوذ می‌کند. بنابراین این سد، قابلیت بهره‌برداری مطابق اهداف برنامه‌ریزی شده ندارد (خبرگزاری شبستان، ۱۳۹۹).</p> | <p>سد شورک</p>                    |
| <p>سد خاکی مجی یا فریم صحرا در ۶۰ کیلومتری جنوب ساری در بخش دودانگه واقع شده است. سد دارای هسته رسی، به طول تاج ۳۹۷ متر و ارتفاع ۵۴ متر با حجم مخزن ۳ میلیون متر مکعب است. این سد برای زیر کشت بردن ۱۲۷۰ هکتار اراضی کشاورزی در سال ۱۳۷۹ با اعتباری به مبلغ سی میلیارد ریال به اتمام رسید. احداث این سد قرار بود موجب بهبودی وضعیت کشاورزی منطقه فریم صحرا شود و اهدافی مانند توسعه اقتصادی و اجتماعی، کنترل سیلاب، گردشگری، پرورش آبزیان و ماهی نیز جزو اهداف ثانویه طرح بود که با اشتباه در تعیین موقعیت سد، به دلیل وجود گسل در بستر سد و آب‌گریزی و عدم رعایت معیارهای توپوگرافی در احداث سد به بهره‌برداری نرسید و آبیگری نشد. با توجه به اینکه برخی روستاهای دودانگه مشکل کمبود آب دارند، بهره‌برداری از این سد می‌توانست موجب کاهش قابل توجه مشکلات کشاورزان این منطقه در تأمین آب گردد (خبرگزاری ایسنا (الف)، ۱۴۰۰).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>سد خاکی مجی یا فریم صحرا</p>  |
| <p>سد مخزنی شیرین‌دره به فاصله ۶۵ کیلومتری شمال غربی بجنورد قرار دارد و در سال ۱۳۸۴ با هدف کنترل سیلاب و تأمین آب کشاورزی، آب شرب شهرستان بجنورد و مصارف صنعت به بهره‌برداری رسید. ورود رسوبات و وجود منابع آلاینده در بالادست ورودی سد شیرین‌دره از مهم‌ترین تهدیدات می‌باشد. نتایج مطالعات شبیه‌سازی روندیابی رسوب نشان می‌دهد در ۱۰۰ سال آینده، ۷۳/۲ میلیون متر مکعب رسوب در مخزن انباشته می‌شود که برابر ۸۰ درصد از حجم اولیه مخزن خواهد بود (کلانتری و همکاران، ۱۴۰۱).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>سد مخزنی شیرین‌دره</p>       |
| <p>سد گتوند علیا به عنوان بلندترین سد خاکی ایران، با هدف تأمین آب شرب و کشاورزی و تولید انرژی بر روی رودخانه کارون ساخته شد. عملیات اجرایی ساخت این سد از سال ۱۳۷۶ آغاز شده و آمادگی برای بهره‌برداری از آن، ۱۴ سال به طول انجامید. در دو نقطه از مخزن سد، رخنمون سطحی نمک وجود دارد. ضمن اینکه رودخانه شور دشت بزرگ با شوری ۲۰۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر از سازند گچساران در حفاصل سد مسجد سلیمان و بند تنظیمی گتوند عبور می‌کند. با توجه به گسترش سازند گچساران در منطقه، کاهش میزان دبی را می‌توان مهم‌ترین عامل و چالش تأثیرگذار بر کیفیت آب کارون در سد گتوند محسوب نمود. مطالعات نشان می‌دهد در طول فرآیند ساخت سد، بعد از ۱۳۷۶، مقدار PH و EC در محل سد افزایش یافته است. این کاهش کیفیت را می‌توان به حضور و گسترش سازند گچساران و کاهش ۵۱ درصدی دبی در اثر رویداد خشکسالی در ۱۳۸۶ ارتباط داد (ناظری تهرودی و شهیدی، ۱۳۹۶).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>سد گتوند علیا</p>            |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>سد کرخه، سدی خاکی است که با هسته رسی بر روی رودخانه کرخه احداث شده است و در بخش الوار گرمسیری شهرستان اندیمشک استان خوزستان قرار دارد. این سد با ۳/۰۳۰ متر طول تاج و ۷/۳ میلیارد متر مکعب حجم مخزن، بزرگترین سد ایران از نظر حجم مخزن و حجم بدنه سد است. عملیات اجرایی ساخت این سد در سال ۱۳۷۰ آغاز و در سال ۱۳۸۰ به پایان رسید. متوسط تولید انرژی سالیانه نیروگاه سد کرخه ۹۳۴ میلیون کیلووات ساعت است. اهداف پروژه شامل تأمین و تنظیم آب جهت آبیاری ۳۲۰ هزار هکتار از اراضی پایین‌دست، دشت‌های پای پل (اوان، ارایض، دوسالقی و باغه) و همچنین دشت‌های حمیدیه و قدس واقع در شمال غربی و غرب استان خوزستان، دشت آزادگان، دشت عباس، فکه و عین‌خوش واقع در جنوب غربی استان ایلام و تولید انرژی برقابی به میزان ۹۳۴ گیگاوات ساعت در سال می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده، در اثر ساخت این سد، در زمینه تغییرات اراضی، اراضی جنگلی ۲۲ درصد، زمین‌های بایر ۲۰ درصد و درختچه‌زار ۲۰ درصد کاهش داشته‌اند. در خرداد ۱۴۰۰ میزان حجم مفید مخزن به ۱/۱ میلیارد متر مکعب یعنی کاهش ۷۰ درصدی رسید که تأمین آب شرب بخشی از شهرستان شوش و شهرستان‌های حمیدیه، دشت آزادگان و هویزه با مشکل مواجه شد و برای کشت محصولات کشاورزی در این حوزه محدودیت ایجاد کرد (سعدیان و شفیعی‌زاده مقدم، ۱۴۰۰؛ خبرگزاری ایسنا (ب)، ۱۴۰۰).</p> | <p>سد کرخه</p>                 |
| <p>سد وشمگیر در حدود ۴۷ کیلومتری شمال شرقی شهر آق‌قلا و حدود ۲ کیلومتری شمال شرقی روستای یلمه سالیان بر روی گرگانرود احداث شده است. ارتفاع سد و طول تاج سد به ترتیب ۲۴ و ۴۳۴ متر است. ساخت این سد در سال ۱۳۴۷ آغاز و در سال ۱۳۴۹ افتتاح شد. عمر مفید سد ۳۴ سال در نظر گرفته شده بود که حجم آب مخزن سد در مرداد ۱۴۰۲ به صفر رسید. بر این اساس با اعتباری بالغ بر ۴۳۶ میلیارد تومان طرح علاج‌بخشی این سد شامل بهبود و مرمت شبکه آبیاری و زهکشی سد وشمگیر، ترفیع و تثبیت مخازن سد وشمگیر، نوسازی و مرمت ایستگاه‌های پمپاژ، احداث ایستگاه پمپاژ و خط انتقال آب جدید، نوسازی و علاج بخشی کامل سیستم تخلیه‌کننده تحتانی و احداث مخازن شماره چهار سد وشمگیر درحال انجام است. مطالعات نشان می‌دهد حذف این سد می‌تواند در طولانی‌مدت سبب بهبود کیفیت آب رودخانه گردد (غفاری و همکاران، ۱۴۰۱).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>سد وشمگیر</p>              |
| <p>سد بارزو (سد شیروان) بزرگترین سد بتنی دو قوسی خراسان شمالی با حجم مخزن ۹۰ میلیون مترمکعب به سبب کاهش نزولات جوی و خشکسالی در آستانه خشک شدن قرار گرفته است. آب شرب شهرستان شیروان، به عنوان دومین شهرستان پرجمعیت خراسان شمالی، از طریق این سد تأمین می‌شود. کاهش بارندگی‌ها و خشکسالی‌ها باعث شده تا حجم ذخیره آب این سد به پایین‌ترین میزان خود (حداکثر یک میلیون مترمکعب) برسد که این حجم نیز قابل تحویل و استفاده نیست. این سد در ۴۰ کیلومتری شمال شهر شیروان بر روی رودخانه قلجق - یکی از سرشاخه‌های رود اترک - به منظور مهار آب و کنترل سیلاب‌ها، تأمین سالانه ۱۰ میلیون متر مکعب آب شرب شهر شیروان، ۳۰ میلیون و ۶۰۰ هزار متر مکعب آب مورد نیاز صنعت، ۳۰ میلیون متر مکعب تأمین آب مورد نیاز زمین‌های پایین‌دست و ۸۰۰ هزار متر مکعب آب مورد نیاز محیط‌زیستی ساخته شده است (خبرگزاری ایرنا، ۱۴۰۲).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p>سد بارزو (سد شیروان)</p>  |
| <p>سد چم‌شیر در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر دوگنبدان (گچساران)، مرکز شهرستان گچساران استان کهگیلویه و بویراحمد است که بر روی رودخانه زهره، قبل از پیوستن رودخانه خیرآباد به این رود، در مجاورت محلی به نام تنگه چم‌شیر نزدیک به مرز استان بوشهر احداث شده است. سد چم‌شیر پنجمین سد بزرگ کشور ایران و بزرگ‌ترین سد بتنی و غلتکی در خاورمیانه می‌باشد. این سد مشکلات محیط‌زیستی زیادی به دنبال دارد. بر اساس مطالعات انجام شده، در اثر احداث این سد، کیفیت رودخانه زهره در پایین‌دست، تحت تأثیر نواحی آلودگی قرار گرفته و فقط برای گیاهان مقاوم به شوری قابل استفاده می‌باشد (محمدی بهزاد و همکاران، ۱۳۹۵).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>سد چم‌شیر</p>             |



در این بخش مطالب منتشر شده در رسانه‌ها و همچنین مصاحبه‌های موجود برخی متخصصان در سایت‌های علمی بررسی شده است.

- ۱- مهندس علیرضا دائمی؛ سرپرست معاونت آب و آبفای وزارت نیرو
- ۲- دکتر مهدی زارع؛ عضو هیات علمی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
- ۳- مهندس داود رحمانیان؛ کارشناس ارشد منابع آب
- ۴- مهدی قائمی؛ شهردار پیشین فهرج
- ۵- دکتر مهدی فصیحی هرندي؛ پژوهشگر دیپلماسی آب
- ۶- دکتر علیرضا مساح؛ دانشیار پردیس ابوریحان دانشگاه تهران
- ۷- دکتر فرهاد یزدان‌دوست؛ دانشیار دانشگاه خواجه نصیر
- ۸- دکتر سیدمحمدعلی بنی‌هاشمی؛ دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۹- دکتر مهدی قمشی؛ ریاست دانشکده علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۱۰- دکتر ضرغام محمدی؛ استاد گروه زمین‌شناسی دانشگاه شیراز
- ۱۱- مهندس محمد درویش؛ مدیر کمیته محیط‌زیست در کرسی سلامت اجتماعی یونسکو
- ۱۲- دکتر محمد فاضلی؛ مدیر پیشین مرکز امور اجتماعی منابع آب و انرژی وزارت نیرو
- ۱۳- مهندس عیسی بزرگ‌زاده؛ سخنگوی صنعت آب ایران

آب و سدسازی در بالادست آن مانند طرح انتقال آب «چشمه شش پیر» به شیراز و ساخت سد بزرگ پارسیان بر روی رود فهلیان که از سرشاخه‌های اصلی رود زهره است، در حال اجرا می‌باشند (خبرگزاری خبر آنلاین، ۱۴۰۱).

علاوه بر نظرات کارشناسان مرکز پژوهش‌های مجلس، رئیس سازمان حفاظت محیط‌زیست، دکتر حسین آخانی استاد زیست‌شناسی دانشگاه تهران، محمد درویش پژوهشگر و کنشگر محیط‌زیست و پژوهشگران دیگر، بازدیدهای میدانی از سد چم‌شیر، نشان‌دهنده وجود لایه‌های نمکی وسیع در این منطقه است. به تازگی اعضای «انجمن دیده‌بان جلگه سبز خوزستان» بازدید از این منطقه انجام دادند و در گزارش خود اشاره نمودند که در نزدیکی محل اتصال رودخانه‌ی بابامنیر (یکی از سرشاخه‌های رود زهره) با رودخانه‌ی اصلی زهره، یک توده‌ی نمکی بزرگ و انحلال‌پذیر مشاهده می‌شود. این منطقه پوشیده از لایه‌های رسوبی و کانی‌های تبخیری با قابلیت انحلال بالا است و همچنین دارای پوشش گیاهی منحصر به فرد و بکر می‌باشد. وجود تکه‌های سفال در نقاط مختلف نیز نشان‌دهنده وجود میراث فرهنگی قابل توجهی در این منطقه است که نیاز به بررسی دارد (خبرگزاری خبر آنلاین، ۱۴۰۱).

#### << مشکلات کلی سدسازی در ایران

یکی از موارد مشکلات محیط‌زیستی به سد شیرین‌دره خراسان شمالی مربوط می‌شود. سد شیرین‌دره در ۶۵ کیلومتری شمال غربی شهر بجنورد در محدوده شهرستان مانه و سملقان قرار دارد و یکی از بزرگ‌ترین سدهای خراسان شمالی است که بر روی رودخانه شیرین‌دره، یکی از سرشاخه‌های رود اترک ساخته شده است. این سد با هدف کنترل و مهار سیلاب‌ها، تأمین آب آشامیدنی مورد نیاز برای شهر بجنورد و روستاهای مسیر خط انتقال، آب مورد نیاز صنایع و تأمین آب لازم برای بهبود و توسعه کشاورزی زمین‌های

#### << مشکلات سد چم‌شیر بر اساس نظرات کارشناسان در رسانه‌ها

بسیاری از کارشناسان، فعالان حوزه آب و محیط‌زیست به‌طور خاص درباره سد چم‌شیر معتقدند که آبگیری این سد باعث افزایش تماس آب با لایه‌های نمکی منطقه می‌شود و تجمع شورابه در کف مخزن موجب شورتر شدن آب رودخانه زهره و آسیب به کشاورزی و زیست‌بوم منطقه خواهد شد. همچنین، بازدیدهای میدانی نشان‌دهنده وجود لایه‌های نمکی وسیع در این منطقه است. در نزدیکی محل اتصال رودخانه بابامنیر (از سرشاخه‌های رود زهره) با رودخانه اصلی زهره، یک توده نمکی بزرگ و انحلال‌پذیر مشاهده می‌شود. این منطقه پوشیده از لایه‌های رسوبی و کانی‌های تبخیری با قابلیت انحلال بالا است و از نظر طبیعی بسیار بکر و دارای پوشش گیاهی منحصر به فردی می‌باشد. همچنین، تکه‌های سفال در گوشه و کنار این منطقه نشان می‌دهد که منطقه دارای میراث فرهنگی با ارزشی است که نیاز به کاوش دارد. شورتر شدن آب رودخانه زهره، که به‌طور طبیعی مقداری شور است، به دلیل افزایش تماس آب با لایه‌های نمکی، آسیب به زمین‌های کشاورزی و اختلال در سیستم بهره‌برداری از آب در طول رودخانه، نابودی جنگل‌ها و بیشه‌زارهای ارزشمند کنار رودخانه در این منطقه خشک، رانش زمین به علت انحلال‌پذیری بالای لایه‌های زمین و لرزه‌خیزی در منطقه، و غرق شدن مناطق تاریخی که به‌طور کامل شناسایی نشده‌اند، از جمله مشکلاتی هستند که با آن مواجه هستیم. علاوه بر این، چم‌شیر احتمالاً نخستین سدی خواهد بود که دریاچه‌اش بر روی بستری با ده تا دوازده چاه نفت قرار می‌گیرد، که این موضوع نه تنها خطر آلودگی آب به نفت را به همراه دارد، بلکه حدود یازده میلیارد دلار درآمد بالقوه نفتی را نیز از بین خواهد برد. همچنین، این سد به احتمال زیاد نمی‌تواند حجم بالای آب پیش‌بینی شده (دو میلیارد و سیصد میلیون مترمکعب) را ذخیره کند، زیرا میزان بارندگی‌ها کاهش یافته، تبخیرها افزایش یافته و همچنین پروژه‌های انتقال



پایین دست ساخته شده است. عملیات ساخت این سد، در مهرماه سال ۱۳۷۵ آغاز شد و در فروردین ماه سال ۱۳۸۴ به بهره‌برداری رسید. ظرفیت این سد در سال ۱۳۹۲ حدود ۶۵ میلیون مترمکعب برآورد شده بود که بدلیل رسوب گل و لای به حدود ۵۶ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد سالانه بیش از یک میلیون مترمکعب رسوب در مخزن این سد انباشت شده که عمر آن را کاهش داده است. همچنین روند ورود رسوب و گل و لای در زمان‌های وقوع سیلاب به مراتب بیشتر از مقدار معمول است، به طوری که در برخی از سیلاب‌ها تا ۵۰ درصد حجم ورودی به سد، رسوبات حوزه بالادست است. به‌ویژه وقوع سیل‌های بهار سال ۱۳۹۸ سبب شد تا فرسایش خاک در حوزه بالادست سد شیرین دره افزایش یابد. همچنین ورود سیلاب به سد شیرین دره، سبب کدورت آن شده و در این شرایط به ناچار آب این منبع از مدار مصرف شهروندان مرکز خراسان شمالی قطع می‌شود. به طوری که نیاز شهروندان مرکز استان به آب آشامیدنی روزانه ۸۰۰ لیتر بر ثانیه است که نیمی از این میزان از سد شیرین دره در شهرستان مانه و سملقان تأمین می‌شود و با وجود سیلاب، آب شرب به میزان ۴۰۰ لیتر بر ثانیه کاهش یافته است. خراسان شمالی که در شمال شرق کشور قرار دارد و یک استان مرزی محسوب می‌شود، شاید نسبت به استان‌های خشک کشور دارای ظرفیت‌های آبی بیشتری باشد و از این رو می‌بایست میزان دسترسی مردم به آب بیشتر باشد، اما امروزه نزدیک به ۳۰۰ روستای استان دارای تنش آبی هستند (خبرگزاری ایرنا (ب)، ۱۴۰۱).

طبق گفته مسئولان استانی بیش از ۹۸۰ میلیارد تومان بودجه برای تأمین و پایدارسازی آب شرب در روستاهای خراسان شمالی نیاز است. روستاییانی که بالغ بر ۴۵ درصد استان خراسان شمالی را تشکیل می‌دهند و حق دارند تا از نعمت آب شرب پس از ۴۰ سال از پیروی انقلاب اسلامی ایران بهره‌مند باشند. هرچند ممکن است گاهی در نقطه‌ای به دلیل صعب‌العبوری و یا دوری از منبع آب سالم، آبرسانی به یک روستا سخت و دشوار باشد، اما اگر روستایی در کنار سدی قرار داشته باشد که بناسبت آب شرب یک شهر را تأمین کند و آب نداشته باشد، بیشتر شبیه بی‌تدبیری خواهد بود. سد شیرین دره که با فاصله حدود ۵۰ کیلومتر از بجنورد قرار دارد، اکنون بخشی از آب شرب این شهر را تأمین می‌کند. اما نکته جالب آنجاست که سه روستای یالانچی، بربرقلعه و شیرین دره در شهرستان مانه و سملقان که در مجاورت این سد قرار دارند از نعمت آب بی‌بهره بوده و پیوسته با قطعی آب مواجه هستند (خبرگزاری مهر، ۱۳۹۹).

سرپرست معاونت آب و آبفای وزارت نیرو اعلام کرد که در حال حاضر ۱۱۰ پروژه سدسازی در کشور وجود دارد و بسیاری از این پروژه‌ها به دلایل مختلف، از جمله احتمال ایجاد تنش آبی، متوقف شده‌اند. مهندس علیرضا دائمی در گفتگو با مهر گفت که در حال حاضر ۱۹۰ سد بزرگ در مدار بهره‌برداری قرار دارد و همچنین بیش از ۱۱۰ سد دیگر در حال ساخت است. سرپرست معاونت آب و آبفای وزارت نیرو افزود که تعداد سدهایی که در کشور وجود دارند و معمولاً توسط وزارت جهاد کشاورزی یا وزارت نیرو ساخته

شده‌اند، اما به دلیل کوچک بودن، بهره‌برداری از آنها توسط مردم انجام می‌شود، حدود ۸۶۰ سد است. مهندس دائمی با اعلام اینکه تعداد بسیار زیادی طرح مطالعاتی سدسازی نیز در دست مطالعه است، بیان داشت: البته این طرح‌ها باید از دو فیلتر عبور کنند. مورد اول وجاهت فنی و اقتصادی طرح‌ها است و بحث دوم مدیریت بهم پیوسته و اساساً تخصیص آب برای سدها می‌باشد. در این بخش نیز تعداد بیشتری از پروژه‌ها متوقف می‌شوند. به طور مثال، هم‌اکنون در حوضه سفیدرود و قزل اوزن تعداد سدهایی که مطالعه می‌شد ۱۵۰ سد بود و از این تعداد سد به دلیل تنش آبی که در حوضه ایجاد می‌کرد و سدهای پایین دستی را از بهره‌برداری و استفاده می‌انداخت، تعداد انگشت شماری پذیرفته شدند. وی با تأکید بر اینکه مابقی پروژه‌ها دستور توقف گرفتند، گفت: در حوضه‌های دیگر نیز این گونه است، به عنوان نمونه در حوضه کرخه تعدادی از مطالعات سدسازی را متوقف کردیم. همچنین در حوضه دریاچه ارومیه و نقاط دیگری که این تنش آبی دیده می‌شود، مطالعات را متوقف کردیم. سرپرست معاونت آب و آبفای وزارت نیرو اظهار داشت: مقامات استانی، محلی و یا صنایع در مواردی اصرار به احداث اینگونه سدها دارند، ولی به دلیل اثرات منفی که این سدها می‌توانند در طبیعت داشته باشند و تأثیراتی که بر دیگر منابع آبی مانند سدهای پایین دستی و منابع زیرزمینی می‌گذارند، ما این مطالعات سدسازی را متوقف می‌کنیم. به گفته مهندس دائمی، زمانی یک سد مجوز ساخت می‌گیرد که از مرحله وجاهت فنی و اقتصادی، تخصیص آب و تأثیرات محیط‌زیستی عبور کند و به اصطلاح مورد تأیید قرار گیرد (خبرگزاری مهر، ۱۳۹۱).

دکتر مهدی زارع عضو هیات علمی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله بیان می‌کند در سال‌های اخیر چالش‌های مختلفی درباره سدهای ساخته شده مطرح شده است. سدسازی در ایران توسط ایرانیان هم به دلیل اهمیت مسأله آب در ایران و هم به سبب لزوم تسلط ایرانیان بر فناوری‌های جدید، موجب افتخار و مباهات بوده و هست. این توانایی البته در سال‌های اخیر به کسب رتبه‌هایی انجامیده که ابعاد آن اکنون قابل بررسی است. پیش از انقلاب اسلامی ۱۹ سد در کشور ساخته شده بود که این رقم پس از انقلاب اسلامی و در سال ۱۳۹۷ به ۶۴۷ سد افزایش یافت. انرژی برق آبی تولیدی پیش از انقلاب اسلامی سالانه حدود دو هزار و ۵۰۰ مگاوات بود که در فروردین ۱۳۹۹ به ۳۲۶ گیگاوات رسید. از این میزان حدود ۲۰۰ گیگاوات ساعت از نیروگاه‌های سوخت فسیلی و حدود ۱۲۰ گیگاوات ساعت از نیروگاه‌های برق آبی سدها تولید شده است. در کشور قبل از انقلاب ۶۰۰ هزار هکتار شبکه آبرسانی اجرا شده بود که پس از انقلاب اسلامی به دومیلیون و ۴۰۰ هزار هکتار رسیده است. در ایران، پس از سال ۱۳۵۸، تعداد پروژه‌های سدسازی بزرگ افزایش یافت، به گونه‌ای که ایران در سال ۱۳۹۱ رتبه سومین سدساز جهان را به دست آورد. البته ساخت سدهایی مانند گتوند و به تازگی سد چم‌شیر در جنوب غرب ایران و مشکلات محیط‌زیستی مختلف، ادامه سدسازی را با پرسش مواجه کرده است. هزینه‌های

مختلف سدسازی به دلیل تفاوت در توزیع هزینه‌ها و منافع و در ارزیابی‌های انجام‌شده توسط بازیگران مختلف، باعث ایجاد تعارض بر سر ساخت سدها شده است. توسعه پایدار حاوی سه نوع تعارض است که از منافع عمومی محیطی، اقتصادی و اجتماعی ناشی می‌شود: تضاد مالکیت (منافع اقتصادی در مقابل عدالت اجتماعی)، تضاد منابع (اقتصادی در مقابل منافع محیط‌زیستی) و تضادهای توسعه (منافع محیط‌زیستی در مقابل عدالت اجتماعی). توسعه پایدار به دنبال دستیابی به تعادل بین منافع اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی است. منافع اغلب رقیب مواجه با اعمال قدرت توسط بازیگرانی است که هزینه‌ها و منافع را متفاوت تجربه می‌کنند. دولت متمرکز در ایران از اوایل سده بیستم تا امروز به راحتی نشانه منبع اعمال حاکمیت متمرکز و جهت‌گیری اصلی برای شکل و نوع توسعه بوده است. رقابت بین توسعه پایدار با محوریت عدالت، برابری اجتماعی و حفظ محیط‌زیست، با توسعه مبتنی بر رشد اقتصادی و صنعتی بدون لحاظ نمودن جنبه‌های اجتماعی و محیط‌زیستی، چالش امروز ماست. اعمال قدرت در میان بازیگران با موقعیت‌های متفاوت منجر به نتایجی می‌شود که منافع گروه‌های قدرتمندتر را ترجیح می‌دهد و تضمین می‌کند.

دکتر مهدی زارع بیان نمود که پیامدهای منفی سدها منجر به محرومیت و از دست دادن رفاه مردم محلی شده و اغلب بدون پرداخت غرامت و مشارکت کافی آنها انجام می‌شود. برای مثال، در کشور چین میلیون‌ها نفر به دلیل پروژه‌های سدسازی آواره و فقیر شده‌اند، بدون اینکه تلاش جدی برای حمایت از آنها انجام شود. مردم محلی در فرایند تصمیم‌گیری دخالت نداشتند، زیرا هزینه‌های اجتماعی-اقتصادی سدها از خارج تحمیل شد. حدود ۴۰ درصد از کشاورزان آسیب‌دیده زمین‌های حاصلخیز را بدون هیچ‌گونه بازپرداخت یا جایگزینی زمین، از دست دادند.

سایر کشاورزان نیز زمین‌های فقیرانه‌ای دریافت کردند. بسیاری از مردم شغل خود را از دست دادند و کسانی که به شهرها مهاجرت کردند، اغلب شغلی پیدا نمی‌کردند. استرس‌های روانی و بیماری‌های ناشی از تغییرات بوم‌شناختی به تهدیدهای جدی برای سلامت عمومی تبدیل شد. این اثرها نشان می‌دهد که چگونه سدها جوامع آسیب‌دیده را در معرض مجموعه جدیدی از آسیب‌پذیری‌ها قرار می‌دهند. با بررسی پروژه‌های سدسازی در مالزی، محققان هزینه‌های اجتماعی-اقتصادی و فرهنگی مختلف را برای مردم محلی برجسته می‌کنند؛ ازهم‌پاشیدگی اجتماعی، فقر و سلب مالکیت زمین و آب، تخریب محیط‌زیست و مخاطرات طبیعی، پیامدهای منفی سدسازی در مالزی بوده‌اند. محرومیت و ناتوانی جوامع محلی یا مستقیم ناشی از اثرات پروژه‌های سدسازی است، مانند از دست دادن منابع آب، و یا به‌طور غیرمستقیم در

چشم‌انداز معیشت و کاهش کیفیت آب مخزن، خود را نشان داده است. در سال ۱۳۹۱، یکی از مشاوران وزیر نیرو با افتخار به رتبه سوم جهانی ایران در تعداد سدهای ساخته‌شده اشاره کرد. در آن سال ایران ۳۱۶ سد داشت و این تعداد به‌زودی به هزار و ۳۳۰ سد خواهد رسید. این اشتیاق به سدسازی، چالش‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و حتی بحران‌های بسیار برای جامعه ایران ایجاد کرده است. در ایران، سدها یکی از عوامل مهم اصلی تخریب محیط‌زیست، بوم‌سامانه‌های آبی و تبخیر حدود پنج میلیارد مترمکعب آب تجدیدپذیر هستند. بسیاری از دریاچه‌ها از جمله دریاچه ارومیه، سومین دریاچه بزرگ آب شور جهان، به دلیل همین سدسازی بی‌رویه روی سرچشمه‌های این دریاچه‌ها در حال خشک‌شدن هستند. برای جایگزینی فعالیت‌های سدسازی، بهترین مسیر از توسعه و گسترش فناوری انرژی‌های پایدار و پاک است. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌ویژه انرژی خورشیدی و بادی که برق را بدون ایجاد انتشار دی‌اکسیدکربن تأمین می‌کند، مسیر آینده پایدار را مشخص می‌کند. استفاده از منابع جدید برای برق بستگی به هزینه و کارایی فناوری دارد که به‌طور مداوم در حال بهبود است. استفاده از برق نیروگاه‌های خورشیدی و بادی به ظرفیت تولید پشتیبان نیاز دارد؛ چراکه ماهیت متناوب خورشید و باد، ذخیره‌سازی و تولید پشتیبان را ضروری می‌کند. حمایت از انرژی‌های تجدیدپذیر با اعطای اولویت و یارانه‌دادن به آنها برای جایگزینی در محدوده زمانی حدود دو دهه، ریل‌گذاری سالم و سازگار با محیط‌زیست برای آینده فراهم می‌کند. مهندسان مشاور و پیمانکاران سدسازی اگر از هم‌اکنون برای چنین ریل‌گذاری جدیدی سرمایه‌گذاری کنند و دولت نیز زمینه‌سازی کند، توسعه پایدار در آینده در دسترس‌تر خواهد شد (روزنامه شرق، ۱۴۰۰).

مهندس داود رحمانیان کارشناس ارشد منابع آب بیان می‌کند که صنعت آب و برق کشور اینک با وضع دشوار و ناخوشایندی روبه‌روست، کسانی که با احداث واحدهای نیشکر در آلودگی آب کارون سهمی اساسی دارند، پشت سر گتوند سنگر گرفته و آن را به چالش می‌کشند. آمار و اطلاعات گواه آن است که سد گتوند نه‌تنها کمترین تأثیری در نامطلوب کردن آب رودخانه کارون نداشته بلکه، با اعمال مدیریت مخزن، مقدار شوری آب پس از احداث این سد و در ایستگاه اندازه‌گیری سد انحرافی گتوند که بیش از ۵۰ سال سابقه آماری دارد، کمتر از زمان احداث سد شده است. زمانی هیاوهی نابودی جنگل هیرکانی را در دریاچه سد شفارود بزرگ‌نمایی می‌کنند، موقعی چشمه بل را که نجات آن شاهکار مهندسی کشور است را در سد داریان بهانه می‌نمایند، و اینجا و آنجا از اعتراض مردم منطقه میناب در هرمزگان نسبت به سد استقلال، اعتراض یزدی‌ها به مردم شرق اصفهان، مردم زرین‌گل در علی‌آباد کتول، مردم شاهرود با سمنان، مردم الیگودرز با مردم قم، بختیاری‌ها با اصفهانی، و اعتراض به ساخت سد تالوار در زنجان سخن به میان می‌آورند. اینان حتی به خود زحمت نداده‌اند تا متون تاریخی مناسبات ارضی، کشاورزی و آبیاری کشور را مطالعه کنند،

دکتر مهدی زارع  
بیان نمود که پیامدهای  
منفی سدها منجر به  
محرومیت و از دست دادن  
رفاه مردم محلی شده و  
اغلب بدون پرداخت غرامت  
و مشارکت کافی آنها انجام  
می‌شود.

و دریابند که از دیر باز بر سر آب برادر برادر را کشته است، قوم‌ها و طایفه‌ها به هم تاخته‌اند، جنگ‌ها در مقیاس کوچک و متوسط بر سر آب، انجام شده است، که چالش‌های کنونی نه بحث تازه‌ای است، و نه پیامدهای نامطلوبی دارد، که تازه به دوران رسیده‌های محیط‌زیست آنها را عمده می‌کنند تا به جای پالایش رودخانه کارون، کاهش آلودگی هوای شهرها، مشکل ریزگردها، تخریب جنگل‌ها، عدم ورود پساب خام کشاورزی به محیط‌زیست انسانی، ساماندهی استفاده‌کننده‌های سوخت‌های فسیلی، به سدها و صنعت سدسازی که یکی از پاک‌ترین انرژی‌های جهان و کشور هستند، به راحتی بتازند و توهین کنند. در این هیاهوی ساختگی چنین به نظر می‌رسد که این مافیای نو ظهور را باید در جایی دیگر و خارج از حوزه صنعت آب و برق جستجو و رصد نمود. بر اساس آخرین یافته‌های محیط‌زیستی، از هر مگاوات ساعت انرژی برق نیروگاه‌های حرارتی، ۸۷۱ کیلو گرم گاز کربنیک تولید می‌شود، که کاهش هر ۳۹ کیلوگرم گاز کربنیک برابر کاشت یک درخت و کاهش هر ۵۱۲۳ کیلوگرم گاز کربنیک برابر توقف یک خودرو است، و به ازای هر لیتر بنزین مصرفی در خودرو در صورتی که هم خودرو و هم سوخت آن برابر استاندارد جهانی باشد، ۲/۴ کیلوگرم گاز کربنیک تولید می‌شود. نیروگاه سد کارون سه به تنهایی سالانه ۴۲۰۰۰۰۰ مگا وات ساعت برق تولید می‌کند، که معادل کاهش ۳۶۵۸۲۰۰ کیلوگرم گاز کربنیک و معادل کاشت ۹۳۸۰۰۰۰ اصله درخت و برابر توقف ۷۱۲۸۰۰ خودرو در سال می‌باشد. آیا بهتر نیست دوستداران محیط‌زیست که به دنبال مافیای خود ساخته سدسازی هستند، کمی بیاندیشند و برای به وجود آوردن زیست‌بومی سالم و قابل تحمل برای شهروندان کشور، مدارک و مستندات را بخوانند و با عدد و رقم، پا به میدان بگذارند. امروزه همه علاقه دارند که کلی‌گویی کنند چون کلی گفتن نیاز به فکر کردن و اندیشیدن ندارد. فکر و اندیشه مجال پرواز به تخیل و اوهام را نمی‌دهد، واقعیت را می‌بیند و برای چاره‌جویی از معضل محیط‌زیستی ایجاد شده، فرافکنی نکرده و منشا و مبدا آلودگی‌ها را می‌جوید و در رفع آن می‌کوشد. صنعت سد سازی پایدار و برجا می‌ماند، تا به تلطیف آب و هوای کشور یاری رساند، و نگذارد آب این مناسب‌ترین بخش اقتصادی کشور، هدر رفته و از دسترس خارج شود (خبرگزاری تسنیم، ۱۳۹۴).

مهدی قائمی شهردار پیشین فهرج از منظر چالش محیط‌زیستی سدسازی بیان می‌کند تا چند سال پیش حیات بزرگترین زیستگاه جانوری شرق کرمان به آب رودخانه فهرج بسته بود و تمام موجودات زنده این منطقه از گیاهان گرفته تا جانوران و پرندگان زندگی خود را با این آب وفق می‌دادند و کم یا زیاد، در تابستان و زمستان، و در خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها می‌دانستند باید چه کار کنند، تا اینکه طرح احداث سد نساء بر روی رودخانه فهرج مطرح، و با ساخت آن، مسیر آب مسدود و زندگی هزاران موجود زنده به خطر افتاد. کمی آب پشت سد نساء جمع شد، اما حیات یکی از بزرگترین زیستگاه‌های جانوری در معرض نابودی قرار گرفت و صدای وقوع یک فاجعه

بزرگ محیط‌زیستی در شرق استان کرمان به گوش رسید. «امروز نسل پرندگان و جانوران وحشی که در رودخانه فصلی فهرج زندگی می‌کنند در حال انقراض است و خشکسالی‌های اخیر به همراه سدی که در بالادست ساخته شده است، بزرگ‌ترین زیستگاه جانوری شهرستان فهرج را در معرض نابودی قرار داده است». مهدی قائمی شهردار سابق فهرج با اشاره به اینکه رودخانه فصلی فهرج جزء حوضه آبخیز رودخانه نساء است، می‌گوید: «باید حقایق رودخانه فهرج داده شود تا بزرگترین زیستگاه جانوری شرق استان کرمان از خطر نابودی نجات پیدا کند. ما نشستیم و شاهد نابودی زیست‌بوم منطقه هستیم و جالب اینکه چاره کار را هم خوب می‌دانیم. آن هم اینکه تنها راه احیای این زیستگاه جانوری تأمین آب از سد نساء است». رودخانه فهرج به طول ۴۵ کیلومتر از حوضه آبخیز نساء، میج و بندر، سرچشمه گرفته و پس از طی مسیر از منطقه روداب شهرستان نماشیر وارد شهرستان فهرج می‌شود و رودخانه فصلی فهرج در ورودی این شهر قرار داد. حال باید از مسئولان و تصمیم‌گیرندگان استان کرمان و به‌خصوص مدیران آب منطقه‌ای پرسید که با کدام منطق و استدلال چنین زیستگاهی را به ورطه نابودی کشانده‌اند؟ فهرج مشتی است نشانه خورار. می‌توان بسیاری از سدهایی که در سال‌های اخیر ساخته شده‌اند و آب را برای تبخیر شدن در پشت خود تلنبار کرده‌اند را مورد بررسی قرار داد و سری به پایین‌دست آنها زد تا شاهد از بین رفتن بسیاری از گونه‌های گیاهی، تلف شدن حیوانات و پرندگانی باشیم که در یک همزیستی مسالمت‌آمیز با انسان‌ها در حال گذران روزگار بودند. سدها، تالاب‌هایی را خشکاندند که زیستگاه انواع پرندگان مهاجر بود و انسان‌های زیادی در کنارشان به کشاورزی و دامداری مشغول بودند. سدها شاید کمی آب جمع کردند، اما مقدار زیادی حیات را از بین بردند. برای مثال زدن، مورد زیاد است. وقتی قرار شد سد گنوند هم ساخته شود بازی‌های زیادی شروع شد و حافظان محیط‌زیست فریاد برآوردند که مبدا این کار بدون کارشناسی شروع شود. ابتدا محیط‌زیست خوزستان در مورد شوری آب کارون به دلیل وجود گنبدهای نمکی در دریاچه سد گنوند، اخطار داد و تأکید کرد مسئولان این سد باید اقدامات خود را اعم از نقشه‌های مهار، نحوه مهار و تمهیداتی که برای جلوگیری از شوری آب انجام می‌شود به این اداره کل ارائه دهند و تا زمان حل شدن این مشکلات، آبگیری این سد انجام نشود و نباید شرایطی مانند تبعات سد کارون ۳ به وجود آید! با کمی مکث متوجه می‌شویم که جمله اخیر باز هم ما را کمی عقب‌تر می‌برد؛ یعنی ساخت سد کارون ۳ و مشکلاتی که خودش حکایتی بود. بعد از مسئولان محیط‌زیست خوزستان، مسئولان استانداری هم به میدان آمدند و در ادامه، صدای دیگر تصمیم‌گیرندگان نیز درآمد و همه یک چیز می‌گفتند: «مبدا ساخت یک سد، محیط‌زیست را از بین ببرد و زندگی موجودات زنده را به خطر بیندازد». به هر حال سدها یکی پس از دیگری ساخته می‌شوند و یکی پس از دیگری مشکلات، معضلات و صدماتشان به محیط‌زیست نمایان می‌شود. باز هم با نگرانی و از قول صاحب‌نظران باید گفت که امروز صنعت سدسازی فقط در کشورهای در حال توسعه رونق دارد و این در

شرایطی است که بازار آن در کشورهای توسعه یافته، برچیده شده است. اثرات منفی سدها بر روی محیط زیست فیزیکی، بیولوژیکی و اجتماعی آن قدر زیاد است که بسیاری از کشورهای توسعه یافته از دهه ۱۳۷۰ به بعد دیگر نه تنها سدی نمی سازند، بلکه به جمع کردن و برچیدن سدهای خود به قیمت های بسیار گزاف پرداخته اند تا اثرات منفی آنها بر محیط زیستشان را بزدایند و رودخانه ها و سفره های آب زیرزمینی خود را احیاء کنند (خبرگزاری جوان آنلاین، ۱۳۹۳).

دکتر مهدی فصیحی هرنندی پژوهشگر دیپلماسی آب بیان می کند که بررسی موردی سدها امری صحیح نیست و باید مسأله بزرگتری که سال های سال در مورد آن بحث شده را مورد بررسی قرار داد. اما در مورد چم شیر مناقشه ای دارد که عده ای می گویند چاه های نفت در آن منطقه وجود دارد و شرایط مشابهی با گتوند دارد. به نظر می رسد با توجه به عدم وجود اطلاعات و اینکه متأسفانه در پروژه های مهندسی سد به قدری عدم شفافیت وجود دارد که هر پروژه ای که اجرا می شود، بدون آن که اطلاعاتی به دست کارشناسان برسد، آنها مجبور می شوند گمانه زنی هایی مبتنی بر شواهد علمی داشته باشند. این پژوهشگر آب ادامه داد: سدسازی همانند انتقال آب دریای خزر به سمنان است، مباحث محیط زیستی آن مطرح نشد و پس از آن، از این مسأله که آیا انتقال یک متر مکعب آب اقتصادی است یا خیر سخنی به میان نیامد. وی اضافه کرد: در بسیاری از موارد سدسازی، سیاستگذاران بدون توجه به مسائل محیط زیستی از آن عبور می کنند، زیرا می دانند از مباحثی است

در بسیاری از موارد سدسازی، سیاستگذاران بدون توجه به مسائل محیط زیستی از آن عبور می کنند، زیرا می دانند از مباحثی است که همواره محل مناقشه بوده و امکان دور زدن آن وجود دارد؛ زیرا محیط زیست تنها صدایی است که طرفدار ندارد و به جای سیاست گذاری از آن عبور می کنند.

که همواره محل مناقشه بوده و امکان دور زدن آن وجود دارد؛ زیرا محیط زیست تنها صدایی است که طرفدار ندارد و به جای سیاست گذاری از آن عبور می کنند. دکتر فصیحی در رابطه با این موضوع ادامه داد: برای سد چم شیر هم شرایط به همین منوال است و لازم است که کارشناسان امر ابتدا یک بررسی مبنایی انجام دهیم و به این نتیجه برسیم که سد چم شیر جواب چه مسأله ای است؟ از نظر اقتصادی، تأمین آب و کنترل سیلاب، زیرا در سال ۱۳۹۸ بسیاری از سدها که ادعا شده بود برای کنترل سیلاب ساخته شده، منجر به تشدید سیلاب شدند و عدم شفاف سازی این مسأله جای سوال دارد. بر اساس شواهد موجود و اینکه به طور کلی سدسازی و سدهای حوضه آبریز مغل سیکل طبیعی رفتار آب است و سد چم شیر از این قاعده مستثنی نیست. پژوهشگر دیپلماسی آب اضافه کرد: شواهد بسیاری وجود دارد که سدسازی باعث شوری آب شده است؛ به عنوان مثال سد پانزده خرداد در مجاورت دلیجان قرار دارد و اولین سدی بود که با دانش داخلی

ساخته شد، ولی دو سد بر روی یکدیگر ساخته شد تا آب بندی شود. البته احداث این سد منجر شد که آب شاخه ای قم رود را که در بالادست آب تمیزی است در پشت سد آب پانزده خرداد ذخیره شد که در کمتر یک سال شوری آب قم بیشتر از آنچه که بود شد. به دلیل اینکه آب لب شور را پشت سد ذخیره کردیم و شوری آب دو چندان شد و امکان استفاده آب از بین رفت. وی ادامه داد: زمانی که سد ساخته می شود، برای آن اهدافی نیز تعیین می شود؛ تأمین آب شرب، کشاورزی و تولید برق، به هر دلیلی هر یک از این دلایل محقق نمی شود. دکتر فصیحی در خاتمه اضافه نمود: زمانی که در چرخه طبیعی دست برده می شود، طبقات جبران ناپذیری به بار می آورد، به عنوان مثال گتوند یکی از فاجعه بارترین سدهای ایران است که اگر روال های قبلی ادامه پیدا کند، چم شیر تجربه دوباره گتوند است، سوالی که وجود دارد، اصلاً نیروگاه سد گتوند کار می کند یا خیر؟ اصلاً چرا نیروگاه گتوند فعالیت ندارد، آیا به جز شوری آب دلیلی دارد، چرا زمانی که پژوهشگری برای انجام تحقیقات به آن منطقه می رود، تنها از محدوده خاصی امکان نمونه برداری وجود دارد؟ همگی سوالاتی است که باید به آنها پاسخ داده شود. زمانی که از اتفاقات گذشته درس نمی گیریم، کنشگران به این سمت می روند که قطعاً فساد در این عرصه وجود دارد (خبرگزاری مهر، ۱۴۰۱).

دکتر علیرضا مساح، دانشیار پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در پاسخ به اینکه آیا برآورد دقیقی از استاندارد بودن سدهای کشور وجود دارد؟ آیا می توان گفت که مدیریت آنها به درستی انجام شده است یا خیر؟ بیان نمود موضوع استاندارد سدسازی در ایران با موضوع مدیریت، کاملاً متفاوت است. اینکه به لحاظ جایگاه فنی، جانمایی درستی برای سدها صورت گرفته و یا خیر، باید بگویم که عدد و رقمی برای آن برآورد نشده است، اما احساسم این است که شاید کمتر از ۱۰ درصد سدهایی که در کشور ایجاد شده، به لحاظ فنی و جایگاهی، دارای مشکل هستند (خبرگزاری مهر، ۱۳۹۵).

دکتر فرهاد یزدان دوست، دانشیار دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی در پاسخ به این سوال، بیان نمودند ما از نظر مطالعه برای ساخت سد با مشکل مواجه هستیم. برای مثال ما سدی ساختیم که باید در مدت مشخصی پر می شده، اما به دلیل آنکه مطالعات آن دقیق نبوده، سد پر نشده است. از سوی دیگر، مواردی هم وجود دارد که سدی ساخته شده که بنا بوده، حجم زیادی آب را نگه دارد، اما بعد از اندک مدتی پر شده و سرریز کرده است. از این بابت، این استانداردها آن طور که باید رعایت نشده است (خبرگزاری مهر، ۱۳۹۵).

دکتر سیدمحمدعلی بنی هاشمی دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه شهید چمران اهواز در همایش راهکارها و چالش های سد گتوند، پنل دوم با عنوان «راهکارها» که در دانشگاه شهید چمران اهواز برگزار شد، اظهار نمود: در سال ۱۳۶۸ مطالعات مرحله شناخت برای احداث سد گتوند، توسط شرکتهای مشاور و لامایر انجام شد که در این مطالعات به مسائل زمین شناسی بی توجهی شد. در سال

۱۳۷۹ نیز مطالعات مرحله اول مشاورین - کایتک صورت گرفت که در این مطالعات نیز به مسأله وجود سازندهای نمک بی‌توجهی شد. دکتر بنی‌هاشمی افزود: قراردادهای عملیات اجرایی و نیروگاه در سال ۱۳۸۰ منعقد و در سال ۱۳۸۱ مطالعات مرحله دوم توسط شرکت‌های مشاورین و کایتک انجام و در سال ۱۳۸۳ مطالعات مرحله دوم از سوی شرکت‌های مه‌آب قدس و شرکت فرانسوی «کوبه بلیه» و مطالعات توده عنبل با هشدارهای دانشگاه شهید چمران آغاز شد. در سال ۱۳۹۰ سد آبیگری و در سال ۱۳۹۱، واحدهای اول و دوم نیروگاه و در سال ۱۳۹۲ نیروگاه هزار مگاواتی راه‌اندازی شد. این عضو هیأت‌علمی دانشگاه تهران ادامه داد: در سال ۱۹۶۷ شرکت هارزا ساخت ۶ سد را پیشنهاد داد که سه سد در حد فاصل کارون یک و مسجدسلیمان و سه سد در کیلومترهای ۳۷۷، ۴۱۳ و ۴۴۰ قرار داشت. در سال ۱۹۷۵ شرکت موندکو، سه سد پیشنهادی دیگر را ارائه داد؛ سدی که ما امروز ساخته‌ایم، یعنی سد گتوند در کیلومتر ۳۸۲/۵ قرار دارد. بنی‌هاشمی با اشاره به مطالعات علاج‌بخشی سد گتوند، عنوان کرد: گام اول تعیین راهکارها، شناسایی آنها بود که با برگزاری جلسات طوفان فکری با ذینفعان و جلسات کارشناسی انجام شد؛ اهداف راهکارها، تخلیه و کاهش شوری مخزن، تحویل آب با شوری حداقل به رودخانه یا تلفیق و دستیابی به هدف در صورت امکان بود. در دی‌ماه سال ۱۳۹۳، این کار به موسسه آب دانشگاه تهران پیشنهاد داده شد، اما قرارداد آن در اسفندماه همین سال بسته شد و تیرماه سال ۱۳۹۴ پروژه راهکارها را تحویل دادیم؛ این راهکارها به‌عنوان راهکارهای مرحله شناخت به دولت ارائه شد، اما از وقتی آنها را تحویل دادیم، خبر دیگری از ادامه کارها نداریم. وی در خصوص راهکارهای ارائه‌شده در جلسات طوفان فکری، گفت: کنترل شوری از مبدأ، نمک‌زدایی و محبوس کردن نمک، مدیریت مخزن و شست‌وشوی سریع، انتقال و انحراف آب و برچیدن، از راهکارهای ارائه‌شده بودند که در مرحله غربالگری راهکارها (دومین مرحله از گام‌های تعیین راهکارها)، سه راهکار نمک‌زدایی، محبوس کردن نمک و کنترل شوری از مبدأ غربال شدند (خبرگزاری ایسنا، ۱۳۹۶).

دکتر مهدی قمشی رئیس دانشکده علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز با اظهار این مسأله که ۳ عامل در شکل‌گیری شوری آب کارون تا مقطع شهر اهواز نقش دارند، بیان نمود: نخست شوری آب ورودی به استان خوزستان که به صورت میانگین ۵۰۰ میکروموس است، سپس تأثیر سازند نمکی گچساران در مقطع گتوند که در حالت معمولی و بدون سد حدود ۴۰۰ میکروموس بوده است. دکتر قمشی بیان نمود با وجود سد گتوند در سال ۱۳۹۰ میزان اختلاف شوری آب ناشی از مسیر مخزن حدود ۸۰۰ میکروموس بوده و سال ۱۳۹۳ حدود ۹۰۰، سپس در سال‌های بعد، این اختلاف به ۷۰۰ رسید، اما از چند سال پیش تاکنون این مقدار اختلاف شوری مانند قبل از ساخت سد به حدود ۴۰۰ میکروموس کاهش یافته، که بیانگر آن است که EC آب خروجی از مقطع ایستگاه هیدرومتری گتوند بین ۹۰۰ تا یک هزار و ۴۰۰ میکروموس در طول زمان بوده است. قمشی سومین عامل شوری آب کارون را پساب‌های کشاورزی و

صنعتی عنوان نمود و بیان داشت: مقدار شوری آب رودخانه کارون در مقطع شهر اهواز در سال‌های اخیر بین ۲ هزار و ۵۰۰ تا ۲ هزار و ۸۰۰ میکروموس نوسان داشته که این اختلاف یک هزار و ۱۰۰ تا یک هزار و ۹۰۰ میکروموس از گتوند تا اهواز، تماماً مربوط به ورود پساب‌های شور کشاورزی و صنعتی و ورود آب‌های زیرزمینی شور به رودخانه است (خبرگزاری باشگاه خبرنگاران جوان، ۱۴۰۰).

دکتر ضرغام محمدی استاد گروه زمین‌شناسی دانشگاه شیراز، در نشست بررسی تعارض‌های ذی‌نفعان طرح سد چم شیر که در دانشگاه شریف به میزبانی پژوهشکده انرژی، آب و محیط‌زیست برگزار شد، در پاسخ به سؤالی مبنی بر احتمال انحلال نمک در سازند گچساران بر اساس امکان حرکت آب برای فواصل طولانی، افزود: شواهد بسیاری در محل ساخت سد چم شیر وجود دارد که پاسخگوی این سؤال است و از جمله آن می‌توان به اطلاعات بازدیدهای میدانی در گچ حاجی و مخزن سد به همراه داده‌های گمانه‌های اکتشافی اشاره کرد. دکتر محمدی ادامه داد: در بررسی حرکت عمقی آب زیرزمینی در سازند گچساران امکان حرکت عمقی آب در سازند گچساران در سطح نمکی وجود ندارد و از بارندگی انتظار نفوذ و همچنین انحلال نمک نداریم. استاد دانشگاه شیراز خاطرنشان کرد: بر اساس محاسبات بیلان جرمی چشمه‌های شور، اگر فرض کنیم، این چشمه‌ها ناشی از منابع آب بارندگی است، این منابع باید حداقل ۲۵ کیلومتر حرکت داشته باشد که چنین مسأله‌ای در سازند چم شیر امکان‌پذیر نیست. این متخصص آب‌های زیرزمینی گفت: باتوجه به شیب رودخانه و هد هیدرولیکی، به‌هیچ‌وجه امکان ندارد آب سطحی وارد سازند گچساران شود و دبی چشمه‌های شور این مسأله را تأیید می‌کند. دکتر محمدی خاطرنشان کرد: تجمیع شواهد بیانگر آن است، حرکت آب در سازند گچساران و به دنبال آن انحلال نمک در مخزن سد چم شیر اتفاق نمی‌افتد (خبرگزاری ایرنا (الف)، ۱۴۰۱).

مهندس محمد درویش مدیر کمیته محیط زیست در کرسی سلامت اجتماعی یونسکو برای مشکل سد چم شیر و علت مخالفت فعالان محیط زیست با این سد، بیان نمودند که ارزیابی این سد در سال ۱۳۸۸ در دولت آقای احمدی‌نژاد مورد تأیید قرار گرفت. اولین ایرادی این است که در گزارش ارزیابی نوشته شده که این گزارش در شرایطی تهیه شده که ما دسترسی به گزارش هیدرولوژی نداشته‌ایم. در حالی که گزارش هیدرولوژی یک گزارش بسیار مهم است. دومین ایراد این است که گفته شده وزارت نیرو قصد دارد ۹۰ میلیون لیتر آب شرب مورد نیاز ۹۰۰ هزار نفر در طول یک سال را فراهم کند و این ادعای بزرگ می‌تواند در تأیید ارزیابی هرگونه سدی بسیار موثر باشد. در حالی که کارفرمای پروژه اعلام کرده است شوری متوسط رودخانه زهره، بالای ۲۰۰۰ هزار است و این مخزن ۲/۳ میلیارد متر مکعبی که پنجمین سد بزرگ ایران است، عملاً امکان تأمین آب شرب نخواهد داشت. ایراد سوم این است که ادعا شده این سد هیچ آثار تاریخی و فرهنگی را خدشه‌دار نمی‌کند و ارزش‌های باستان‌شناسی آن را صفر در نظر گرفته‌اند، در صورتی که بعداً اداره میراث فرهنگی و گردشگری کهگیلویه اعلام کرد ۱۴۰ سایت



گردشگری و تاریخی باستانی را زیر آب می‌برد و نابود خواهد کرد. همچنین قید شده که هیچ‌گونه گیاهی ارزشمندی به‌جز گیاه خارخاسک در مخزن وجود ندارد، درحالی که از مراجعه حضوری حسین آخانی گیاه‌شناس به این منطقه شاهد کشف گونه‌ای گیاه شده‌اند که در هیچ نقطه‌ای در دنیا رویت نشده‌است. از طرفی حدود ۵۰۰ هکتار جنگل متراکم در نزدیکی رودخانه زهره وجود دارد که به‌طور کامل به زیر آب می‌رود و همچنین بالغ بر ۲۰۰ هکتار جنگل در اطراف این سد وجود دارد که آسیب می‌بینند. در گزارش‌های زمین‌شناسی سد آمده که بین ۶۰ تا ۷۰ درصد مخزن سد در سازند گچساران قرار گرفته است. این سازند معروف، سازندی است که سد گتوند نیز در آن قرار گرفته و به شدت نسبت به جریان‌های انحلالی حساس است. این دو سد در قسمت پایینی سازند گچساران قرار گرفته‌اند که از آنها به‌عنوان فرورفتگی دزفول یاد می‌کنند و بسیار آسیب‌پذیر بوده و شکنندگی بیشتری دارد و با توجه به حجم انباشت بیش از ۲ میلیارد متر مکعب آب در این سد، احتمال وقوع یک فاجعه بزرگ محیط زیستی وجود دارد. همچنین این سد باعث توقف جریان‌های سیلابی در پایین‌دست می‌شود (خبرگزاری معاصر، ۱۴۰۱).

در کاربرد جنگ آب باید محتاط باشیم. این واژه‌ها ناامیدی می‌آفرینند. این سرنوشت محتوم ما نیست. هیچ مسأله‌ای در این کشور حل نمی‌شود، مگر اینکه اشتباهات بزرگ و کوچک گذشته را بپذیریم. اینطور نیست که همه چیزمان درست بوده و بعد ناگهان همه چیز به هم ریخته است. آنهایی که این اشتباهات را مرتکب شده‌اند، باید مسئولیت بپذیرند.

دکتر محمد فاضلی مدیر پیشین مرکز امور اجتماعی منابع آب و انرژی وزارت نیرو در مورد مسائل سدها بیان نمود بحث از آن‌جا آغاز می‌شود که سدها، سازه‌هایی هستند که برای مدیریت منابع آب (ذخیره‌سازی، آبیاری، توسعه کشاورزی، تأمین آب شرب و بهداشت، تولید برق آبی، مقاصد تفریحی و فراغتی)، در انواع مختلف (خاکی، بتنی، لاستیکی و...) و با اندازه‌های مختلف (کوچک و بزرگ)، بر مسیر رودخانه‌ها ساخته می‌شوند، به مسأله‌ای مناقشه‌برانگیز تبدیل شده‌اند. این مناقشه اگرچه در ایران به مدت تقریباً یک‌ونیم دهه است که شدت گرفته و این روزها در اوج خود قرار دارد، اما در جهان و کم و بیش در ایران، مسأله‌ای با سه تا چهار دهه قدمت است. مناقشه بر سر سدها از آن‌جایی می‌شود که سازه‌هایی با پیامدهای گسترده و بالاخص برای سدهای بزرگ (سدهایی که بیش از ۱۵ متر ارتفاع و سه میلیون متر مکعب ظرفیت ذخیره آب دارند) با هزینه ساخت زیاد هستند. موافقان و مخالفان سدها طیفی از پیامدهای مثبت و منفی را برای آنها برمی‌شمارند و هر کدام بر مواضع خود پافشاری می‌کنند. رخدادهای اقلیمی (خشکسالی، ترسالی یا افزایش شدید بارش‌ها به صورت مقطعی)، افزایش یا کاهش منابع اقتصادی دولت‌ها، و بروز پی‌آمدهای محیط‌زیستی (خشک شدن پیکره‌های آبی، ریزگردها، از میان رفتن پوشش گیاهی و بیابان‌زایی) بر مناقشه درباره ساخت

سدها می‌دمند. سدها سازه‌هایی چندمنظوره‌اند و برای ذخیره آب در مخازن، آبیاری و توسعه کشاورزی، تأمین آب شرب، بهداشت و صنعت، کنترل سیلاب، تولید انرژی برق آبی و برخی مقاصد فرعی دیگر استفاده می‌شوند. خشکسالی‌ها و خالی ماندن مخزن سدها منتقدان را برمی‌انگیزد تا هزینه‌های سنگین ساخت سدها و عواقب محیط‌زیستی آنها را هدف انتقادهای قرار دهند. ترسالی‌ها و بالاخص بارش‌های شدید (نظیر آن‌چه در فروردین سال ۱۳۹۸ رخ داد) طرفداران سدها را وامی‌دارد تا بر فواید سدها برای ذخیره آب و ممانعت از سیلاب و بروز خسارات آن تأکید کنند. طرفداران سدها تأکید می‌کنند که توسعه کشاورزی و تولید انرژی برق آبی میلیون‌ها انسان را از خطر گرسنگی نجات داده و رفاه را به ارمغان می‌آورد و در مقابل منتقدان سدها عواقب محیط‌زیستی سدها را که سبب آسیب به پیکره‌های آبی شده، مسیرهای حرکت ماهیان را تخریب می‌کند، به آب‌های زیرزمینی پایین‌دست سدها آسیب می‌زند، و هزینه‌های سنگینی نیز بر اقتصادها تحمیل می‌کنند، هدف قرار داده و در مقابل بر ضرورت به‌کارگیری روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت منابع آب تأکید می‌کنند. این مناقشه دهه‌هاست که ادامه دارد. ما در ایران در وضعیت تغییر اقلیم هستیم و همزمان، ایران وارد دوره خشکسالی شده است. منابع آبی در ایران روز به روز در حال کاهش است و بعضاً در گوشه و کنار از سوی برخی تحلیل‌گران و متخصصان این حوزه مطرح می‌شود که جنگ‌های آینده منطقه و همچنین داخلی، درگیری بر سر آب است. باید در کاربرد جنگ آب و بحران آب خیلی محتاط باشیم. وقتی این واژه‌ها را به کار می‌بریم، یعنی این واقعیت رخ خواهد داد. اینگونه نیست. رخ دادن جنگ و تنش، تابع کیفیت حکمرانی در کشور و منطقه است. اگر کشورها بتوانند مسائل حوزه آب و انرژی خود را به خوبی مدیریت کنند، با کم‌آبی تاریخی منطقه خاورمیانه سازگار شوند، الگوی توسعه خود را بهبود دهند و سازگاری با کم‌آبی رخ دهد و کشورها تصمیم‌های مهمی برای کنترل مصرف آب بگیرند، ارتقای فناوری بدهند، اتکای شان را به کشاورزی غیربهره‌ور کم کنند و از همه مهمتر، کشورهای منطقه بتوانند روابط مسالمت‌آمیز و اقتصادی داشته باشند و آب را در درون کشور و در منطقه، امر فرابخشی بدانند، جنگ آب امری قطعی نخواهد بود. بنابراین در کاربرد جنگ آب باید محتاط باشیم. این واژه‌ها ناامیدی می‌آفرینند. این سرنوشت محتوم ما نیست، ولی اگر وضع موجود را ادامه دهیم، با شما موافق هستم. هیچ مسأله‌ای در این کشور حل نمی‌شود، مگر اینکه اشتباهات بزرگ و کوچک گذشته را بپذیریم. اینطور نیست که همه چیزمان درست بوده و بعد ناگهان همه چیز به هم ریخته است. آنهایی که این اشتباهات را مرتکب شده‌اند، باید مسئولیت بپذیرند. آیا مشکلات واقعی داریم؟ بله. در خوزستان، اصفهان و همه استان‌های کشور به لحاظ آب و انرژی مشکل داریم. این مشکلات غیرقابل حل نیستند، ولی به سادگی هم حل نمی‌شوند. درباره واقعیت مسأله باید به صراحت سخن بگوییم و جزئیات مسأله را روشن کنیم. باید بپذیریم ۴۰ سال مسائل را لاپوشانی کردیم و فکر کردیم مردم ندانند و خودش خوب

می‌شود. رسیدیم به وضع فعلی. وضع فعلی با تصمیمات سخت قابل حل است، ولی قطعاً نمی‌شود پنهانش کرد. مهمترین اشتباهات ۴۰ سال گذشته در حوزه آب و انرژی، اشتباهات مربوط به ۴۰ سال گذشته نیست. از دهه ۱۳۳۰ و ۱۳۴۰ با موتورپمپ‌ها، با سازه‌ها، با تغییر حکمرانی، با تغییر منطق پایداری در آب و انرژی اشتباه کردیم. همه کسانی که درباره مسأله آب کار کرده‌اند می‌گویند ما از دهه ۱۳۳۰ وارد اشتباه در بهره‌برداری از آب و انرژی شده‌ایم. از سال ۱۳۵۷ هم این اشتباهات را تشدید کردیم. می‌توانم بگویم در نظام سیاست‌گذاری بهره‌برداری از آب، اقتصاد سیاسی و منافع آدم‌ها و گروه‌ها درباره وضع فعلی مسئولند. ما در بهره‌برداری رسمی و اقتصاد آب و انرژی اشتباهات جدی کردیم. آب به کالای فاقد ارزش اقتصادی در این کشور تبدیل شده که اشتباه بسیار بزرگی است. همه نواقص ساختاری در مدیریت آب و انرژی قابل بحث است. نمی‌توان گفت ساختار آب و انرژی خوب است، ولی قیمت خراب است، اینطور نیست. آخرین برآوردهای اقتصادی نشان می‌دهد ما در سال ۱۳۹۶، قیمت برق را به ۶۰ درصد قیمت سال ۱۳۵۷ می‌فروشیم. امکان دارد در کشوری که هزینه مسکن، بنزین و خدمات بهداشتی چندصد برابر شده است، قیمت برق ۶۰ درصد قیمت ۴۰ سال پیش باشد؟ قبل از حرف زدن درباره همه چیز، آیا می‌شود پایداری منابع آب و انرژی را رقم زد؟ اشتباه در بهره‌برداری حداکثری از منابع کردیم. تصور کردیم با اعمال نفوذ سیاسی و سپردن کارها به بوروکرات‌ها، با کم‌دانشی خیلی از افراد، می‌توان جلوی اشتباهات را گرفت. بسیاری از پروژه‌های آبی قرن بیستم، با استانداردهای امروز تأیید نمی‌شود. ترکیبی از بی‌دانشی، عدم شفافیت، اقتصاد سیاسی که بر ساختار آب و انرژی اثر داشته، نادیده گرفتن ارزیابی اقتصادی و محیط زیستی پروژه‌ها و انتخاب راه‌های پرهزینه باعث این وضعیت شده است. نمی‌خواهیم روی دستاوردها قلم بکشیم. در سال ۱۳۵۷ که انقلاب شد، ایران ۷۴۰۰ مگاوات انرژی داشته، امروز این تولید به ۱۰ برابر رسیده است. درباره راندمان نیروگاه‌ها بحث است، ولی اگر می‌خواهیم اصلاح کنیم، در درون اتاق‌های دربسته و گفتگو بین بوروکرات‌ها و تکنوکرات‌ها اتفاقی نخواهد افتاد. باید با مردم درباره اشتباهات حاکمیت و شریک بودن مردم در اشتباهات حرف بزنیم تا به نقطه روشنی برسیم. شما مقایسه قیمت‌ها را مطرح می‌کنید ولی قبل از بالابردن قیمت آب برای مصرف‌کنندگان شهری، فکری به حال هدررفت ۹۰ درصدی آب در کشاورزی نمی‌کنید. می‌گویید ۹۰ درصد هدررفت آب در کشاورزی است، نه! ما هدررفت نداریم. سر این اعداد بحث است. قطع و یقین این است که کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده آب است. در همه دنیا این‌طور می‌باشد. این هدررفت چقدر است؟ جا به جای کشور فرق می‌کند. آیا کاهش مصرف در کشاورزی اولویت است؟ بله، ولی تنافر و تناقض با کاهش مصرف آب شرب و صنعت ندارد. اینها سه دنیای متفاوتند. امروز مصرف آب شرب تهران که از همه جا آب به آن منتقل می‌شود، را کاهش دهیم. استان‌هایی به نام کرمان، اصفهان و خراسان رضوی داریم که آب کشاورزی در آن مصرف می‌شود. اگر آب کشاورزی کرمان را ۱۰

درصد کاهش دادیم، به حال آب تهران فرق می‌کند؟ آب مثل برق نیست که بتوان آن را منتقل کرد. آب صرفه‌جویی کرمان حداکثر به پایداری دشت خودش کمک می‌کند. وقتی می‌گوییم در تهران صرفه جویی کنید، معنی‌اش انتقال آب از کرمان به تهران نیست. این فرآیند زمان‌بر و بسیار پرهزینه است. قیمت آب کشاورزی و شرب فرق می‌کند. آب شرب تصفیه می‌شود و کیفیت بالا دارد. آب کشاورزی تصفیه نمی‌شود. آب کشاورزی اهمیت اقتصادی و سیاسی ندارد. درست است در شرق اصفهان کشاورزان ناراضی‌اند، ولی فرض کنید آب شرب شهرها دو روز قطع شود. با بدبینی عمومی چه کنیم؟ به همسایه می‌گوییم آب را هدر نده، می‌گوید آب را مصرف نکنم تا به کویت و عراق صادر کنند؟ این مسأله را چطور می‌توان حل کرد؟ ما در دام اجتماعی افتاده‌ایم. آدم‌ها در اثر بی‌اعتمادی کاری را انجام می‌دهند که در نهایت باعث نابودی همه می‌شود. برای اصلاح دام اجتماعی باید شفاف‌سازی انجام داد، به مردم اطلاع‌رسانی کرد و به گفتگوی جمعی وارد شد. راهکار فوری در شرایط اضطرار آگاهی دادن یک بخش است. مجموعه ای راه‌کار روی میز است. مجموعه‌ای راه‌کار فناورانه مانند کاهنده‌های مصرف آب روی شیرها داریم. برای تغییر باورهای مردم یا باید سطح دانش بشر افزایش یابد یا تجربه‌اش زیاد شود. بی‌سوادی بیداد می‌کند (خبرگزاری دنیای اقتصاد، ۱۳۹۷).

مهندس عیسی بزرگ‌زاده سخنگوی صنعت آب ایران در مورد سدهایی که در خارج از کشور بر روی بالادست رودخانه احداث می‌شوند، و اینکه چه مشکلی می‌توانند در مورد پایاب رودخانه‌ها ایجاد کنند، بیان نمودند پارادوکسی وجود دارد، در واقع در تفکر ماست. پارادوکس الگوی درست و پارادوکس الگوی مخرب. توسعه درست، توسعه‌ای است که منطبق بر مؤلفه‌های سه گانه توسعه یعنی اقتصاد، اجتماع و محیط‌زیست باشد. یعنی هر سه بعد را باید در نظر بگیرد. اگر هر کدام از این سه بعد نباشد، حتماً مخالفت می‌شود. ما باید تلاش کنیم هر کدام از بعدها بر بعد دیگر غلبه نکند. سوال شما به کارهای برخی از کشورهای همسایه اشاره دارد. آن‌چه در برخی از کشورهای همسایه نسبت به کشورهای همسایه دیگر اتفاق می‌افتد، اضافه بر آنچه در ابعاد داخلی هست. مثلاً شما یک سد را به عنوان یک بخش درون سرزمینی در نظر بگیرید که باید با آن به صورت منطقی برخورد کرد. حال ممکن است در کشوری که در جای دیگری قرار دارد، بعد جدید دیگری پیدا کند و تحت عنوان تسلط آبی مطرح شود. بنابراین اهداف جدیدتری را در بر می‌گیرد و باعث می‌شود اگر کشور بالادست، روش درستی را در پیش نگیرد و بخواهد اضافه‌تر از نیازهای واقعی کشورش کارهایی انجام دهد که بتواند با این ابزار، در کشور پایین‌دست برای اهدافی به جز اهداف تمدنی یا حتی ساخت و سازی، در واقع تسلطی ایجاد کند، این چیزی است که باعث می‌شود در کشورهایی که نام برده شد، یک پروژه داشته باشیم که ۵۰ میلیارد متر مکعب حجم مخزن آن است، درحالی که رودخانه بیشتر از ۳۰ میلیارد متر مکعب آب ندارد. یعنی هیچ هدف توسعه‌ای برای پروژه نمی‌توان تعریف کرد (اینوتکس، ۱۴۰۰).



در این بخش، مصاحبه با خبرگان در زمینه سدسازی کشور با رویکرد موضوعی شامل جنبه‌های حکمرانی، محیط‌زیستی، فنی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و گردشگری انجام شده است.

متخصصین منابع آب و سدسازی مورد مصاحبه:

- ۱- مهندس جواد میبیدی؛ مدیرکل سابق دفتر نظام‌های بهره‌برداری و حفاظت آب و آبفا
- ۲- دکتر سعید نوری؛ رئیس هیأت مدیره و مدیر عامل شرکت مهندسی مشاور طوس آب
- ۳- دکتر سعید مرید؛ استاد گروه مهندسی و مدیریت آب دانشگاه تربیت مدرس
- ۴- مهندس انوش نوری اسفندیاری؛ بنیان‌گذار اندیشکده تدبیر آب ایران
- ۵- مهندس مهدی جمشیدی؛ مدیر عامل جمعیت ناجیان آب
- ۶- دکتر کامران داوری؛ رییس پژوهشکده آب و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد

معتقدند که این سدها نه تنها مفید نبوده‌اند، بلکه مضر نیز بوده‌اند. به‌طور کلی حدود ۴۵ میلیارد مترمکعب منابع آب سطحی داریم که در سال‌های اخیر این مقدار کاهش یافته است؛ اما حجم مخازن شامل سدهای در حال ساخت، سدهای ساخته شده و سدهای در حال مطالعه بیش از ۹۰ میلیارد مترمکعب است.

#### << مصاحبه با آقای مهندس جواد میبیدی

مدیر کل سابق دفتر نظام‌های بهره‌برداری و حفاظت آب و آبفا



• چرا با وجود اینکه بیشینه آب مصرفی برای کشاورزی و مصارف دیگر از چاه‌ها و آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود، بودجه‌های کلان برای منابع آب سطحی که سهم کمتری دارند، اختصاص می‌دهیم؟

ساخت سدها، به‌ویژه آنهایی که به دلایل سیاسی ساخته می‌شوند، موجب می‌شود برخی افراد به مجلس بروند، برخی دیگر با طراحی این سدها اعتبار جذب کنند و درآمدزایی داشته باشند و همچنین افرادی با ساخت این سدها درآمد کسب کرده و به پست‌های مدیریتی دست یابند. این مسأله باعث می‌شود که منافع شخصی بر منافع ملی ارجحیت پیدا کند. همه افراد با هم همکاری می‌کنند و هزینه‌هایی برای ساخت سد پرداخت می‌کنند، اما در نهایت می‌بینیم که این سدها آبی ندارند. این سدها نه تنها نمی‌توانند آب تأمین کنند، بلکه تأثیر منفی بر تغذیه دشت‌ها نیز دارند. در واقع، دو ضرر به همراه دارند: اول اینکه اعتبارات کشور را که می‌توانست در پروژه‌های بهتری هزینه شود، می‌گیرند و دوم اینکه می‌توانند باعث افت سطح آب دشت‌ها شوند.

• درباره مخالفت‌هایی که با سدسازی می‌شود، بفرمایید؟

در ابتدا، مواردی مثل تخصیص منابع، محیط‌زیست، توجیه اقتصادی، تملک اراضی، مسائل اجتماعی و بهبود زندگی مردم مطرح است. اگر سدی ساخته شود و همه این موارد در نظر گرفته شوند، کار اصولی و درستی خواهد بود. برای مثال، سدهایی وجود دارد که آب آنها به خارج از کشور می‌ریزند یا به دریا و کویر هدایت می‌شوند. در اینجا توجه به حقابه کویر یا انتقال آب از یک کشور به کشور دیگر نیز اهمیت دارد. اگر این موارد به نفع توسعه کشور استفاده شوند، ساخت سد ضروری خواهد بود. اما اگر شرایط لازم فراهم نباشد، نباید سد ساخته شود. با این حال، یک استثنا وجود دارد. ممکن است در یک منطقه به‌ندرت یک یا دو شرط منفی وجود داشته باشد، اما دولت از نظر امنیتی تصمیم بگیرد که سد ساخته شود. به عنوان مثال، در سیستان و بلوچستان، ممکن است دولت سدی را احداث کند که از نظر اقتصادی توجیهی نداشته باشد، اما به منظور اسکان مردم در آن منطقه، انجام گیرد. مسائل امنیتی و استثنایا باید در نظر گرفته شوند و این یک دید کلی است.

• چه درصدی از سدها به شکل غیرکارشناسی ساخته می‌شوند؟

من اطلاع دقیقی از سدهایی که غیرکارشناسی ساخته شده‌اند ندارم، اما به‌طورکلی از سدهای ساخته شده، حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از آنها در برنامه‌های چهارم، پنجم و ششم اجرا شده‌اند. نهادی که مسئول تخصیص بودجه می‌باشد، سازمان برنامه و بودجه است. در برنامه‌های چهارم، پنجم و ششم، مسئولین قبلی تصمیماتی اتخاذ کردند که نظارت، مطالعه و اجرای مناسب سدها را نادیده گرفتند و بیشتر به مطالعه و اجرای وزارت نیرو اعتماد کردند. به این ترتیب، بودجه اختصاص می‌دهند، اما نظارتی بر آن ندارند. وزارت نیرو تصمیم به ساخت یک سد می‌گیرد و برای این کار

• درباره شرایط فعلی و افزایش مخالفت‌ها با سدسازی در سال‌های اخیر نظرتان را بفرمایید؟

به طور کلی، در کشور ما به دلایل سیاسی بیش از ظرفیت واقعی منابع سطحی، سد ساخته شده است. نمایندگان یا مسئولان محلی گاهی به شرکت‌های آب منطقه‌ای فشار می‌آورند تا در مناطق خاصی سد بسازند. مشاورانی استخدام می‌شدند و با توجه به فشارهای سیاسی سعی می‌کردند ساخت سد را توجیه کنند. در عمل، مشاهده می‌شود سدهایی ساخته می‌شوند که با اهداف اصلی طراحی شده برای آنها، فاصله دارند. این موضوع باعث شده است که اهداف اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی آنها محقق نشود. برخی افراد

باید مجوزهای لازم از محیط زیست را دریافت کند تا مشخص شود که آیا پروژه مشکلی از نظر محیط زیستی دارد یا خیر. همچنین باید توجیهات اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی برای پروژه ارائه شود تا اطمینان حاصل شود که می‌تواند بودجه لازم را تأمین کند. در این میان، برخی نمایندگان مجلس ممکن است تحت تأثیر قرار بگیرند و تأیید کنند که پروژه اجرایی شود. پس از آن، بدون نظارت کافی، بودجه‌ای برای پروژه در نظر گرفته می‌شود. مشکل زمانی شروع می‌شود که پروژه در مراحل اولیه تأمین اعتبار می‌شود و مجلس دیگر نمی‌تواند از آن صرف نظر کند. اگر در میانه پروژه بودجه قطع شود، به این دلیل که بیت‌المال هزینه شده، مجلس مجبور به ادامه پروژه می‌شود. به همین خاطر، اگر هزینه اولیه ساخت سد ۱۰۰ میلیارد تومان باشد، ممکن است در نهایت به هزار میلیارد تومان برسد. در زمان‌های آغازین انقلاب و در دهه‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۰ سعی می‌شد تا ذی‌نفعان پایین دست سد شناسایی شوند و به بانک کشاورزی معرفی شوند تا وام بگیرند. آنها تشکلهایی را ایجاد می‌کردند و وام‌ها را به وزارت نیرو پرداخت می‌کردند و سپس قسط‌های وام را تسویه می‌کردند. عدم توجیه اقتصادی سدها به این دلیل بود که سدهایی ساخته شدند که برای کشاورزان درآمدی ایجاد نمی‌کردند، زیرا این سدها آب نداشتند. در نتیجه، کشاورزان نمی‌توانستند اقساط وام‌های بانکی خود را پرداخت کنند و دولت مجبور شد به جای آنها هزینه‌ها را بپردازد، مثلاً سدی که قرار بود ۳۰ میلیون متر مکعب آب در سال تأمین کند، در عمل هیچ وقت به طور کامل آبگیری نشد. این وضعیت به تدریج باعث شد که این نوع پروژه‌ها حذف شوند. همچنین به دلیل عدم توجیه اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی برای برخی سدها، آبی که به این سدها تخصیص داده شده بود، در واقع وجود نداشت و به همین دلیل کشاورزان نتوانستند درآمد کافی کسب کنند. در نهایت، دولت مجبور شد که به این کشاورزان کمک مالی کند. این مسأله نشان می‌دهد که نظارت کافی بر عملکرد سدها انجام نشده و نتوانسته‌اند شرایط را به گونه‌ای فراهم کنند که در پایین دست از مزایای سدها بهره‌برداری شود.

#### • آیا نظارتی که سازمان برنامه و بودجه باید داشته باشد طبق قانون است یا خیر؟

در فرآیند ساخت سدها، تعداد زیادی بخش‌نامه، آیین‌نامه و دستورالعمل از طرف سازمان برنامه و بودجه و بر اساس قوانین موجود صادر شده است، اما متأسفانه بسیاری از این ضوابط به مرحله اجرا در نیامده‌اند. در این راستا، در حال حاضر در کمیسیون اصل نود مجلس شورای اسلامی، برای اولین بار کارگروهی به موضوع ورود کرده و مطالعه و اجرای سدها را آسیب‌شناسی می‌کند. در این آسیب‌شناسی سعی شده است وظایف قانونی و بالادستی وزارت نیرو، همچنین عملکرد وزارت مذکور مورد نقد و بررسی قرار گیرد.

#### • چرا سدها بدون توجیه اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی ساخته می‌شوند و چه دلایلی باعث ایجاد بحران شده‌اند؟

یکی از مهم‌ترین دلایل وضع موجود، ساختار وزارت نیرو است. تمامی مدیریت، از تصمیم‌گیری تا اجرا و بهره‌برداری، در شرکت مدیریت منابع آب متمرکز شده است. در حالی که طبق ماده ۱۴۰ برنامه پنجم توسعه، ساختار وزارت نیرو باید در سه سطح ملی، حوضه آبریز و استانی طراحی شود. یکی دیگر از دلایل این مشکل، قانونی است که مجلس تصویب کرده و به عدم انطباق ساختار شرکت‌های آب منطقه‌ای با مرزهای حوضه‌های آبریز اصلی و فرعی کشور مربوط می‌شود. در گذشته، شرکت‌های آب منطقه‌ای بر اساس حوضه‌های آبریز شکل گرفته بودند، اما بعداً به صورت استانی مدیریت شدند. به دنبال فشارهای سیاسی، هر استان به دنبال ساخت سد برای خود شد و به این ترتیب رقابت برای سدسازی آغاز شد. وقتی صحبت از مدیریت حوضه آبریز می‌شود، به عنوان مثال، وزارت نیرو باید وظایف حاکمیتی خود را در حوضه‌هایی مانند کشف‌رود انجام دهد و اطلاعاتی درباره مساحت و میزان بارندگی ارائه دهد. اگر در این حوضه یک میلیارد مترمکعب آب تجدیدپذیر داریم و آب قابل برنامه‌ریزی آن حداکثر ۷۵۰ میلیون مترمکعب می‌باشد، در مورد نحوه کاهش برداشت حجم باقیمانده، یعنی ۲۵۰ میلیون مترمکعب، باید در سطح استان تصمیم‌گیری انجام شود و در این روند، نمایندگان کشاورزان، سازمان‌های غیردولتی و محیط زیست حضور داشته باشند. بنابراین برای حل مشکلات آب، لازم است که نمایندگان استانداری، آب منطقه‌ای و دیگر ذی‌نفعان در یک نشست با هم حضور داشته باشند و به‌طور مشترک تصمیم‌گیری کنند. باید بررسی شود که چگونه می‌توان برداشت آب را از ۲۵۰ میلیون مترمکعب کاهش داد و به برداشت ۷۵۰ میلیون مترمکعب رساند، در حالی که در حال حاضر یک میلیارد مترمکعب برداشت می‌شود. همچنین باید مشخص شود که آیا ساخت سد جدید ضروری است یا خیر؟ و اینکه آیا باید برداشت از چاه‌ها ادامه یابد یا بهره‌برداری از آنها را متوقف کنیم؟ در حال حاضر تصمیم‌گیری‌ها عمدتاً توسط آب منطقه‌ای و وزارت نیرو انجام می‌شود و این نهادها به تنهایی مسئولیت دارند، در حالی که باید همه ذی‌نفعان در این فرآیند مشارکت داشته باشند. یکی دیگر از مشکلات، ناکارآمدی اطلاعات و آمار موجود درباره منابع آب است. وزارت نیرو در زمینه تجهیز لوازم اندازه‌گیری سرمایه‌گذاری نکرده است و به همین دلیل، اطلاعات دقیق و به‌روزی در دسترس نیست. این عدم دقت باعث شده که نتوانیم به‌طور سالانه منابع آب را به درستی اندازه‌گیری کنیم و بیلان ما معمولاً ۵ تا ۱۰ سال عقب‌تر از وضعیت واقعی باشد. به همین دلیل، حجم طراحی شده سدهایی که ساخته می‌شوند، معمولاً بر اساس اطلاعات نادرست است. در اینجا منظور از آب، هم آب سطحی و هم آب زیرزمینی است، زیرا این دو به هم وابسته‌اند. وقتی شما سدی را احداث می‌کنید و همزمان اجازه می‌دهید چاه‌های غیرمجاز در بالادست حفر شوند، در مناطق مختلف، سطح آب کاهش می‌یابد و این عمل مانع از ورود آب سطحی ابتدا به رودخانه و سپس به سد می‌شود.



• از دیدگاه جنابعالی به عنوان یکی از متخصصین منابع آب کشور، کارنامه سدسازی در ایران چگونه بوده است؟ «سدسازی: آری یا خیر؟»

این پرسش اساساً دقیق نیست. ساخت سد به ویژه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور ایران که دارای الگوی نامتوازن مکانی و زمانی بارش هستند، با هدف تأمین آب شرب مراکز جمعیتی، مهار سیلاب‌ها و جلوگیری از تخریب‌های ناشی از آنها، اهداف برقابی و کشاورزی کاملاً موجه است. یکی از گزینه‌های متداول تأمین آب در صورت عدم احداث سد و استفاده از آب‌های سطحی، برداشت از منابع آب زیرزمینی است که بعضاً مخاطره فرونشست زمین و آسیب‌های بعدی را در پی دارد. البته بسیاری از سدها هم به دلیل مشکلات اجرایی، اثرات محیط‌زیستی نامطلوب و عدم کارایی در تأمین مناسب نیازها جزء تجربیات ناموفق در این صنعت محسوب می‌شوند که این موضوع مختص کشور ایران نیست. سدهایی در دنیا ساخته شده که پس از سال‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که براساس تغییراتی که اتفاق افتاده، باید برجیده شوند. نکته‌ای که باید به آن توجه شود آن است که بر مبنای تغییرات اقلیمی، پیشرفت دانش مطالعات و طراحی سدسازی، رشد تکنولوژی‌های اجرایی و تغییر در قوانین و ضوابط محیط زیستی، لازم است دستورالعمل‌های مطالعات و تصویب طرح‌های سدسازی بازنگری شود. به عنوان نمونه به هم‌ریختگی‌های اقلیمی باعث شده از اعتبار روندهای قبلی و رویکردهای پیشین در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی کاسته شده و با توجه به اینکه مطالعات مذکور جزو مطالعات پایه طرح‌های مطالعاتی سدسازی هستند، بازنگری در دستورالعمل‌های آنها ضرورت پیدا کرده است.

• چه مجوزهایی برای اجرای یک سد مورد نیاز است؟

در ایران به دلیل حساسیت موضوع، در سطح وزارت نیرو از آغاز مطالعات سدسازی تا شروع اجرای آنها بعضاً زمان بسیار زیادی صرف می‌شود. به طور متعارف مراحل امکان‌سنجی، شناخت توجیهی و تفصیلی برای مطالعات طرح‌های سدسازی طی می‌شود و ورود به هر مرحله، نیازمند اخذ تصویب مطالعات مرحله قبل است. در هر حال مجوزهای مورد نیاز سدسازی شامل مجوز تخصیص آب از شرکت مدیریت منابع آب ایران، مجوز محیط‌زیستی از سازمان حفاظت محیط‌زیست، مجوز سازمان میراث فرهنگی و گردشگری و مجوز سازمان پدافند غیرعامل است.

• آیا سدهایی وجود دارند که نتوانسته‌اند مجوزهای لازم را برای ساخت سد بگیرند، اما اجرا شده‌اند یا در مراحل اجرایی هستند؟

تعدادی از سدهای ما سیاسی هستند که با پیگیری نماینده‌ها از وزیر وقت اجرا شده‌اند، در صورتی که شرایط مناسبی برای اجرا نداشته‌اند؟

همانطور که اشاره شد، سازمان‌های مختلف مثل وزارت نیرو، محیط‌زیست، میراث فرهنگی و پدافند غیرعامل مرجع صادرکننده مجوزها هستند. در وهله اول هر سدی به لحاظ اجتماعی و اقتصادی باید توجیه داشته باشد و بعد مجوزها صادر شود. سپس بخشی از تاییدیه مجوزها در سدها، در مراحل ارزیابی مطالعات انجام می‌شود. گاهی این تصمیم‌ها مبنای سیاسی دارند. مسئولیت مسائل این نوع سدها فارغ از تصمیم‌گیری‌های سیاسی با سازمان تصمیم‌گیرنده است، اما مشاور مطالعات با توجه به مبنای حاکم بر استانداردهای فنی و محیط‌زیستی نباید کاری انجام دهد که مصالح ملی در آن دیده نشده باشد، حتی اگر کارفرما موضوعی غیر از آن را درخواست پیشنهاد دهد. چنانچه اجرای پروژه به زیان مملکت باشد، مشاور طرح بایستی توصیه و تذکرات لازم را به کارفرما ارائه دهد.

• آیا پس از ساخت سد، ارزیابی پس از اجرا توسط شرکت‌های مشاور انجام می‌شود؟

شرکت‌های آب منطقه‌ای برای پایش و کنترل رفتار سدها پس از ساخت، قراردادهایی را با مشاورین ذیصلاح منعقد می‌کنند و مشاورین طرف قرارداد با انجام بازرسی تخصصی از سد و اجزای وابسته و نیز مرور داده‌های ابزار دقیق نصب شده در سدها نسبت به ارائه گزارش‌های مربوطه در چارچوب منتشره توسط شرکت مدیریت منابع آب ایران اقدام می‌کنند. عمدتاً بهره‌برداری از سدها توسط معاونت حفاظت و بهره‌برداری شرکت‌های آب منطقه‌ای صورت می‌گیرد که از نظر این مشاور و در راستای توسعه خصوصی‌سازی و چابک‌سازی سازمان‌های دولتی، پیشنهاد می‌شود بهره‌برداری از تأسیسات آبی به صورت دوره‌ای به مشاورین تخصصی سپرده شود.

• آیا کیفیت و کمیت داده‌ها برای مطالعات دقیق و کاربردی در زمینه عملکرد و مدیریت سدها و تصمیمات برآمده از این مطالعات به منظور بهبود وضعیت و حل مسائل سدها مناسب است؟

یکی از دلایل شاخص این موضوعات نقص یا غلط بودن داده‌های مطالعات پایه هواشناسی و هیدرولوژی است. مبنای انجام مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی، آمار ایستگاه‌های مربوطه است که این آماربرداری اکثراً توسط افراد محلی انجام می‌شود که ممکن است بعضاً آمارسازی یا خطای برداشت از سوی آنها صورت گیرد. نکته دیگر فقدان ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرولوژی یا جدید بودن برخی از آنهاست که هر دو عامل، کمبود اطلاعات را در پی دارد. تجربی بودن روش‌های محاسباتی در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی که برخی برای مناطق خاص توسعه یافته‌اند نیز باعث می‌شود اختلاف بین خروجی روش‌های مذکور، بعضاً قابل



ملاحظه باشد. در سال‌های اخیر وزارت نیرو با تدوین ضوابط خاص تلاش کرده تا وحدت رویه‌ای در طراحی‌ها ایجاد کند که از آن جمله می‌توان به انتشار «ضوابط انتخاب سیلاب طراحی سدهای بزرگ ایران» اشاره داشت. همچنین نداشتن نگرش یکپارچه در توسعه منابع آب هر حوضه آبریز، نقصی است که در گذشته وجود داشته و تأثیرات جدی بر عملکرد بسیاری از سدهای کشور داشته که نتیجه آن عدم تحقق اهداف برنامه‌ریزی شده سدها بوده است. در سال‌های اخیر در ساختار جدید وزارت نیرو توجه ویژه‌ای به این موضوع شده است.

• هم اکنون حجم مخازن سدهای در حال بهره‌برداری، ۵۰ میلیارد مترمکعب است و در عین حال براساس آمار مندرج در نقشه راه آب کشور، منابع آب تجدیدپذیر حدود ۹۵ میلیارد مترمکعب بوده و علاوه بر این، سالانه ۴/۴ میلیارد مترمکعب کسری منابع آب زیرزمینی است. حال با توجه به پیش‌بینی حدود ۱۰۰ میلیون نفری جمعیت کشور در افق ۱۴۲۰ و با فرض ثابت بودن منابع آب تجدیدپذیر کشور و در نتیجه کاهش سرانه آب تجدیدپذیر، چرا برنامه‌ریزی کلان کشور در سدسازی این موضوع را در نظر نمی‌گیرد؟

از اواخر سال ۱۴۰۲ تا اواسط بهار ۱۴۰۳، حدود ۳۰ میلیارد مترمکعب سیلاب در استان سیستان و بلوچستان جاری شده است. همین طور در سیلاب‌های حوضه کشف‌رود در زمان مشابه، حدود ۶۰ میلیون مترمکعب آب از طریق رودخانه از کشور خارج شده است. لذا از مقامات انتظار می‌رود تا در جهت تأمین منابع آب پایدار کاری انجام دهند و سدی ساخته شود. موضوعی که در انتهای سوال شما نیز به درستی به آن اشاره شد. در این شرایط، بین مسئولین و متخصصان این بحث وجود دارد که ساخت یا عدم ساخت سد، کدام تصمیم درستی است؟ میانگین درازمدت سیلاب نباید شاخص تصمیم‌گیری باشد، چون در حجم آب ورودی نوسان بسیار زیادی وجود دارد. بنابراین بهتر است از نقاط حدی برای کنترل استفاده کرد و گرنه با سدهای خالی و هزینه‌های بالا مواجه می‌شویم که سالها ادامه دارد. فشارهای مقامات غیرمتخصص نیز باعث می‌شود در مقاطعی تصمیمات نادرستی گرفته شود.

سیاست‌های جمعیتی بسیار تعیین‌کننده هستند. وقتی جمعیتی در منطقه‌ای اسکان پیدا کرد، به راحتی قابل جابجایی نیست و به تأمین آب نیاز دارد. مثلاً برای تأمین آب شرب شهر مشهد اگر ساخت سد دوستی انجام نمی‌شد، بحران‌های جدی اجتماعی در پی داشت. اگر سد نسازید، ناچار به برداشت از آب زیرزمینی هستید که فرونشست و عواقب بسیار بدی به دنبال دارد. در غیراینصورت باید سراغ طرح‌های انتقال آب بروید که آن هم هزینه‌ها و تبعات زیادی دارد.

• آیا پتانسیل جدید برای سدسازی در کشور وجود دارد؟

علاوه بر طرح‌های مختلف ناتمام در مراحل مطالعات و اجرا در کشور، یکی از مناطق شاخص برای احداث سد، علی‌الخصوص با رویکرد کنترل سیلاب، استان سیستان و بلوچستان است.

• پیش از انقلاب (۱۳۵۳) گزارشی درباره آب‌های زیرزمینی منتشر شد. در این گزارش آمده است توزیع جمعیتی در ایران به دلیل وضعیت اقلیمی باید به این صورت باشد که جمعیت به سمت نواحی پرآب مثل شمال و غرب هدایت شود اما در عمل این اتفاق نیافتاد و صنایع آب بر به شدت در مناطق کم آب مثل کرمان و یزد رشد کرده است و در حال حاضر بحث انتقال آب به این مناطق مطرح است. چرا به طور کلی سیاست‌ها هیچ‌گاه به سمت اصلاح مسیرها نرفته است؟ در صورتی که با مدیریت مناسب مصرف آب، شاید نیاز به انتقال آب وجود نداشته باشد.

عبارت صنایع آب‌بر درست نیست. زیرا حجم آب مصرفی در بخش صنعت ۳/۷ میلیارد مترمکعب در سال است، در صورتی که مصرف بخش کشاورزی ۸۰ میلیارد مترمکعب در سال است. پس به طور کلی، مصرف آب در بخش صنایع نسبت به کشاورزی در حدود ۵ درصد است. در حقیقت مشکل ما فولاد و صنایع نیست که با انتقال به کنار دریا مسأله حل شود، بلکه توسعه ناپایدار کشاورزی مشکل اصلی کشور ماست. براساس گزارش آمایش سرزمین، حداکثر ۶/۵ میلیون هکتار سطح زیرکشت آبی در ایران به صورت اصولی می‌توان داشت، اما در حال حاضر حدود ۹ میلیون هکتار سطح زیرکشت آبی داریم. الگوی کشت ما نیز تغییر پیدا کرده و از غلات که از نظر مصرف آب، کم مصرف‌تر هستند به علوفه و درختان میوه که بسیار آب‌بر هستند، تبدیل شده است. لذا نه تنها به منظور اشتغال آفرینی و کسب رضایت مقطعی مردم، سطح کشت بالا برده شده، الگوی کشت هم به سمت محصولاتی که درآمد بیشتری داشته و در ضمن آب بیشتر مصرف کرده، سوق داده شده است.

از بُعد تاریخی هم اگر ملاحظه شود در طول تاریخ، ایران سرزمین کشاورزی نبوده است. اقتصاد ایران نمی‌تواند کشاورزی محور باشد. در حقیقت مشکل، صنعت و شرب که در مجموع حدود ۱۰ درصد مصرف منابع آبی کشور را تشکیل می‌دهند، نیست. اگر یک مترمکعب آب در شرق کشور، از کشاورزی به صنعت اختصاص داده شود، حدود ۶۵ برابر ثروت و حدود ۴۵ برابر اشتغال بیشتری ایجاد می‌کند. توسعه کشاورزی در نواحی شرق و مرکزی ایران، اشتباه بوده و این مصداق توسعه ناپایدار است. از دید منابع آب لازم است اقتصاد کشور به سمت صنعت و معدن و خدمات سوق داده شود و در عین حال به عنوان اولین اقدام اصولی، ۱۰ درصد مصرف آب کشاورزی کاهش یابد. این کار نیازمند مطالعات آمایش سرزمین جدید است. یک برنامه توسعه و تعادل‌بخشی در نوار شرقی کشور مبتنی بر طرح انتقال آب از دریا با محوریت صنعت در این زمینه می‌تواند بسیار موثر باشد. بدین ترتیب که، ۲ میلیارد مترمکعب آب برای توسعه صنایع در استان‌های شرقی کشور تأمین خواهد شد که ۱ میلیارد مترمکعب از طریق نمک‌زدایی و انتقال آب از دریا و ۳ میلیارد مترمکعب هم از تغییر کشاورزی معیشتی به مدرن از طریق ایجاد بازار آب می‌باشد که از این ۳ میلیارد متر مکعب آب، ۲ میلیارد مترمکعب آن برای تعادل‌بخشی و یک میلیارد مترمکعب آن برای توسعه صنایع مورد استفاده قرار خواهد

گرفت. بخش قابل توجهی از بیلان منفی نواحی شرقی کشور با استفاده از این طرح جبران خواهد شد. باید توجه داشت بایستی برنامه‌ای جامع جهت تعادل بخشی در کل کشور ارائه گردد. با استفاده از مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی و کاهش ۱۰ درصدی آن، می‌توان ضمن کاهش مصرف آب و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی، مسأله اشتغال بخش کشاورزی را با ایجاد بازار آب به سمت صنعت سوق داد. بنابراین کشاورزان معیشتی می‌توانند وارد بازار آب شوند و بخشی از این آب هم به منابع زیرزمینی بر می‌گردد. آبی که از جنوب منتقل می‌شود، از لحاظ ارزش، پنج برابر قیمت آب کشاورزی است. پس انگیزه‌ای برای صنعت ایجاد می‌کند تا از کشاورز، آب خریداری کند و براساس قوانینی که باید تعریف شود، می‌توان صنعت را ملزم کرد تا درصدی قابل توجه از آب مصرفی را به منابع آب زیرزمینی بازگرداند.

همچنین بحث دیگر این است که استفاده از تکنولوژی‌های نوین، تأثیر چشمگیری در کاهش آب مصرفی در بخش کشاورزی ندارد. در آبیاری قطره‌ای برخلاف باورهای عمومی، آب عمدتاً «مصرف (Consumption)» می‌شود، اما در آبیاری سطحی، آب «استفاده (Use)» می‌گردد و به دلیل آنکه بخشی از آب آبیاری به اعماق نفوذ می‌کند، آب‌های زیرزمینی تغذیه می‌شوند. باید در نظر داشت که کاهش مصرف آب کشاورزی با کاهش سطح و تغییر الگوی کشت اتفاق می‌افتد. «مصرف» به هر آبی اطلاق می‌گردد که از چرخه هیدرولوژی خارج گردد و عمدتاً شامل تبخیر یا تبخیر-تعرق می‌باشد. در حالی که «استفاده» هر آب تحویل شده به یک محدوده (یا واحد) کاربری آب (اعم از کشاورزی، صنعتی، خدمات، خانگی، ...) که ممکن است بخشی از آب استفاده شده، طی فرآیندی قابل بازچرخانی/استفاده مجدد باشد.

وزارت نیرو در نقشه راه آب کشور اعلام کرده که می‌خواهند ۳۰ میلیارد مترمکعب از مصرف آب کشاورزی را کاهش دهند تا این

مقدار به سمت تعادل بخشی دشت‌ها هدایت شود. در راستای این موضوع، به اعتقاد من به جای مسأله خودکفایی باید به امنیت غذایی بها داد. به عنوان نمونه، ما باید بتوانیم به عنوان کشوری کم آب، برنج را از کشورهایی مثل اندونزی تأمین کنیم، به جای اینکه در خوزستان و اصفهان برنج کشت کنیم.

پس استراتژی کشور از حالت کشاورزی محور، به خصوص در مرکز و شرق کشور باید روی پتانسیل‌های دیگر از جمله صنعت محور و معدن محور تغییر کند. در نتیجه بر خلاف عقیده‌ای که می‌گوید ما در ایران دچار ورشکستگی آب شدیم، این گونه نیست و در مدیریت منابع آب، تنها باید بازتخصیص و اصلاح انجام گیرد.

**• شما اعتقاد دارید که در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب مشکلاتی داریم که باید اصلاح شود. سد دوستی قرار بوده به مدت ۱۰ سال آب شرب مشهد را تأمین کند و در این مدت، مردم برای کاهش مصرف آب آموزش ببینند و بعد این سد از مدار مصرف شرب خارج شود. چرا این اتفاق اجرایی نشد؟**

براساس بررسی‌های انجام شده گزارشی برای وزارت نیرو تهیه شد که کشور افغانستان تا حدود سال ۲۰۲۳ با توسعه بالادست می‌تواند باعث کاهش شدید آب ورودی به مخزن سد دوستی شود و در صورتی که این توسعه در عمل اتفاق بیفتد، منابع قابل استفاده ما به وضوح محدود می‌شود. یکی از گزینه‌های جایگزین تأمین آب شرب مشهد، انتقال آب از دریای عمان است. در هر حال با توجه به ویژگی‌های خاص شهر مشهد از جمله دومین کلان شهر ایران و جمعیت بالای زائرین، حل جدی چالش آب این شهر یک موضوع حیاتی است. در این راستا در حال حاضر، اتاق فکری برای تأمین آب ۳۰ سال آینده شهر مشهد تشکیل شده تا بر روی راهکارهای تأمین آب و مدیریت منابع فعلی چاره‌اندیشی نمایند.

دارد؟ جوامع متأثر از آن دچار چه فرصت و یا تهدیداتی می‌شوند؟ و ... . تجربیات دهه‌های اخیر نشان می‌دهد که در توسعه سدسازی، عوامل سیاسی آنچنان قدرت داشته که عوامل فنی را تحت الشعاع قرار داده‌اند. برخی کارشناسان بخش آب حتی به وجود سدهای به اصطلاح «تیممی» اشاره می‌کنند. به این معنی که در جاهایی سد ساخته شده که یا آب لازم وجود نداشته یا کیفیت آب مناسب نبوده است. این مشکلات مستقیم و غیرمستقیم متأثر از حکمرانی آب کشور است که بعضاً وجود محرک‌های قوی و اثرگذار بیرونی را نشان می‌دهد. چالش‌های دیگری که شاهد بوده‌ام، تغییر در تخصیص‌های تاریخی آب است، مثلاً دسترسی به آب در مجاورت سد نسبت به مناطق پایین‌دست‌تر تغییر می‌کند. برای مثال، صحبتی با کشاورزان در محدوده دریاچه طشک-بختگان داشتیم. کشاورزانی که در این محدوده زمین داشتند، زمانی جزء متمکین منطقه بودند. اذعان می‌داشتند که سد درودزن سیستم

**<< مصاحبه با آقای دکتر سعید مرید**

استاد گروه مهندسی و مدیریت آب  
دانشگاه تربیت مدرس



**• در مورد چالش‌های سدسازی در کشور بفرمایید؟**

با توجه به اینکه در مطالعات شما، بحث حکمرانی تا حدی محوریت داشته است، لذا تلاش می‌کنم در حد بضاعت از این منظر پاسخگوی سوالات شما باشم. موضوع را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد: یکی تصمیم‌گیری درباره ساخت سد و دیگری بهره‌برداری از آن پس از ساخت است. در تصمیم‌گیری برای ساخت سد، عوامل مختلفی دخالت دارند که مشخص می‌کنند که محل ساخت سد کجا باشد؟ ابعاد آن چگونه باشد؟ آیا توجیه اقتصادی

را به کلی تغییر داد. در گذشته، افرادی از بالادست برای کارگری به پایین دست می آمدند، اما اکنون این روند معکوس شده است. حتی روستاهای پایین دست در حال تخلیه هستند. مطابق مشابهی را نیز برای سد چم شیر گزارش کرده اند که کشاورزان قدیمی در پایین دست، به شدت آسیب دیده اند. تبعات محیط زیستی چه به لحاظ زیستگاه آبریان و چه به لحاظ تأمین حقایق محیط زیستی جزء چالش های بعدی بهره برداری از سدها شده است. تأکید کنم که تخصیص روی کاغذ و تخصیص در عمل بسیار متفاوت می باشد. رساندن آب به پیکره های آبی و عبور آن از مناطقی که همه آب نیاز دارند، مسأله بسیار پیچیده اجتماعی است. سازوکارهایی در این خصوص لازم است که مجدداً ذیل حکمرانی آب قرار می گیرد. بخصوص سرمایه های اجتماعی خاص خود را نیز طلب می کند. از منظر مدیریت سیلاب نیز نباید تأثیر مثبت سیلاب دشت ها را به ویژه از نظر توسعه پوشش های گیاهی، کنترل ریزگردها و گرد و غبار و ... نادیده گرفت. آنچه تاکنون خدمتتان عرض کردم، نباید به معنای نفی مطلق سدسازی قلمداد شود، تأکیدم این است در ارزیابی کارکرد آنها در ادبیات جدید جهانی و متعاقباً ماموریت هیدرولیکی کشورها تغییراتی رخ داده است. لذا، چالش هایی که برای سدسازی برشمرده می شود، متأثر از این تغییر نگاه است.

بدیهی است که پرداختن عمیق به موارد بالا، ذیل حکمرانی آب قرار می گیرد. براین اساس باید به درگیر شدن ذی نفعان اشاره کرد- چه در بخش بالادستی و چه در بخش پایین دستی سد. حکمرانی عمومی کشور ما بسیار متمرکز است و هنوز رویکرد شبکه ای در آن رشد نکرده است؛ بنابراین، بعد از ساخت این سدها با چالش هایی مواجه می شویم. از یک سو، مدیریت سدها تحت تأثیر نهادهای رسمی هستند و از سوی؛ محیط زیست و بهره برداران را بخصوص در پایین دست داریم که صدایشان ضعیف تر است. لذا، وجود یک سازوکار که بتواند به این مجموعه نقش و قدرت بدهد و در مدیریت سدها مشارکت داشته باشد، ضروری است. در مورد سد زاینده رود، مواردی بوده که نمایندگان کشاورزان دعوت می شوند تا از وضعیت سد بازدید کنند و برای مدیریت سد، نظراتشان خواسته می شود. این اتفاق خوبی است، اما این اتفاقات معمولاً در زمان بحران رخ می دهد و ساز و کار رسمی و نظام مند هنوز برای آن تعریف نشده است. برای ایجاد سازوکار پایدار و غیرمحدود به زمان بحران، سوالی که مطرح می شود این است که با توجه به جمعیت بزرگ بهره بردار سد زاینده رود چگونه باید عمل کرد؟ باید به این نکته توجه کرد که جامعه بهره بردار باید نهادهایی داشته باشد که نماینده آنها در گفتگو با دولت باشند. در کشورهای غربی، وقتی دولت ها با جامعه های مختلف مانند کارگران و کشاورزان دیدار می کنند، معمولاً با نمایندگان آنها صحبت می کنند و نهایتاً به توافقاتی دست می یابند. این توافقات به معنای توافق با تمامی کشاورزان است. در این خصوص، سوالی که مطرح است این می باشد که آیا در حال حاضر نهادهایی با این قدرت برای درگیر کردن ذی نفعان در کشور داریم یا خیر؟ و یا چقدر حکمرانی کلان

کشور از وجود چنین نهادهایی حمایت می کند؟ وقتی یک تشکل می تواند نمایندگی جمعیت زیادی را بر عهده بگیرد، قدرت آن فراتر از صرف بهره برداری از آب سدها خواهد بود و قادر است تأثیرات مهمی در تصمیم گیری ها داشته باشد. به عنوان مثال، در رفسنجان، تشکل ها می توانند نمایندگان را جابه جا کنند.

اینجا بحث مشارکت که این روزها هم زیاد تکرار می شود، مطرح می گردد. در کشور، مشارکت ذی نفعان بیشتر در مرحله اجرا بوده است. بدین معنا که تصمیمی اتخاذ می شود و سپس در مرحله پیاده سازی، ذی نفعان دعوت به همکاری می شوند. اما، مشارکت واقعی یعنی درگیری ذی نفعان در مرحله تصمیم گیری. برای این مهم هم ظرفیت سازی می خواهد و سازوکاری که متضمن پذیرش مسئولیت توسط همه ذی نفعان با قدرت و منافع متناسب باشد. مصداق پیچیده این موضوع مجدداً همان زاینده رود است، بهره برداران در بالادست و پایین دست، صنعت و کشاورزی، شهرها و استان های متفاوت درگیر این مسأله هستند. لذا، ملاحظه می شود که توزیع و تخصیص آب در چنین شبکه ای از مسائل، چقدر پیچیده می شود و مجدداً نقش حکمرانی را برجسته می کند. بخصوص توسعه نهادهایی که واقعاً از جامعه بهره بردار و با تکیه بر فرهنگ و سنت های آنها توسعه یابند، تأکید این که نباید نهایتاً دولت- نهاد باشند.

خوشبختانه در مناطقی از کشور مانند دشت نیشابور، اقدامات مثبتی در حال انجام است. هم ظرفیت مناسبی در مدیریت منابع آب دارند و هم از سرمایه اجتماعی مناسبی برخوردار هستند. همانطور که تأکید کردم، انتظار آنها مشارکت در اجرا مانند بستن چاه های غیرمجاز و مشارکت در تصمیمات و دادن مجوزهای جدید بهره برداری می باشد. اما، در عمل علی رغم زمان زیادی که تاکنون برای آن صرف شده، هنوز مشکلات خاص خود را دارد. یکی از دلایل نیز آن است که قوانین و سازوکارهای مدیریت آب کشور و ساختار آن برای گنجاندن چنین نهادهایی در خود، طراحی نشده است، حتی اگر مدیران آن هم بخواهند همکاری کنند، تجربه نشان داده که موقتی خواهد بود. بدیهی است که برای حصول به چنین هدفی باید درک متقابلی در سطوح مختلف مدیریتی کشور به وجود آید.

• سؤال این است که آیا در کشور ما اتحادیه ها یا تعاونی هایی وجود دارند که نمایندگانی داشته باشند تا بتوانند با ارگان های دولتی ارتباط برقرار کنند؟ به نظر می رسد هنوز چنین تشکلهایی نداریم. همچنین، اهمیت دارد که از نظر قانونی، این نهادها حمایت شوند و تشکیل گردند تا صدایشان شنیده شود و جایگاه قانونی داشته باشند. این تقابل می تواند به نفع همه طرف ها عمل کند. نظر شما در این زمینه چیست؟

بله کاملاً درست است، قبلاً هم اشاره کردم که در کشورهایی که دموکراسی از تاریخ و قوام بیشتری برخوردار هست، این نمایندگان تشکل ها هستند که با دولت صحبت می کنند و مسائل خود را حل می کنند. این شرایط فعلاً در کشور ما حاکم نیست و به نظر می رسد که یک خلأ قابل توجهی در این زمینه وجود دارد. این

خلاء هم متأثر از اقتصاد سیاسی کشور است. اینکه به چه میزانی این تشکله‌ها قدرت بگیرند؟ چگونه نمایندگان آنها انتخاب شوند؟ چطور از فضای سیاسی اطراف خود در امان بمانند و استقلال خود را حفظ کنند؟ چگونه در مقابل تصمیمات خود مسئولیت هم داشته باشند؟ و سوالات بسیار دیگری از این قبیل، پیچیدگی ورود به این عرصه را نشان می‌دهد. مدیریت تخصیص و بهره‌برداری از سدها هم تنها یکی از مصادیق آن می‌باشد.

قطعاً از ضعف‌های پیش‌روی آن، ضعف‌های دانشی است. در سطح دنیا موضوع حکمرانی به سرعت دارد وارد بخش‌های مختلف آموزش و پژوهش می‌شود. حکمرانی داده، حکمرانی انرژی، حکمرانی آب، حکمرانی غذا، حکمرانی محیط زیست، حکمرانی تغییر اقلیم و...، عرصه‌هایی می‌باشند که به شدت در حال رشد هستند. لذا، کمتر موضوعی را می‌توانید پیدا کنید که از این منظر مورد توجه قرار نگرفته باشد. خوشبختانه دانشگاه‌های کشور به تدریج به این موضوع وارد شده‌اند و حتی رشته‌های خاص هم برای آنها تصویب شده است.

#### • شما چه پیشنهادهایی دارید که حکمرانی خوب در زمینه سدسازی در ایران شکل بگیرد؟

برخی از خبرگان به واژه «حکمرانی خوب» حساسیت دارند و صرف طرح این عنوان را خام می‌دانند. تأکید این است که برای شکل‌گیری حکمرانی خوب، باید درک و بسترهایی فراهم شود که مثلاً به ضرورت شفافیت برسد. لذا، بیش از آنکه توزیع عادلانه داده و اطلاعات، چالش کار باشد، درک نظام کلان حکمرانی کشورها است و باید به این نقطه برسد که در توزیع داده عدالت رخ دهد. بنابراین، پرداختن به اصولی که مثلاً در سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD- Organization for Economic Co-operation and Development) برای حکمرانی آمده، پیش‌زمینه‌هایی دارد که تا آنها مرتفع نشوند، نگاه سطحی ما و فرم‌های سوری را به همراه خواهد داشت. در این خصوص کتابی هست بنام «توسعه به مثابه توانمندسازی حکومت». این کتاب به شدت هشدار می‌دهد که از الگوبرداری‌ها در توسعه دولت‌ها پرهیز شود. بلکه آنها را توانمند کنیم که بتوانند در مقابل تغییرات محیطی خود را آماده کنند. در این خصوص، چگونگی توانمندسازی حکمرانی کلان کشور و متعاقباً تسری آن به سایر سطوح (مانند حکمرانی آب)، بخشی از این مسیر هست. اینها عملاً داشته‌ها و بسترهای بیرونی را شکل می‌دهند که نهایتاً تقویت حکمرانی مورد نظر شما، یعنی حکمرانی آب را رقم می‌زنند که بخشی از آن توسعه و بهره‌برداری از سدها خواهد بود.

#### • شما چقدر به سدسازی و افزایش تاب‌آوری معتقد هستید؟

همانطور که قبلاً هم گفتم، من نگاه صفر و یکی به توسعه سدسازی ندارم. تأکیدم این است که ارزیابی کارکرد سدها و اصولاً مأموریت هیدرولیکی دولت‌ها بعد از دهه ۱۹۹۰ تغییر کرده است. ما با نوسانات اقلیمی شدیدتری مواجه هستیم، این سازه‌ها می‌توانند

در این شرایط کارکردهای مثبتی داشته باشند. اما، نگرانی‌هایی هم هست. طی دهه‌ها توجه ما به این نوع برنامه‌ریزی معطوف شده و حفاظت از ذخایر آب زیرزمینی به حاشیه رفته است. نکات مثبت سدسازی برجسته شد و تبعات منفی آنها دیده نشد و یا از آن بی‌اطلاع هستیم. بعد از سیلاب‌های ۹۸-۱۳۹۷ که من در هیئت ویژه گزارش ملی آن بودم، مسئولین وقت، مجدداً توجه به سدسازی را برجسته کردند. حتی صحبت سدهای به اصطلاح کری‌آور (Carry Over) شد که احجام آنها طوری باشد که بتوانند آب را به گونه‌ای ذخیره کنند که برای بیش از یکسال قابل برنامه‌ریزی باشد. انتقاد من این بود که شما مجدداً دارید رویکردهای گذشته را با اتفاقات جدید (مانند تغییر اقلیم) توجیه و تکرار می‌کنید. ورود به سازگاری و یا تاب‌آوری برای شرایط محیطی جدید، قبل از آنکه راه‌کارش اقدامات فن‌آورانه باشد، این است که فضای فکری مدیریتی ما، خود را سازگار کند و بعد وارد اقدامات بشود. در تاریخ شفاهی دانشگاه هاروارد، مصاحبه‌ای انجام شد با معاون نیروی دریایی قبل از انقلاب. ایشان صحبت می‌کرد که چرا ما علی‌رغم اینکه آمدم روی صنعتی شدن کار کردیم، ولی نتوانستیم به نتیجه برسیم. نقل می‌کردند که بعد از آنکه رفتیم آمریکا، این پرسش را جویا شدم و نتیجه گرفتم، ما قبل از آنکه فضای فکری صنعتی شدن را در کشور بسازیم، رفتیم و کارخانه و تجهیزات را وارد کردیم. لذا، مجدداً تأکید کنم ورود به بحث سازگاری، بدون توجه به فضای فکری لازم برای آن، جواب نخواهد داد، حتی با وجود اعتبارات کافی و توسعه سدهای متعدد به عنوان یک راه‌کار.

#### • با توجه به اینکه ارزیابی در مطالعه سدها اهمیت زیادی دارد، آیا سیستم ارزیابی یکپارچه برای سدها وجود دارد؟ این سیستمی که اکنون داریم چقدر کارایی دارد؟ آیا می‌توان نقش‌های فعلی را نادیده گرفت؟ آیا بستر لازم برای این کار فراهم شده است؟ در سدها و پایین‌دست، آیا اندازه‌گیری‌ها به خوبی انجام می‌شود؟ همچنین، در مورد آب‌های سطحی نسبت به آب‌های زیرزمینی و چاه‌ها، آیا اندازه‌گیری‌های بهتری انجام می‌شود؟

در سوال شما نکته مشترکی است و آن هم داده و اطلاعات است. برای پاسخ به تک تک بخش‌های سوال شما، تولید و توزیع داده نقش مهمی دارد. به لحاظ دانشی، «سامانه‌های حسابداری» توسعه داده شده است. با آنها، آب قابل برنامه‌ریزی قابل محاسبه و تخصیص‌ها قابل کنترل هستند. در ادامه آن نیز می‌توان «سامانه حسابداری» آب را به انجام رساند که بستری برای ارزیابی تعهدات مدیریت منابع آب است که چگونه به بخش‌های مختلف از جمله محیط زیست آب رسانده، عدالت را در بالادست و پایین‌دست رعایت کرده و یا چگونه تقاضا را کنترل کرده است؟. لذا، اینجا است که «حکمرانی داده» برجسته می‌شود. خوشبختانه در برنامه هفتم «حسابداری آب» صراحت دارد و امیدوارم اقدام مثبتی صورت گیرد. خوشبختانه به لحاظ دانشی کارهای بسیار خوبی در سطح کشور صورت گرفته که قطعاً می‌تواند پشتوانه عملیاتی شدن این بند از برنامه باشد.

• به نظر می‌رسد که حکمرانی آب در کشور ما هنوز در مراحل مقدماتی است. با توجه به تجربیات شما، چه اقداماتی باید انجام دهیم تا به سطح کشورهای دیگر با حکمرانی قوی‌تر برسیم؟ چگونه می‌توان نظرات در زمینه حکمرانی را اعمال کرد و چه گام‌هایی را می‌توان برداشت؟

حتی در بدترین شرایط هم حکمرانی آب وجود دارد. بحث اصلی این است که چگونه می‌توان حکمرانی را آن‌گونه اصلاح و اعمال کنیم که متضمن توسعه پایدار و حفظ منابع آب کشور باشد. در این خصوص چند مرحله وجود دارد که در گام اول و مهمترین آن، عوامل بیرونی باید پشتیبانی کنند. یعنی حکمرانی کلان به این نقطه برسد که امنیت ملی کشور تحت تأثیر بحران آب است، به آن اولویت دهد و هزینه‌های آن را بپذیرد. این‌گونه است که بستر برای مشارکت واقعی شکل می‌گیرد. به عبارتی حکمرانی کلان کشور این تغییرات را می‌پذیرد و از آن حمایت می‌کند.

<<مصاحبه با آقای مهندس انوش نوری

اسفندیاری

از بنیانگذاران اندیشکده تدبیر آب ایران



• در زمینه چالش‌های سدسازی در ایران بفرمایید؟

در زمینه سدسازی، رویکرد اصلی به مدرنیته و نوسازی مربوط می‌شود. با اینکه کشور ما سابقه طولانی در ساخت سازه‌های آبی دارد، باید تفاوتی بین فناوری‌های گذشته و فناوری‌های جدید قائل شویم. فناوری و ماشین‌آلات مدرن از دهه ۱۳۴۰ به ایران وارد شدند. این رویکرد مدرن ادعا داشت که با نوسازی جامعه، می‌توان ظرفیت‌های توسعه‌ای که در کشورهای پیشرفته وجود دارد را به کشورهای در حال توسعه مانند ایران منتقل کرد. توسعه منابع آب نیز به عنوان یکی از معیارهای این اقدام شناخته می‌شود و دیدگاهی شکل گرفت که می‌توان گفت تا حدودی ایدئولوژیک بود و تحت عنوان «مأموریت هیدرولیکی» شناخته می‌شود. یعنی ادعا می‌شد که با توسعه زیرساخت‌های هیدرولیکی می‌توانیم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشورها را افزایش دهیم. این دیدگاه عمدتاً فنی و مهندسی است و جنبه‌های محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی در آن به اندازه کافی مورد توجه قرار نگرفته است. بنابراین، انتظار می‌رفت که با این رویکرد، که آن چنان به دنبال ارزیابی و تحلیل اقدامات نیست، بلکه با نگاهی مطلق و صفر و یکی به توسعه پرداخته می‌شود، نتایج مطلوبی به دست نیاید. در پاسخ به این موضوع، یک واکنش نسبت به توسعه سدسازی شکل گرفت که در دهه ۱۹۷۰ به اوج خود رسید. این واکنش به طور کلی به نفی فناوری‌های سدسازی و توسعه آن در کشورهای در حال توسعه اشاره داشت. در این راستا، در سال ۲۰۰۰، کمیته‌ای حقیقت‌یاب با ربط به نلسون ماندلا تشکیل شد که به کمیسیون جهانی سد معروف است.

توسعه آب‌برکشور باید اصلاح شود. مواردی از این قبیل هستند که خارج از ظرفیت بخش آب است و نهایتاً، منفعل با آنها برخورد می‌کند. در ادامه، بخش آب، وظایف مختلفی را دارد: یکی توسعه دانشی خود می‌باشد، منظوم یادگیری سازمانی است، وگرنه بحمدالله افراد با دانشی را در این بخش شاهد هستیم. باید پارادایم‌های جدیدی در توسعه منابع آب کشور، درون‌زا و با بهره‌گیری از دانش بومی کشور و علم روز، شکل بگیرد. بسترهای اجتماعی را در حد خود تقویت کند. ارزیابی از آسیب‌پذیری‌های گذشته بسیار مهم است. تبعات منفی سدسازی‌ها، علت شکست طرح ملی احیا و تعادل‌بخشی سفره‌های آب زیرزمینی مواردی هستند که قطعاً برای ارتقای حکمرانی آب کشور ضرورت دارند. همانطور که قبلاً گفتم، در این مسیر نیز دانشگاه‌ها کارهای خوبی انجام داده‌اند، که می‌تواند در این تحول کمک‌های موثری را داشته باشند.

این کمیسیون نتایج بررسی‌های خود را بر اساس حدود ۱۵۰ مطالعه موردی منتشر کرد. این بررسی‌ها به طور منطقی و با استفاده از دانش فنی، مهندسی و علوم اجتماعی انجام شد و رویکردی متعادل نسبت به موضوع سدسازی ارائه داد. در نتیجه، دیدگاه‌های بانک جهانی و سایر نهادهای بین‌المللی که تا آن زمان سدسازی را محور توسعه می‌دانستند، به نقد کشیده شد و روش‌های جدیدی برای توسعه این زیرساخت در نظر گرفته شد.

پس از سال ۲۰۰۰، یک دیدگاه انتقادی شکل گرفت که به اصلاح روش‌های کاری پرداخته و سه جنبه اساسی را در نظر گرفت: ارزیابی اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی. اما برای استفاده مؤثر از این ابزارها، نیاز به نظام حکمرانی مناسبی داریم که بتواند این ارزیابی‌ها را به درستی مدیریت کند. در کشور ما دستورالعمل‌ها و راهنماهای خوبی در زمینه سدسازی و شبکه‌ها وجود دارد، به ویژه بعد از انقلاب که نشریات مفیدی منتشر شدند. اما به دلیل نظام حکمرانی نامناسب، نتوانستیم به خوبی از این ظرفیت‌ها بهره‌برداری کنیم. ارزیابی‌های ما به درستی انجام نشده و بنابراین نمی‌توانیم به درستی درباره اقداماتی که تاکنون انجام شده، قضاوت کنیم. پیامدهای این اقدامات نیز سنجیده نشده و این معضلی است که باید در اولویت کار ما قرار بگیرد.

• وقتی سد ساخته می‌شود در بحث حبابه و توسعه پایین‌دست به نظر می‌رسد که در طراحی، برنامه‌ریزی، اجرا و بهره‌برداری سدها زیاد به آن توجهی نمی‌شود، شما نظرتان در این ارتباط چیست؟ با توجه به سابقه‌تان در این زمینه مواردی را مطرح بفرمایید که به توسعه پایین‌دست سد توجه شده است.

در دوره‌ای که سدسازی در ایران آغاز شده بود، به ویژه در دهه ۱۳۴۰ و قبل از آن، سدهای بزرگی مانند سد کرج، سد دز و سد سفیدرود ساخته شدند. این سدها در آن زمان نقش مهمی در تنظیم آب داشتند



و بازدهی بالایی ارائه می‌کردند. اما با گذشت زمان، تأثیر این سدها در تنظیم آب کاهش یافته و کمتر سدی وجود دارد که بتوان آن را به عنوان یک منبع معتبر و مؤثر در این زمینه در نظر گرفت. برای نمونه، سد ساوه در دوران خشکسالی‌ها به مشکل برخورد کرده و در حال حاضر نیاز به انتقال آب از زنگان به این سد احساس می‌شود. از دهه ۱۳۷۰ که تغییرات اقلیمی در ایران آغاز شد، مسائل مربوط به حقابه‌های پایین‌دست به وضوح خود را نشان داد. با توجه به کم‌آبی کشور، باید به این موضوعات توجه کنیم. احداث سد ساوه باعث از بین رفتن حقابه‌ها شده و مطالعات مناسبی در این زمینه انجام نشده است. به همین خاطر، نیاز به یک رویکرد جامع در ارزیابی حقابه‌های موجود احساس می‌شود. حرکت آب در طبیعت گسترده و آب دارای آثار اقتصادی و اجتماعی زیادی است و باید چارچوب ارزیابی‌های خود را بهبود ببخشیم تا این جنبه‌ها را در نظر بگیریم. متأسفانه، در مطالعات آبی که مهندسان مشاور انجام می‌دهند، توجه کافی به حقابه‌ها نمی‌شود و اگر هم دستورالعمل‌های مناسبی وجود داشته باشد، در عمل به خوبی اجرا نمی‌شوند.

• شما تجربه تأسیسات پایین‌دست سدها را دارید و در مورد مسائل مختلفی که در زمینه تأسیسات و بهره‌برداری سدها هست و در رابطه با مسائل اجتماعی، مشارکتی و بهره‌برداری اطلاعات کافی دارید، لطفاً به صورت دوره‌ای یک اشاره‌ای داشته باشید که ما چه مسائلی در این زمینه داشته‌ایم و در دهه‌های اخیر مسائل مربوط به مشکلاتی که در این زمینه داریم را در چه می‌دانید، توضیح بفرمایید؟ احتمالاً منظور شما سنجش و ارزیابی آثار و پیامدهای اجتماعی طرح‌ها و تأثیر مشاکت در بهبود آنها است. در آغاز ماموریت هیدرولیکی، رهبری این موضوع به عهده مشاوران خارجی بود و به نظر می‌رسید که مفید بودن این سازه‌ها به حدی واضح هستند که نیازی به دقت نظر بیشتری نیست. این وضعیت در کشور ما نیز مشابه بود. بنده از سال ۱۳۶۰ که در مهندسين مشاور فعالیت می‌کردم، آثار و بقایای فعالیت‌های پیش از انقلاب را مشاهده می‌کردم. معمولاً طرح‌ها به تصویب می‌رسیدند و سپس پیمانکاران به اجرای آنها می‌پرداختند، اما این سازمان‌های انتفاعی بیشتر به منافع خود توجه داشتند و ظرفیت‌های کنترل‌کننده در ایران نیز به اندازه کافی قوی نبودند. بنابراین، نمی‌توان انتظار داشت که این مسائل به طور جدی مورد توجه قرار گیرند. پس از انقلاب، از سال ۱۳۶۰ طرحی تحت عنوان استانداردها و معیارهای مهندسی آب به وجود آمد که توجه زیادی به ایجاد دستورالعمل‌ها و راهنماهایی در زمینه آب جلب کرد. این اقدام به تقویت ظرفیت حکمرانی آب در ایران کمک کرد و نظم خوبی به این حوزه بخشید. با این حال، در زمینه‌های اجتماعی و اقتصادی پیشرفت چندانی صورت نگرفت و این جنبه‌ها همچنان ضعیف باقی ماندند. در نتیجه، این طرح در حوزه‌های یادشده با ضعف در توجه و پشتیبانی مواجه شد و اکنون فقط به بانک اطلاعاتی غنی از دستورالعمل‌هایی که در دو یا سه دهه گذشته توسط کارشناسان تهیه شده، تبدیل شده است. اگرچه از نظر مهندسی پیشرفته است،

اما به تدریج کاهش کیفیت یافته و تأثیر آن کم‌رنگ شده است. علت این موضوع به تشکیلات وزارت نیرو برمی‌گردد که عمدتاً به تصدی‌گری متمایل است و جنبه‌های تنظیم‌گری و سیاست‌گذاری در آن به شدت ضعیف است. با این حال، انتقادات و تلاش‌هایی برای تهیه دستورالعمل‌هایی در این زمینه صورت گرفت که بخشی از این تلاش‌ها به موضوع محیط‌زیست مربوط می‌شود. این تلاش‌ها شامل مصوبات برای ارزیابی محیط‌زیستی بود که سعی داشت معیارهایی را تعیین کند و این ارزیابی‌ها باید مورد توجه قرار می‌گرفتند تا بتوانند به عنوان یک نهاد کنترل‌کننده در کشور عمل کنند و خود نیز قابل ارزیابی باشند. در دوره دولت دوازدهم، بخشی تحت عنوان امور اجتماعی در وزارت نیرو ایجاد شد. یکی از مهم‌ترین اقدامات در این زمینه، تدوین دستورالعمل‌هایی برای ارزیابی اجتماعی طرح‌ها و پروژه‌های انتقال آب بود. این اقدامات به صورت پروژه‌ای تعریف و دنبال می‌شد، اما به دلیل ضعف در تنظیم‌گری در وزارت نیرو، این دستورالعمل‌ها به صورت محکم و قابل اجرا در نیامدند. همچنین، پیگیری و واریسی مشخصی برای نظارت بر این دستورالعمل‌ها وجود ندارد و مهندسين مشاور نیز به آنها توجه کافی نمی‌کنند. علاوه بر این، اطلاعات ناکافی در شرکت‌های آب منطقه‌ای به عنوان مدیریت آب، نظارت و کنترل را برای مهندسين مشاور دشوار می‌کند. چرا که این افراد معمولاً در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی تخصص ندارند و نمی‌توانند از این دستورالعمل‌ها به طور مؤثر برای نظارت بر کار مهندسين مشاور استفاده کنند. در نتیجه، می‌توان گفت که دانش کاربردی مربوط به موضوع تا حدی فراهم شده و دستورالعمل‌هایی نیز تهیه گردیده است. اکنون در موقعیتی قرار داریم که می‌توانیم به خوبی این موضوع را فعال کنیم، به شرطی که نظام حکمرانی آب آن را در اولویت خود قرار دهد، که تا کنون این کار انجام نشده است. بررسی‌های اجتماعی در این زمینه از دهه ۱۹۹۰ جدی‌تر شده و امیدواریم که با توجه به مطالبات اجتماعی و نظام حکمرانی، این موضوع در اولویت قرار گیرد. به عبارت دیگر، اکنون به دلیل فشارهایی که جوامع محلی و سازمان‌های غیردولتی دارند، این مسأله باید در اولویت قرار بگیرد.

• به نظر می‌رسد که مادر زمینه قوانین، آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌ها کمبودی نداریم و این موارد به اندازه کافی در حوزه‌های اجتماعی، فرهنگی و محیط‌زیستی تهیه و حتی به‌روز شده‌اند. با این حال، در عمل جدیتی برای اجرای دقیق این دستورالعمل‌ها وجود ندارد. این عدم جدیت را چگونه می‌توان تفسیر کرد؟ آیا این نشان‌دهنده عدم توانایی مادر ایجاد یک سیستم نظارتی مناسب است که بتواند کنترل کند یا اینکه بحث مافیایی وجود دارد که مانع از انجام این نظارت‌ها می‌شود و موجب می‌شود مقصرها مشخص نشوند؟ با توجه به تجربیات شما، کدام یک از این زمینه‌ها می‌تواند قوی‌تر باشد؟ در پاسخ به نظر هر دو جنبه یعنی توان نظارتی و فرایندی باید مورد توجه قرار گیرد. این شامل قوانین و ظرفیت‌های کارشناسی است که نیاز به توسعه و رشد دارند. همچنین، آب به عنوان یک عامل سیاسی

نقش مهمی در قدرت دارد، چه در سطح محلی و چه در سطح ملی و منطقه‌ای. بنابراین، بسیار مهم است که مناقشات آبی به درستی و با شفافیت بررسی شوند. در زمینه نظام تخصیص و حقوق آب، باید متخصصان مناسبی داشته باشیم و حضور ذی‌نفعان در این زمینه اهمیت زیادی دارد. در حال حاضر در نقطه صفر قرار نداریم و تجربه‌های موفق در مدیریت حوضه‌های آبریز داریم، به ویژه در خوزستان و زاینده‌رود. هرچند اقداماتی برای تشکیل شورای حوضه آبریز انجام شد، اما متأسفانه به جای پیشرفت، به سمت انحلال رفت و حضور ذی‌نفعان نه تنها تقویت نشد، بلکه ضعیف‌تر نیز شد. وضعیت مشابهی در دریاچه ارومیه مشاهده می‌شود؛ حرکت‌های اولیه خوب بودند، اما نتوانستند تداوم پیدا کنند. یکی از دلایل این مشکل، عدم موازنه قدرت مناسب در کشور است که باعث می‌شود اکثریت نتوانند نظرات خود را به کرسی بنشانند. از دهه ۱۳۹۰، فشار و موازنه قدرت بیشتر شده و در جامعه محلی در مناطق مختلف ایران، به ویژه به دلیل ارتباط آب با معیشت مردم، شاهد تلاش‌های بیشتری برای احقاق حقوق مردم هستیم. مردم به راحتی تسلیم نمی‌شوند و برای دستیابی به حقوق خود، تمام تلاششان را می‌کنند و حاضرند تشکلهای خودجوشی را ایجاد کنند تا در تصمیم‌گیری‌ها مشارکت داشته باشند. اگر دولت بتواند انعطاف بیشتری از خود نشان دهد، روند حل مسائل می‌تواند سریع‌تر پیش برود. با توجه به محدود بودن فرصت‌ها و اینکه بسیاری از مشکلات متوقف شده‌اند، اگر بتوانیم تعادلی ایجاد کنیم که منافع ملی و منطقه‌ای در اولویت قرار بگیرند، اقدامات می‌تواند بسیار مؤثرتر باشد. در حال حاضر، تعارض منافع در وزارت نیرو به علت غلبه تصدی‌گری در ساختار آن و منافع کوتاه مدتی که به پیمانکاران و مشاوران خاصی تعلق دارد، اغلب اوقات به ضرر جامعه تمام می‌شود. حل این مسأله اهمیت زیادی دارد، به‌ویژه در حکمرانی آب که کمتر به آن توجه شده است. همچنین، تغییرات اجتماعی که می‌توانند این حکمرانی را تحت تأثیر قرار دهند، بسیار مهم هستند. در غیر این صورت، حتی اگر بهترین قوانین و سازمان‌های اجرایی را داشته باشیم و از کارشناسان برجسته استفاده کنیم، اما نتوانیم فرایندهای اجتماعی را در نظر بگیریم، به نتیجه مطلوب نخواهیم رسید.

#### • برای جوامع محلی شما چه پیشنهادهایی ارائه می‌فرمایید که بتوان تضمین نمود که منافع جوامع محلی در فرایند ساخت سد در نظر گرفته شود؟

در کشاورزی، وضعیت به شدت آسیب‌دیده است، اما توانمندی‌هایی برای سازماندهی و ایجاد موازنه قدرت در سطح محلی وجود دارد. این گروه‌ها حدود یک دهه یا بیشتر فعال شده‌اند و تا حدودی توانسته‌اند صدای خود را به سطوح مختلف برسانند. آنها بدون تردید با مقامات، از جمله وزیر نیرو، جلساتی برگزار کرده‌اند. مسأله دیگر فقدان حضور مؤثر جامعه مدنی و سازمان‌های غیردولتی (سمن) است که بتوانند مسائل مرتبط با آب و سدسازی را تشخیص دهند و تحلیل کنند. ما در حال حاضر کمیته‌های تخصصی خوبی داریم،

مانند انجمن هیدرولیک، انجمن مهندسی منابع آب و همچنین انجمن‌های علمی در سایر دانشگاه‌ها از جمله در دانشگاه فردوسی مشهد، اما این تشکلهای عمدتاً فنی هستند و بینش‌های اجتماعی در آنها ضعیف است. ارتباط بین تخصص‌های علوم اجتماعی و این کمیته‌ها به خوبی وجود ندارد و اگر هم نظرات اقتصادی مطرح می‌شود، معمولاً نظرات ریشه‌دار و آزمون‌شده‌ای نیستند و در سطح جامعه دیده نمی‌شوند.

تأکید من بیشتر بر روی فرایندهای اجتماعی است تا ساختارها. مسائل باید در عمل و در جامعه جاری شوند و نقاط قوت و ضعف آنها سبب یادگیری اجتماعی گردد. در این فرایندها، پیش از اینکه به ساختار و سازمان بپردازیم، باید به مالکان و خرده‌مالکان توجه کنیم. همچنین، انجمن‌های علمی تخصصی و صدای قشرهایی که در حال حاضر صدایی ندارند، نیز اهمیت زیادی دارند. حضور این گروه‌ها می‌تواند به گسترش و کنترل فرایندهای اجتماعی کمک کند تا یک‌سویه نشود و حقوق افراد به شکل جدیدی مورد توجه قرار گیرد، به ویژه حقوق خرده‌مالکان و کارگران کشاورزی و زنان. اکنون که در سال ۱۴۰۳ هستیم، در موقعیتی قرار داریم که تجربیات بسیار خوبی در این زمینه وجود دارد که باید مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد تا یادگیری اجتماعی تقویت شود.

• در بسیاری از بخش‌های دولتی مشاهده می‌کنیم که اغلب مدیران انتخاب‌شده، تخصص لازم برای آن سمت را ندارند. یکی از مشکلاتی که در کشور داریم این است که معمولاً به دنبال متخصصانی نمی‌رویم که هم علوم اجتماعی را درک کرده و هم مدیریت آموخته باشند. همچنین، در موضوعات علمی، به ویژه در بحث آب، بسیاری از واژه‌هایی که قبلاً استفاده می‌کردیم را به درستی درک نکرده‌ایم. این عدم درک صحیح از مفاهیم، گاهی اوقات ما را به بیراهه می‌برد. برای مثال، وقتی مدیران برای کاهش مصرف آب شهری فشار می‌آورند، این نشان می‌دهد که شناخت کافی از مسائل ندارند و نتوانسته‌اند واژه‌ها و مفاهیم مرتبط را به درستی درک کنند، نظرتان راجع به این مسائل چیست؟

موضوع قابل طرحی است، اما ممکن است بیش از حد به آن توجه کنیم. این به این معنی نیست که نباید به آن پرداخته شود، بلکه ابزار مهمی که می‌تواند مسأله را مورد توجه قرار دهد، گفت‌وگو و نشست‌ها و رسانه‌ها هستند. رسانه‌ها باید هم دانش لازم را منتقل کنند و هم موضوعات مورد اختلاف را بررسی کنند. علاوه بر این، اصطلاحات جدیدی که وارد کشور شده‌اند، ممکن است به درستی درک نشوند و سوءبرداشت یا سوءاستفاده شوند. به عنوان مثال، واژه‌هایی مانند مدیریت به هم پیوسته آب و حکمرانی آب ممکن است دچار برداشت و تفاهم شوند. متأسفانه، کارکرد رسانه‌ها در این زمینه به شکل مناسبی نیست. در اوایل دهه ۱۳۹۰، ما نشستی در یکی از ادارات وزارت ارشاد داشتیم و متوجه شدیم که خبرنگار تخصصی در زمینه آب نداریم. در گذشته، خبرنگارانی در حوزه محیط زیست داشتیم، اما خبرنگارانی که به‌طور خاص به موضوع

آب بپردازند، وجود نداشتند. خوشبختانه اکنون با پیشرفت رسانه‌ها و فضای مجازی، به ویژه روزنامه‌ها و مجلات، توانسته‌ایم در این زمینه دستاوردهای خوبی داشته باشیم. راه‌حل این مسأله نیز در گفت‌وگو و بحث است؛ باید گفت‌وگوها از سطح تخصصی فراتر بروند. زمانی با همکاری اندیشکده تدبیر آب با سه نهاد دیگر نشست‌هایی با عنوان «آب، فرهنگ و جامعه» برگزار کردیم که بیشتر در عرصه دانشگاه‌ها بود. یک نشست هم در دانشگاه فردوسی مشهد برگزار شد و این آغاز خوبی بود. این مباحث نشان داد که تنها و بطور انحصاری فقط کارشناسان آب نمی‌توانند و نباید درباره این موضوع صحبت کنند و همه می‌توانند نظر دهند و دانش اولیه‌ای در این زمینه داشته باشند. این اتفاق افتاد و بسیاری از متخصصان علوم اجتماعی هم جرأت کردند درباره آب صحبت کنند. به عنوان مثال، در شهریور سال ۱۳۹۴ روزنامه شرق ویژه‌نامه‌ای تخصصی در مورد آب منتشر کرد با نام «ایران در جستجوی آب، آب در جستجوی تدبیر» که حدود ۵۰ نفر از کارشناسان مختلف در آن مطلب نوشتند. این رویداد برای اجتماعی شدن موضوع آب به عنوان یک نکته عطف بسیار مهم مطرح است. نشریه‌ای به نام «پیام ما» که روزانه منتشر می‌شود، نشریه‌ای تخصصی در زمینه توسعه پایدار است و این دستاورد خوبی برای ما محسوب می‌شود. این ابزارها به ما کمک می‌کنند تا به سمت نهادسازی پیش برویم و نباید انتظار داشته باشیم که افراد به تنهایی مسائل را حل کنند. بلکه باید نهادها، روابط و فرایندهای اجتماعی وجود داشته باشند. اولین نشستی که برای آقای رنانی در خانه اندیشمندان تهران برگزار کردیم، او می‌گفت که در زمینه آب کار نکرده و نمی‌تواند نظر بدهد، اما با پیگیری، حضور پیدا کرد و دیدیم که چقدر نظرات مناسبی ارائه داد. او خود به نوعی یک رسانه بود و در سخنرانی‌اش گفت که آب مثل آتش است و نباید با آتش بازی کنیم چون تمدن‌مان را به باد می‌دهیم. این اظهارات تا حدی موانع را شکسته و با ورود رسانه‌ها به این موضوع، نقد و بررسی و گفتگوها آغاز شده است. امروز خوشبختانه مردم به خود اجازه می‌دهند درباره مسائل آب صحبت کنند، در حالی که در دهه ۱۳۸۰ اینطور نبود. در اوایل دهه ۱۳۹۰ در رفسنجان نشستی برگزار شد و وقتی آن هنگام در اینترنت جستجویی انجام دادم، مطالب خیلی محدودی درباره بحران آب به فارسی پیدا کردم. اما اکنون می‌بینم که جستجوهای که انجام می‌دهیم چقدر پر بار است و مطالب زیادی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این تغییرات هم در سطح دانشگاه‌ها و هم در رسانه‌ها و محیط‌های اجرایی قابل مشاهده است. در نشست‌های «آب، فرهنگ و جامعه» یکی از نشست‌ها در محل شرکت مدیریت منابع آب برگزار شد، تنها یک نفر از پرسنل آن شرکت در نشست شرکت کرد و بقیه از جاهای دیگر آمدند، اما اکنون وضعیت حتی در همان شرکت بهتر شده است.

• سوال بعدی درباره بعد اقتصادی سدسازی است. می‌دانیم که تقریباً نیمی از منابع آب کشور از آب‌های زیرزمینی و نیمی دیگر از طریق سدها تأمین می‌شوند. اما در زمینه تخصیص منابع مالی برای

این دو، دچار عدم توازن هستیم. با توجه به اینکه بخش زیادی از منابع مالی به سدسازی اختصاص می‌یابد، چگونه می‌توان این مشکل را حل کرد؟ آیا در فرآیند سدسازی به مشارکت ذینفعان توجه شده است؟ آیا امکان دارد افرادی که از این فعالیت‌ها بهره‌مند می‌شوند، خودشان در این کار مشارکت داشته باشند؟ به طور کلی، از دیدگاه کلان اقتصادی، چه جنبه‌هایی از سدسازی را مهم می‌دانید؟

شاید در این زمینه سه محور اصلی مطرح باشد: اول، عدم توازن در تخصیص مالی؛ دوم، مشارکت ذینفعان؛ و سوم، مسائل اقتصادی سدسازی. ما با چه معیار و اطلاعاتی درباره این عدم توازن صحبت می‌کنیم؟ شاید عدم توازن مالی به این دلیل است که فقط به سرمایه‌گذاری‌ها از سوی بخش دولتی توجه می‌شود و این موضوع «عدم تناسب» به شکل بزرگ‌تری دیده می‌شود. در حالی که در آب‌های زیرزمینی، بیشتر اقدامات توسط بخش خصوصی صورت می‌گیرد و هزینه‌ها کمتر نمایان می‌شود. هزینه‌هایی مانند حفار، تجهیز و ساخت چاه‌ها و همچنین هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری بسیار زیاد هستند و عمدتاً بر عهده بخش خصوصی است. در مقابل، سرمایه‌گذاری‌های بخش خصوصی در آب‌های سطحی بسیار محدود است. در یک مطالعه‌ای که در دهه ۱۳۷۰ در شرکت جاماب انجام دادیم، متوجه شدیم که حدود ۴۰ درصد از سرمایه‌گذاری‌های مرتبط با آب، مربوط به بخش خصوصی و ۶۰ درصد مربوط به دولت بوده است. به ویژه در مسأله سدسازی، ما شاهد این تفاوت در تخصیص مالی و بودجه دولتی هستیم. اما اگر به هزینه‌هایی که بخش خصوصی و مردم در این زمینه متحمل می‌شوند نگاه کنیم، متوجه می‌شویم که نسبت این هزینه‌ها به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. این موضوع - ندیدن سهم و وزن کار مردم و بخش خصوصی - فقط محدود به سدسازی و چاه نیست. این موارد نشان‌دهنده کمبود آمار و اطلاعات برای سنجش و داوری توازن و ارزیابی تخصیص مالی است و البته قبول دارم که بخشی از هزینه‌ها صرف اقداماتی می‌شود که اثربخشی و بازدهی کمی دارند. محور دوم، مسأله مشارکت ذینفعان است که در دستورالعمل‌ها و قوانین برنامه‌ریزی به شدت مورد تأکید قرار گرفته، اما در عمل اجرا نمی‌شود. بسیاری از کانون‌ها ترجیح می‌دهند بدون مشارکت دیگران کارها را پیش ببرند و برای گفتگو درباره پروژه‌ها، مسائل اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی از کسی دعوت نکنند. این عدم همکاری مانع از ایجاد چشم‌انداز مشترک برای حل مسائل می‌شود. سال گذشته نشستی از سوی آب و فاضلاب قم برگزار شد که در آن درباره طرح انتقال آب از دریای عمان صحبت شد. این طرح به عنوان یک ابر طرح شناخته می‌شود و تأثیرات گسترده‌ای بر ۱۸ استان خواهد داشت.

دولت باید به عنوان حافظ منافع عمومی در این موضوع ورود کند و برای این کار نیاز به آینده‌پژوهی داریم. باید بررسی کنیم در سالی که این پروژه برای افق خود در نظر گرفته، در چه وضعیتی خواهیم بود؟ به عنوان مثال، ممکن است در آن سال معادن آهن تمام شده باشند و در این صورت، برای تولید فولاد مجبور شویم کارخانه‌ها را به نزدیک دریا منتقل کنیم تا بتوانیم سنگ آهن را وارد کنیم و فولاد

صادر کنیم. همه این موارد به آینده پژوهی بستگی دارد، به خصوص برای طرح‌هایی که تأثیرات زنجیره‌ای گسترده‌ای دارند. ذی‌نفعان باید بتوانند در این گفتگوها شرکت کنند و چشم‌انداز مناسبی در اختیارشان قرار گیرد. در غیر این صورت، وقتی بدون برنامه‌ریزی پیش برویم، نمی‌توانیم از امکانات خود به درستی استفاده کنیم و متأسفانه در حال حاضر در چنین وضعیتی به سر می‌بریم. چگونه می‌توانیم انتظار داشته باشیم که مشارکت اجتماعی قوی باشد؟

برای مثال، در مورد طرح انتقال آب، دلیل اینکه این پروژه به آرامی پیش رفت این بود که بتوانند تصرف اراضی را با هزینه کمتری انجام دهند. تعارض منافع به گونه‌ای است که اگر سیاستگذاری به کارگزاران سپرده شود، آنها بیشتر به منافع شخصی خود توجه می‌کنند و به جامعه محلی که تحت تأثیر پروژه قرار می‌گیرد، اهمیت نمی‌دهند. سومین محور، اقتصاد سدها و اقتصادی نبودن آنها است. این کاستی به سدسازی منحصر نمی‌شود. مسأله اقتصادی بودن سدسازی به دلیل استفاده از تکنولوژی پیشرفته و وارداتی با چالش‌های مهمی مواجه شده، که یکی از آنها بازدهی پایین سدها است. در ارزیابی برنامه‌های قبل از انقلاب، این موضوع به شدت مورد نقد قرار گرفت و به عنوان یک اقدام کم‌نتیجه شناخته شد. این نیاز احساس شد که برای سازماندهی تولیدات کشاورزی، رویکرد دیگری اتخاذ شود. بعد از انقلاب، اولین اقدام تقسیم اراضی بین زارعین بود که بعدها اصل موضوع به حال خود رها شد و مسأله سازماندهی تولید فراموش شد. درباره سدسازی ممکن است گفته شد که بخشی از آن به تأمین آب کشاورزی مربوط می‌شود بسیاری از سدها آب را نه تنها برای کشاورزی، بلکه برای مصارف شهری نیز تأمین می‌کنند و مثلاً بعضی سدها توانسته‌اند بر کنترل سیلاب تأثیر بگذارند. یا برخی از سدها نقش مهمی در تولید انرژی دارند. اگر بهره‌برداری از سد به درستی انجام شود، می‌تواند اثرگذار باشد، اما در مورد تأثیر بر مدیریت سیل باید دید در موافقتنامه طرح و آن زمان به عنوان یک هدف جنبی مطرح بود یا نه؟ و هیچ سدی فقط برای کنترل سیلاب ساخته نشد. در سال‌های پربارش و با سیلاب‌های زیاد اخیر، دوباره بحث استفاده از سد برای کنترل سیلاب مطرح شد که از لحاظ اقتصاد سد، موضوع عجیبی به نظر می‌رسید. بالاخره در باره اهمیت اقتصادی سدها باید گفت که سرجمع در هیچ کجای دنیا به اندازه ما از آب‌های زیرزمینی استفاده نمی‌شود و سدها به مراتب اهمیت کمتری دارند. در حال حاضر حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد نیازهای شهری، صنعتی و کشاورزی، از آب سطحی تنظیم شده و مطمئن، تأمین می‌شود و تقریباً ۵۵ درصد از آب زیرزمینی و حدود ۲۰ درصد جریان‌های سطحی تنظیم نشده. به طور متوسط، ۵۵ درصد تأمین آب از آب‌های زیرزمینی است و در سال‌های خشک این رقم ممکن است به ۷۰ درصد هم برسد. آب سطحی و زیرزمینی به هم مرتبط است. اما وضعیت ذخایر آبخوان‌های ما به گونه‌ای شده که به همراه تغییر اقلیم -افزایش تبخیر- دبی پایه رودخانه‌ها کاهش یافته است. به‌ویژه سدهای جدید تأثیر چندانی در تنظیم آب نمی‌توانند داشته باشند. در بالادست سدها، فعالیت‌های اقتصادی زیادی مانند

برنج‌کاری انجام می‌شود که اثراتی بر روی سدسازی دارد. به عنوان مثال، در رودخانه کرخه، به دلیل گسترش اراضی کشت در بالادست سد، جایی که بیشتر محصولات پرمصرف کشت می‌شود، ورودی آب به دریاچه سد کاهش یافته است. این موضوع بر برنامه‌ریزی سدها تأثیرگذار است و موجب کاهش آب ورودی به سدها می‌شود و بر اقتصاد سدها تأثیر جدی دارند.

#### • به عنوان سوال آیا وزارت نیرو طرح‌های تشویقی برای جوامع محلی دارد که مردم پایین‌دست سدها بتوانند در امور آب (بحث مشارکت ذینفعان) مشارکت داشته باشند؟

پاسخ به این سؤال مشکل است و این مشکل به دلیل قوانینی است که وجود دارد و وزارت نیرو وظایف زیادی را به عهده ندارد و این مسئولیت به وزارت جهاد کشاورزی واگذار شده است. به دلیل نگاه بخشی که در این دو وزارتخانه وجود دارد، اولویت‌ها یکی نیستند. ممکن است وزارت جهاد کشاورزی برای کارهایی که وزارت نیرو مسئول آن است، خود را مسئول نبیند و نتواند امکانات ترویجی و آموزشی‌اش را در این زمینه فعال کند. به عنوان مثال، ایجاد تشکلهای کشاورزی برای استفاده بهتر از آب، یکی از موضوعات بلااقدامی است که تا به حال در آن پیشرفت خوبی نداشته‌ایم.

برای حل و فصل مسائل مرتبط با آب و کشاورزی، نیاز به همکاری و بازبینی در تقسیم کار وجود دارد. وزارت نیرو باید مسئولیت‌هایی در این زمینه بپذیرد، هرچند که در حال حاضر به لحاظ قانونی موظف نیست و به دلیل دردهای زیاد، به طور فعال درگیر بحث شبکه‌های آبیاری نمی‌شود. در مورد سازماندهی چاه‌ها، بیشتر وزارت جهاد کشاورزی مسئولیت دارد، اما این موضوع هم با نواقص همراه است. فعالیت‌های بالادست سدها نیز بسیار مهم است و وزارت نیرو باید در این زمینه مسئولیت بیشتری بر عهده بگیرد. در حال حاضر، بیشتر مسائل کیفیت آب به سازمان محیط زیست منتقل می‌شود، زیرا وزارت نیرو خود را به لحاظ قانونی مسئول نمی‌داند. این عدم مسئولیت، هم بر میزان آب ورودی سدها و هم بر کیفیت آنها تأثیر می‌گذارد. تغییر کاربری اراضی در بالادست موجب بروز مشکلات کیفی زیادی می‌شود که یا باید با هزینه‌های بالا در تصفیه‌خانه‌ها حل شوند، یا اینکه این مشکلات به مصرف‌کننده نهایی منتقل می‌شود. برای نمونه در حوزه سفیدرود، با وجود چندین سد، اگر کنترلی بر کیفیت آب انجام نشود، سازمان محیط زیست نیز به دلیل نداشتن امکانات و ظرفیت لازم، نمی‌تواند به این مسائل ورود کند و در نهایت مسئولیت‌ها بر زمین می‌ماند.

#### • شما کتابی در دهه ۱۳۸۰ منتشر کردید با عنوان «مشارکت نهادی زنان در مدیریت مصرف آب» در این باره بفرمایید؟

امور زنان ریاست جمهوری پروژه‌ای را تعریف کرده بود با همین عنوان که از قسمت امور آب معرفی شدم که در آن هیئت همکاری کنیم. پروژه خوبی شد که منتخب گردید و به همین خاطر، نتیجه‌اش به صورت کتاب منتشر شد.



<< مصاحبه با آقای مهندس مهدی جمشیدی  
مدیر عامل جمعیت ناجیان آب

• لطفاً با توجه به فعالیت‌هایی که در سال‌های اخیر، در رابطه با جنبه‌های محیط زیستی و اجتماعی در پایین دست سدها داشتید، از تجربیات خودتان در این زمینه توضیح دهید.

به عنوان فردی که نزدیک به چهار دهه تجربه کار مدیریتی در بخش آب داشتم و در ۱۵ سال اخیر هم در سازمان مردم نهاد «ناجیان آب» فعالیت می‌کنم، درباره سدهای خراسان به‌ویژه در مشهد، از گذشته‌های دور سدهای طرق و کارده را داشتیم و بعد از آن هم سد دوستی به عنوان یکی از کلان سدها اضافه شد. با بررسی کارایی این سدها از دیدگاه بنده می‌توان گفت نتیجه کار بعد از این سه چهار دهه، تقریباً این است که این سدها، کارایی لازم که انتظارش بوده را نداشته‌اند. مثلاً در احداث سد کارده، علاوه بر اینکه به لحاظ محیط زیستی، ما تغییراتی ایجاد کردیم، چند سالی هست که در اثر تغییرات اقلیمی، آورده‌ای که پیش‌بینی شده بود، نداریم و سال‌هاست که می‌شنویم کیفیت و کمیت آب سد تحت تأثیر قرار گرفته است و حتی بعضاً برای فضای سبز استفاده می‌شود. سد طرق هم به همین صورت، اگر چه تخریب محیط زیستی‌اش کمتر بوده، ولی آن هم کارایی و بازدهی با توجه به سرمایه‌گذاری‌ای که برایش شده، نداشته است. سد دوستی هم که از همان ابتدا دو سمت موافق و مخالف داشت. البته با توجه به شرایط اقلیمی موافقی که بود، چند باری سد پر شد و در مشهد استفاده کردیم. ولی حالا مشخص نیست اگر با شرایط اخیر قرار باشد که آب را تأمین نکند، چه اتفاقی می‌افتد. شاید نشود با اطمینان گفت، اما در این چند سال اخیر، نگرانی‌ها افزایش یافته و کسانی که امیدوار بودند با وجود سد دوستی، تأمین آب پایدار خواهیم داشت و نگرانی‌ها قرار است رفع شود، اینطور نشده و منابع مصرف آب شهری ما در حال حاضر به آب زیرزمینی منتقل شده است.

• با توجه به اشاره شما در مورد مسائل محیط زیستی، آیا راهکاری در مورد آگاه‌سازی مردم پیشنهاد می‌دهید که درمورد مورد نیاز، نقش شهروندی و اجتماعی خودشان را بتوانند ایفا کنند؟ در این زمینه چه اقداماتی انجام شده است؟ آیا تغییری در جامعه مدنی دیده می‌شود که به مسائل مرتبط با آب حساس‌تر شده و بتواند تأثیرگذاری بیشتری داشته باشد؟

در زمینه فرهنگی اجتماعی می‌توان گفت فعالیت‌هایی که تاکنون انجام شده و در حال انجام است، قابل توجه نبوده و نیست و با توجه به حساسیت و توجهی که آب و محیط زیست نیاز دارد، خیلی بیشتر از اینها باید کار شود. دلیلش هم این است که سازمان‌های متولی که شامل آب و فاضلاب‌ها، سازمان‌های آب منطقه‌ای، ادارات محیط زیست، ادارات کشاورزی هستند و نیز استانداری‌ها به عنوان

هماهنگ‌کننده این سازمان‌ها، اینها دولتی هستند و تصمیم‌گیرندگان آنها هم مدیران دولتی هستند که بنده هم جزو آنها بوده‌ام و در این زمینه تجربه دارم. با توجه به سیستم دولتی که درکشور داریم، مسئولین در زمان مسئولیت علاقه‌مند هستند در بخش خودشان موفقیت کسب کنند و کلی‌نگر نیستند. به عنوان مثال، مسئول جهاد کشاورزی به دنبال این هست که تولید محصولات کشاورزی و تولید غذا بیشتر شود. صادراتی اگر ممکن باشد، از استان خراسان بیشتر انجام شود و این گونه فعالیت‌ها که برای آن مدیر امتیاز می‌آورد. آن مدیر هر چقدر که در پس ذهنش آگاهی به تبعات کاهش آب زیرزمینی و تبعات آن مانند فرونشست وجود داشته باشد، می‌گوید مسئولیت من تأمین غذا است و به من ارتباطی ندارد ده سال دیگر این تأمین غذا چه بلایی بر سر دشت می‌آورد. آب و فاضلاب هم به همین شکل می‌گوید، متولی حفاظت از منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای است و من باید در وهله اول توزیع آب و جمع‌آوری فاضلاب انجام دهم و اگر آب منطقه‌ای این تأمین آب را انجام ندهد، مجبور به تأمین آب از طریق حفر چاه‌ها هستیم که کمبود آب را برطرف کنیم و در تابستان قطعی آب نداشته باشیم و بالادستی‌ها عملکرد ما را زیر سوال نبرند و امتیاز مربوط به مدیریت خودم را بگیرم. باز هم بر می‌گردیم به نگاه بخشی درمقابل نگاه کلان. آب منطقه‌ای هم که باید نقش حفاظت از منابع را داشته باشد، یک شرکت دولتی است که بودجه‌ای ندارد و کاری هم انجام نمی‌دهد، چون بدون بودجه کاری انجام نمی‌شود. علاقه و انگیزه‌ای هم در این زمینه نیست چون کارهای فرهنگی و اجتماعی، زمان‌بر است. ما باید در کودکان‌ها برنامه آموزشی داشته باشیم که بعد از دو دهه، نتایج آن به کار اجتماع بیاید. بنابراین عمده گرفتاری ما در کشور، این ساختار بخشی‌نگر است که کلی‌نگر نیست. جای خالی یک سازمان کلان‌نگر مثل محیط زیست که این نقش را پوشش دهد واقعاً احساس می‌شود. شما ببینید اعتبار فعالیت‌های فرهنگی اجتماعی در سازمان محیط زیست چقدر است؟ یا اگر هم بودجه‌ای وجود داشته باشد در پروژه‌هایی هزینه می‌شود که می‌توانند با انجام آن امتیازهایی به دست آورند و کاری با شرایط اکنون و آینده ندارند. به عنوان مثال شهرداری مشهد به عنوان یک دستگاه کلان با اعتبارات کلان که با مشارکت تک تک شهروندان تأمین می‌شود، چند سال پیش با تبلیغات فراوان پروژه‌ای در رابطه با مشهد، شهر دوستدار آب، بر عهده گرفت. در آن مقطع، مدیران تشویق شدند و فعالیت اندکی انجام شد، ولی وقتی مدیران در دولت بعدی تغییر کردند، مدیران جدید ادامه فعالیت‌های قبلی را قبول نداشتند و نمی‌پذیرفتند. نتیجه هم این شد که فعالیت‌های مختصری در حال انجام است، اما پوشش ریشه‌ای در زمینه‌های مختلف آموزشی و فرهنگی انجام نمی‌شود، چون یا اعتقادی به اثر بخشی این فعالیت‌ها ندارند، یا اگر اعتقاد داشته باشند، مشکلاتی مثل تأمین بودجه را عنوان می‌کنند. سمن‌ها (NGO-Non-Governmental Organization) هم که مثل ما، افرادی با دلسوزی، عشق و علاقه دور هم جمع می‌شوند تا کاری انجام دهند، عملاً به بازی گرفته نمی‌شوند. فرض کنید وقتی من



شهروند می‌بینم مدیرانی داریم که استقبال نمی‌کنند و علاقه و اهمیتی نشان نمی‌دهند، دغدغه هایشان چیز دیگری است، پس من نوعی هم فعالیت‌هایم کمتر می‌شود. همین‌طور هم شد و ما به‌عنوان یک سمن فعال که در ده دوازده سال گذشته فعال شدیم، در هشت تا ده سال اول نسبت به دو سه سال اخیر فعالیت‌های بیشتری داشتیم. درمورد دیگران هم همین‌طور است و تقریباً همه گوشه‌گیر و منزوی شدند. چون می‌بینیم که هیچ‌گونه استقبالی از این فعالیت‌ها نمی‌شود و اعتقادی به آن وجود ندارد، و این در عملکرد ما هم موثر است.

• در بحث‌های اجتماعی درمورد همکاری بین نهادهای دولتی و غیردولتی، پیشنهاد شما برای اینکه زمینه‌های حکمرانی خوب در سدسازی فراهم شود، چیست؟ ما می‌دانیم فعالیت‌هایی با الگوبرداری از غرب انجام شده، ولی آن مدل حکمرانی را الان خودشان هم در نظر نمی‌گیرند. پرسش دیگر در مورد تأمین منافع جوامع محلی پایین‌دست سدها هست. چگونه سمن‌ها می‌توانند در این زمینه نقش ایفا کنند و کمک کنند صدای این جوامع شنیده شود؟ ما همین الان در خراسان و در مشهد با انتقال آب از هزار مسجد درگیر هستیم. درحقیقت آن سمتی از هزار مسجد که شامل مناطق کلات و درگز می‌شود، آب مازادی داریم که به‌صورت تاریخی در سال‌های پربارش از مرز خارج می‌شود و به سمت ترکمنستان می‌رود. از سال‌ها پیش حاکمیت به‌دنبال ذخیره و استفاده از این آب هستند. یکی دو سد ساخته شده و اظهار می‌دارند که حدود ۴۰ و ۵۰ میلیون مترمکعب از این طریق قابل انتقال است. این می‌تواند برای مشکلاتی که اشاره کردید، نمونه مناسبی باشد. مردم آن مناطق عموماً معترض هستند. طبیعی هم هست وقتی بحث انتقال آب باشد، این اتفاق می‌افتد، چون در شرایط پربارش مشکلی ایجاد نمی‌شود، اما در دوره‌هایی که آب مازاد نیست، برای تأمین آب ساکنین، نگرانی ایجاد می‌کند. می‌توانیم بررسی کنیم که در زمینه اجتماعی و فرهنگی چه کاری در این مورد انجام شده است؟ هیچ کاری نشده است. می‌توانیم عدد صفر را در نظر بگیریم. صرفاً آب منطقه‌ای و وزارت نیرو به‌عنوان سازمان متولی و نماینده حاکمیت مثل استانداری و نیروی انتظامی به خودشان حق می‌دهند یک‌طرفه تصمیم بگیرند که در آنجا آب مازادی است که از مرزها خارج می‌شود و می‌خواهیم جمع‌آوری و برای توسعه مشهد استفاده کنیم. حق برای فردی که هزاران سال در آن روستا ساکن بوده، قائل نیستیم، به مردم محلی توجهی نکردیم و ایشان را به مشارکت نگرفتیم. که اگر اینگونه بود و درست عمل می‌کردیم، معترض نمی‌شدند. این افراد جوامع روستایی، تشکلات مدنی ندارند که بتوانند به‌صورت حرفه‌ای کار کنند. در این شرایط، چگونه می‌توانند صدایشان را برسانند؟ پس با همین روش‌های معمولی تلاش می‌کنند. مثل اینکه نماینده‌ها در زمان رای‌گیری مراجعه کرده و در آنجا این مشکل را مطرح می‌کنند و قول‌هایی داده می‌شود و بعد از رای‌گیری، مسأله فراموش می‌شود. اخیراً در دو سه سال گذشته، تشکلهایی در این مورد شکل گرفته

و ما هم به‌عنوان سمنه ایشان دلگرمی دادیم که حمایت می‌کنیم و مطالبه‌هایشان را می‌توانیم منتقل کنیم. در این مدت، کل آن افراد از درگز تا کلات همه معترض هستند و توجه و قانع نشدند. حتی ما هم به‌عنوان کارشناس قانع نشدیم. چون کسی نیامد که توضیح دهد. ما بارها و بارها به متولی امر که آب منطقه‌ای هست، اعلام کردیم که برنامه‌ای ترتیب دهد و برای این مردم توضیح داده شود که چه اتفاقی قرار است بیفتد. ولی هیچ توجهی نشده و اهمیتی نداشته، مگر اینکه مردم این مناطق به سازمان آب منطقه‌ای آمدند و اعتراض کردند. در آن وقت مدیر عامل با آنها جلسه‌ای گذاشته و قول و قرارهایی انجام شده، اما باز هم همان مسیر دنبال شده است. در این مدت، مردم محلی متوجه شدند که این روش‌ها نتیجه‌ای ندارد و از طرفی شبکه گروه‌های مردم نهاد مانند ناجیان آب، عملکرد موفقی را در موارد مشابه داشته‌اند که با جوامع محلی این تجربه‌های موفق را به اشتراک بگذارند. به‌عنوان مثال در زمینه محیط‌زیستی، کمربند ارتفاعات جنوبی مشهد را برایشان توضیح دادیم که در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ شهرداری مشهد حدود ۲۰۰ میلیارد تومان هزینه کرده و بخشی از کار را انجام داده بود، ولی وقتی ما به عنوان فعالان محیط زیست متوجه شدیم و دیگران را هم درگیر کردیم، مشخص شد این یک فعالیت مخرب محیط زیستی است. از دانشگاه فردوسی به عنوان یک مرجع علمی معتبر که مردم هنوز به آن اعتماد دارند، درخواست همکاری کردیم و اتاق فکری با کمک اساتید دانشگاه فردوسی تشکیل شد و همه ذینفعان دعوت شدند. نهایتاً نتیجه آن اتاق فکر، این شد که شهرداری به‌عنوان سازمان متقاضی انجام این کار، یک مشاور ذی‌صلاح را برای مطالعه اثرات محیط‌زیستی به کار بگیرد (چون مطالعات اثرات محیط‌زیستی برای این طرح انجام نشده بود) و دانشگاه فردوسی به‌عنوان ناظر عالی در آن مطالعه نظارت کند و هر نتیجه‌ای که حاصل شد، ما به‌عنوان شهروندان دغدغه‌مند بپذیریم و طرف مقابل هم متعاقباً بپذیرد. به اعتقاد من این یک تجربه مفید و موقر و رشد یافته بود که به صورت مدنی، حرفه‌ای، علمی و مسالمت‌آمیز صورت گرفت. با اینکه یک سال طول کشید تا شهرداری توانست مشاور را پیدا کند، در نهایت مشاور نظر داد پروژه مخرب است و شهرداری ناچار شد که بپذیرد. هرچند هنوز رگه‌هایی در شهرداری، خواهان ادامه آن پروژه (به دلیل منافع اقتصادی قابل توجه) هستند، اما به هر حال این تجربه موفقی بود که جلوی آن کار را گرفت. ما به شهروندان هزار مسجد پیشنهاد دادیم که بیا باید از این تجربه استفاده کنیم. در دانشگاه فردوسی مشهد اساتید مجربی وجود دارند که می‌توان به آنها اعتماد کرد و آنها هم پذیرفتند. به نظر من برگزاری اتاق فکر در دانشگاه‌ها، یک راه حل موثر برای کمک به وفاق ملی و اجتماعی، برای بدست آوردن افزایش میزان مشارکت مردم است. ظرفیت بسیار ارزشمندی که در دسترس ما وجود دارد، اما متأسفانه بسیار کم از آن استفاده می‌کنیم. به مسئولین پیشنهاد می‌کنم از این ظرفیت بسیار بیشتر استفاده شود. این ظرفیت دانشگاهی برای اقناع جامعه در اجرای پروژه‌ها، هزینه بسیار کم و منافع بسیار زیادی دارد.

• با توجه به اینکه جمعیت‌های مردم نهاد مانند ناجیان آب می‌توانند در تصمیمات دولتی نقش مهمی داشته باشند، آیا تشکیلات سازمانی برای این جمعیت‌ها وجود دارد؟ آیا ارگان رهبری‌کننده برای این تشکیلات وجود دارد؟

الان سمن‌ها در هر استان، تشکیلی به‌عنوان شبکه محیط زیست دارند. مثلاً خراسان حدود ۲۲ سمن محیط‌زیستی دارد و یک شبکه تحت عنوان شبکه محیط زیست خراسان وجود دارد که مدیر و اعضای هیئت مدیره دارد. در کشور هم شبکه‌ای وجود دارد که با شبکه‌های استانی مرتبط هستند. فقط این شبکه‌ها هنوز در آغاز راه هستند، یعنی قوانین استانی و کشوری هنوز تکمیل نشده و بنابراین جایگاه‌های قانونی هنوز به این تشکیلات داده نشده است. مثلاً ما در قوانین جمهوری اسلامی، قانون مصوبی داریم که سمن‌ها می‌توانند از دستگاه‌ها و مدیرانی که به محیط زیست آسیب برسانند و تخریب کنند، به مراجع قضایی شکایت کنند. اما

مواعی گذاشته‌اند مثل اینکه سمنی می‌تواند این کار را انجام دهد که هر سال وزارت کشور آن را به وزارت دادگستری معرفی کند. معنی‌اش این است هر دو سال یک بار، سمن باید مجوزش را تمدید کند. بنابراین این فرآیند آنقدر طولانی و پیچیده شده است که اگر فردی علاقه زیادی نداشته باشد، نمی‌تواند این راه را ادامه دهد. اگر کلان‌تر به مسائل اجتماعی و محیط‌زیستی نگاه کنیم، به‌عنوان یک راهکار می‌توان کمک کرد تا سمن‌ها بتوانند آسان‌تر درگیر شوند و به عبارتی زمینه برای ایشان فراهم شود که بتوانند فعالیت کنند. یکی از مصادیق آن همین است که از فضای کنونی در رابطه با مظنون بودن به فعالان محیط‌زیستی خارج شویم. همین‌طور کمک دانشگاه‌ها و ارائه تجربه‌های موفق که سمن‌ها داشته‌اند و از طرفی برداشتن قوانین دست و پا گیر که اشاره شد و یا قوانین جدیدی که نیاز است برای فعالیت‌های مؤثرتر سمن‌ها تدوین شود، می‌تواند بسیار تعیین‌کننده باشد.

#### << مصاحبه با آقای دکتر کامران داوری

رییس پژوهشکده آب و محیط‌زیست  
دانشگاه فردوسی مشهد



• از نگاه حکمرانی، مسأله سدسازی در ایران چه وضعیتی دارد؟ آیا قوانینی وجود دارد و یا مشکل در اجرای قوانین هست؟ حکمرانی آب پاسخ به این پرسش‌ها را بر عهده دارد: در رابطه با آب چه کسانی حق دارند تصمیم بگیرند؟ چه کسانی مجازند آب را در اختیار بگیرند؟ به چه صورتی؟ چه زمانی و برای چه مدت؟ و در کجا؟ این چرایی‌ها باید در قالب قانون، ضابطه و ساز و کار اداری اجرایی تعریف شود.

از این بابت، مسأله سدسازی، مسأله مهندسی و ساخت یک دیواره برای نگهداری آب نیست. همچنین از دیدگاه حکمرانی، سد یک ذخیره‌گاه موضعی و محلی آب برای تأمین نیازهای گروهی از مردم است. پس اولین سوال حکمرانی این است که این سد را چه کسانی نیاز دارند؟ که باید متقاضی باشند و به دنبال مجوزها بروند. سؤال بعدی چگونگی صدور مجوزها است. بدیهی است که مجوز باید به شرطی صادر شود که اکوسیستم، آب‌بران دیگر و حتی نسل‌های آینده خسارت نبینند. آنگاه متقاضیان می‌توانند سد را بسازند. از منظر عدالت، نباید پول‌های ملی در بخش آب و در سطح کشور، به طور نابرابر برای توسعه مناطقی محدود صرف شود.

طبق قوانین موجود، سازمان برنامه و بودجه موظف بوده است تحلیل اقتصادی هر کدام از سد‌ها را بررسی کند و مطمئن شود که پیش‌بینی غلبه سود بر هزینه وقوع خواهد یافت. در این صورت از منابع ملی به ساخت سد کمک نماید، سپس پیگیری نماید که سازنده منابع مالی مصرف شده را به ملت بازگردانده باشد. شوربختانه این کار در کشور تا به حال انجام نشده است.

در واقع نظام موجود در حوزه سدسازی، در موارد متعددی با خودرایی، تصمیماتی ناعادلانه به نفع بخشی از ایران و نسل حاضر گرفته است که موجب نابودی اکوسیستم پایین‌دست و نیز از دست رفتن فرصت‌های نسل‌های آینده گشته است. برای مثال سهم بزرگی از منابع مالی ملی که به همه ایرانیان تعلق دارد، برای برخی شهرهای بزرگ مانند تهران و اصفهان هزینه شده؛ که منتج به جذب جمعیت بیشتر به این شهرها و لذا تشدید فشار بر اکوسیستم آن سرزمین گشته است.

• برخی افراد نقش سد‌ها در مهار سیلاب را در دفاع از سدسازی مطرح می‌کنند. با چنین هدفی، قاعدتاً سد‌ها در دوره‌هایی خالی می‌مانند. آیا این موارد می‌تواند یک نقطه مثبت در کارنامه سدسازی باشد؟

موافقم که بسیاری از سد‌ها برای ایفای نقشی مثبت با اهدافی مانند مهار سیل، تولید برق، و تأمین آب ساخته شده‌اند. کسی در این تردید ندارد. اما به نظر می‌آید در مواردی تصمیمات گرفته شده، جامع‌نگرانه و خردمندانه نبوده است. در واقع غلبه نگاه ناشیانه و قلدرانه دولتی، بدون توجه به جوامع محلی و مبانی اقتصادی، منجر به هدر دادن منابع مالی ملی، بی‌عدالتی (درون نسلی و میان نسلی)، و ناپایایی گشته است. شوربختانه، در عمده مطالعات شبکه‌های آبیاری، سدسازی و انتقال آب کشور، بخش‌های مربوط به مباحث محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی بسیار ضعیف‌تر از بخش هیدرولیکی و مهندسی است. به همین لحاظ بسیاری از سد‌ها توجیه و ساخته شده‌اند، ولی بعد از آن موجب مشکلات اکوسیستمی-اقتصادی-اجتماعی می‌شوند.

هم‌اکنون حجم مخازن سد‌های ساخته شده در کشور حدود ۴۵ میلیارد مترمکعب است و همین مقدار هم در دست ساخت داریم. در حالی که میزان کل آب تجدیدپذیر قابل مدیریت

(Manageable Renewable Water) کشور که در دسترس است (سطحی و زیرزمینی) حدود ۷۰ میلیارد مترمکعب برآورد می‌گردد؛ که با شرایط تغییر اقلیم رو به کاهش است. بنابراین، در نظر گرفتن ۹۰ میلیارد مترمکعب ذخیره‌گاه آب سطحی، کاری نادرست است.

اما برخی معتقدند که این حجم در شرایط تغییر اقلیم (وقوع سیلاب‌های شدید ولی نادر)، می‌تواند این رواناب‌های سرگردان را مهار کرده و در دسترس قرار دهد. در اینجا بحث توجیه‌پذیری (محیط‌زیستی-اجتماعی-اقتصادی) مطرح می‌شود. اگر این استدلال ایشان پس از بررسی کامل و توجیه‌پذیری (سه وجهی)، و تأیید ساخت سد مطرح شده باشد، کاملاً قابل قبول است. اما این چنین نیست؛ بلکه بر اساس برداشت‌های کلی، این استدلال را مطرح می‌کنند. ضمناً باید یادآوری کنم که حداقل خسارت بسیاری از سدها، برهم زدن رژیم جریان محیط‌زیستی رودخانه بوده است؛ مانند سد ارداک (در نزدیکی مشهد) که با قفل کردن بدنه سد به بستر سنگی زیر آبرفت رودخانه، موجب شده تا پایین‌دست حتی جریان درون آبرفت را هم از دست بدهد. در واقع با توجه به رابطه تنگاتنگی که میان جریان‌های محیط‌زیستی رودخانه‌ای و آبخوان وجود دارد، پیامدهای سدسازی می‌تواند خیلی گسترده باشد.

در نهایت از بابت کاهش خسارت سیلاب‌ها، باید عرض کنم که در اینجا هدف، کاهش خسارتی است که سیلاب در نبود سد ایجاد می‌نماید. لذا منطقی است که هزینه ساخت سد باید بسیار کمتر از هزینه احتمالی خسارت باشد. معمولاً مجموع هزینه ساخت و خسارت بررسی شده و کمینه هزینه در نظر گرفته می‌شود، سپس برای احداث یک سد با هدف کاهش خسارت سیل، تصمیم گرفته می‌شود. بنابر تجربه و اطلاعات شخصی خودم عرض می‌کنم که اکثر سدهای ما چنین بررسی‌های جامع اقتصادی ندارند.

#### • برای ارتقا نظام حکمرانی سدسازی، چه مواردی پیشنهاد می‌کنید؟

برای پاسخ به این سوال بهتر است ابتدا دو مطلب را در رابطه مدیریت منابع آب کشور عرض کنم. نخست اینکه آب باید به‌صورت حوضه‌ای مدیریت شود و نه ملی؛ یعنی تصمیمات آب نمی‌تواند و نباید در پایتخت گرفته شود. دوم، در هر حوضه‌ای مردمی زندگی می‌کنند و این آب برای کلیه مصارف زندگی (اکوسیستم، شرب و بهداشت، و کسب‌وکار) در اختیار آنها است. بنابراین، ایشان گروه‌داران واقعی آب هستند. شوربختانه بدون توجه به اصول مدیریت یکپارچه، هیچ نقشی به این گروه‌داران در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری داده نشده است. در مجموع دولت هیچ جایگاهی برای حکمرانی ندیده است، بلکه صحنه فقط در اختیار حاکمیت است؛ در حالی که دولت خدمتگزار عموم و ملزم به رعایت مصالح ایشان است. این مسائل خلاف فصل هفتم قانون اساسی است که می‌گوید شوراها حق دارند در بسیاری امور وارد شوند و مقامات دولتی ملزم هستند در چارچوبی که

قانون معین می‌کند، به مصوبات این شوراها تمکین کنند. اکنون اگر حکمرانی سدسازی مد نظر باشد، تصمیم‌گیری برای ساخت و نگهداری سدها هم باید در همان حوضه و توسط همان گروه‌داران اتخاذ گردد. اما در اینجا هم دوباره دولت است که تصمیم می‌گیرد، می‌سازد و حتی نگهداری سدها هم به جوامع محلی واگذار نشده است. در حالی که انتظار بوده است هرگونه پشتیبانی مالی ملی از پروژه‌های محلی، بر اساس درخواست جوامع محلی و تأیید توجیه‌پذیری آن، و نیز در صورت اثربخشی مثبت بر اقتصاد ملی صورت گیرد. در این حالت حقوق مشخصی برای آب‌بران هر سد به وجود می‌آید و جلوی هرگونه دست‌اندازی به حقوق ایشان، توسط مسئولین دولتی گرفته می‌شود؛ یعنی هر چیزی در جای خودش قرار می‌گیرد و نه آنکه همه چیز ابزاری برای مدیران دولتی با نگاه روزمرگی و کوتاه مدت باشد. بلایی که بر سر منابع آب کشور آمده است، به دلیل همین «ید باسط» (دست گشاده) دولت بر همه چیز شکل گرفته است؛ که شوربختانه حقوقی برای گروه‌داران محلی، اکوسیستم و نسل‌های آینده قائل نیست.

در اکثر موارد این دست‌اندازی‌ها به بهانه تأمین آب شهری (به اشتباه «شرب») صورت گرفته است. در واقع، تحت شرایط موقت (مانند خشکسالی) یا دائم (رشد جمعیت و توسعه شهر)، ممکن است که نیازهای آب شهری (اعم از کاربری‌های خانگی، عمومی و فضای سبز، و خدمات) از طریق منابع آبی که قبلاً تملیک و یا ایجاد شده، تأمین نگردد. در این حالت، پس از مدیریت تقاضا و کاهش نیازها و مصارف آب، باقیمانده کمبود آب را می‌توان با هزینه شهروندان از سایر کاربری‌های آب (کشاورزی یا صنعت) تأمین نمود. برای جلوگیری از غافلگیری، ضروری است برنامه‌های واکنش به شرایط اضطراری تدوین گردد؛ همچنین باید پیش‌نگری کافی در مورد تحولات قابل پیش‌بینی (جمعیت، تغییر اقلیم، ...) و اثر آن بر منابع، کاربردها و مصارف آب صورت پذیرد. با رعایت تمامی موارد پیش‌گفته، ساخت سد می‌تواند برای جلوگیری از این دو گونه غافلگیری باشد.

#### • حکمرانی خوب شامل عدالت، شفافیت و پاسخگویی است. اما نیاز است بستر مناسبی برای این نوع حکمرانی بر اساس واقعیت‌ها فراهم شود. دیدگاه شما در این زمینه چیست؟

جوامع بشری از گذشته‌های دور با مفهوم حکمرانی آشنا بوده‌اند و با خوب و بد آن، زندگی کرده‌اند. لذا این مفهومی جدید و ابداع شده نیست. آنچه جدید مطرح شده، ارائه مفهوم در قالب «چارچوب حکمرانی خوب» است (شامل سه موردی که شما گفتید و بسیاری موارد دیگر). چارچوب در علوم انسانی، کارکردی مشابه فرمول در هیدرولیک و هیدرولوژی دارد. اگر شما اطلاعات لازم و کافی برای استفاده از فرمول یا چارچوب را ندارید، نمی‌توانید انتظار داشته باشید که به پاسخ درست برسید. پس استفاده از چارچوب حکمرانی خوب هم مقدماتی می‌خواهد.

برای رشد حکمرانی خوب، بستر به تنهایی نقش ندارد؛ بلکه ترکیبی از حاکمیت، بستر، ضوابط، ابزارها و همه چیزهایی است که آب را مدیریت می‌کند. می‌شود در تمامی سطوح (ملی تا محلی) و در تمامی عرصه‌ها (از اجتماعی و اقتصادی تا عمرانی و سازه‌ای)، میان حکمرانی و مدیریت و پیاده‌سازی تفکیک قائل شد. زیرا جوهره حکمرانی، سیاست‌گذاری است؛ جوهره مدیریت، برنامه‌ریزی است؛ و جوهره پیاده‌سازی هم پدیداری است. البته این سه در امتداد و مکمل یکدیگرند و در کنار هم منجر به موفقیت می‌شوند؛ و هر سه برای بهبود نیازمند پایش و ارزیابی هستند.

باید توجه نمود که در حوزه حکمرانی و سیاست‌گذاری، تجارب دیگران مفید و بینش‌افزا است؛ اما هیچ نسخهٔ سیاست‌گذاری مستقیماً قابل انتقال به جای دیگر نیست. زیرا هر کشور وضعیت اقلیمی و اجتماعی و شرایط محلی و تاریخی خودش را دارد. لذا هر کشوری در ادامه مسیرش به سوی آینده، به «مسیر طی شده» و به «وضعیت و شرایط امروز» وابسته است. در واقع «بستر مناسب» برای حکمرانی خوب در هر سرزمینی، نیازمند پختگی و بلوغ اجتماعی و سازمانی است که طی یک فرآیند تدریجی مختص آنجا، حاصل می‌گردد.

در نشستی با آب منطقه‌ای استان، یکی از مدیران محترم اشاره کردند که در بازدید ایشان از ترکیه، متوجه شدند که اداره سدها به جوامع محلی واگذار شده است؛ اما فرمودند که در ایران چنین چیزی ممکن نیست. چنین تحلیل و نظری، ناشی از عدم توجه به نقش زمان در شکل‌گیری حکمرانی خوب است؛ یعنی به فرآیند تدریجی بلوغ اجتماعی و سازمانی توجه ندارند. در همه جای دنیا مردم از شفافیت و پاسخگویی و از فرصت مشارکت در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری استقبال می‌کنند. این موارد موجب جلب اعتماد مردم، توسعه سرمایه اجتماعی، و نهایتاً جلب مشارکت ایشان برای مدیریت آب می‌گردد. سپس در فرآیند توانمندسازی، مهارت‌های لازم در ایشان تقویت می‌شود، تا بتوانند تصدی امور یک سد را به دست گیرند.

• اگر بخواهیم در یکی از موضوع‌های مرتبط با سدسازی ارزیابی کنیم که سیاست‌های بالادستی انجام شده باشد و تأثیرش دیده شده باشد، آیا چنین نمونه‌هایی وجود دارد؟ با در نظر گرفتن سیاست‌های کلی که انجام هر پروژه را در مسیر درست هدایت می‌کند، آیا چنین تجربه‌ای در ایران وجود دارد؟

شوربختانه مدیریت دانش (مستندسازی تجارب، آسیب‌شناسی گذشته، و پندآموزی) در ایران بسیار ضعیف است؛ و می‌توانم بگویم که پایش و ارزیابی به معنای کامل آن، به هیچ وجه در مدیریت آب کشور جاری نیست. بازهم شوربختانه ارتباط طولی، از سیاست‌های بالادستی تا مدیریت و سپس پیاده‌سازی، در کشور وجود ندارد. شاهد این مدعا، بر زمین ماندن بسیاری از سیاست‌های کلان کشور در حوزه آب (ابلاغ شده در سال ۱۳۷۹) و محیط‌زیست (ابلاغ شده در ۱۳۹۴) و نیز بسیاری از مصوبات مجلس است.

اخیراً در یک کار پژوهشی، نظام مدیریتی آب کشور را بازخوانی کردیم. برای این کار اساسنامه شرکت مدیریت منابع آب را ملاک قرار دادیم. ابتدا محتوای این اساسنامه، در ۹ دسته، با برخی کشورهای دنیا مقایسه شد. در گام بعدی، بررسی شد که آیا قوانین بالادستی (به ویژه قانون توزیع عادلانه آب) و اهداف اساسنامه در تدوین ضوابط برای عملیات رعایت شده‌اند. در بخش سوم نیز بررسی شد که آیا نظام پایش و ارزیابی برای آنچه پیاده‌سازی شده، وجود دارد؟ و آیا پندآموزی شده است؟ در بخش اول امتیاز متوسط حاصل شد، در بخش دوم نتایج ضعیف‌تر بود، و در بخش سوم امتیاز نزدیک به صفر است. یعنی ما هیچ نظام پندآموزی و لذا بهبود رفتاری نداریم.

این در حالی است که در برنامه جامع مدیریتی آب کالیفرنیا، که پس از سال‌ها تلاش حاصل آمده و از سال ۲۰۱۲ عملیاتی شده است، قرار است هر پنج سال یکبار بر اساس ارزیابی‌های به عمل آمده، بازنگری اساسی صورت گیرد. ارزیابی در واقع دو نوع است: ارزیابی عملکردی، که مبتنی بر کنترل پروژه است. ارزیابی راهبردی به معنای این است که تمامی فعالیت‌ها ذیل یک سیاست یا برنامه، هدفی دارند. در مباحث آب هدف سرانجام، بقای منابع آب (کمیت و کیفیت) در حمایت از پایایی توسعه است. بنابراین باید از کمیت و کیفیت آب ارزیابی مستمر داشته باشیم. بدتر شدن این دو شاخصه، یعنی موفق نبوده‌ایم. باید یادآوری کنم که آب‌های سطحی و زیرزمینی یک مجموعه بهم‌پیوسته هستند. این را از این بابت عرض می‌کنم که احداث سدها و مدیریت آب سطحی می‌تواند مراحم یا مزاحم مدیریت آب‌های زیرزمینی باشد.

در مشهد، تصمیم گرفته شده تا سهم آب کشاورزی از سدها به کاربری آب شهری تخصیص داده شود، و به جای آن فاضلاب تصفیه شده در اختیار کشاورزان قرار گیرد؛ که به معنای کاهش تغذیه آب زیرزمینی و افزایش مصرف آب است. این در حالی است که توسعه شبکه جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه فاضلاب‌ها اساساً با هدف حفظ بهداشت مردم و جلوگیری از آلودگی منابع آب اجرا می‌شود. قبلاً هم عرض شد که هیچ‌کدام از سدهای ما بعد از ساخته شدن جریان اکوسیستمی را رها نمی‌کنند؛ و این یعنی فشار مضاعف بر آب زیرزمینی. احیاناً اگر جریانی در رودخانه است، برای تولید برق یا استفاده کشاورزی رها شده است. در هر حال سد مقصر نیست، این رفتار غلط حاکمیت آب است (حتی خلاف بسیاری از سیاست‌های بالادستی و قوانین) که در شرایط بیلان منفی دشت، همچنان با دادن مجوزهای جدید به توسعه آب‌بری مشغول است!

• چگونه می‌توانیم در پروژه‌های سدسازی، منافع جوامع محلی در پایین دست سد را تضمین کنیم؟

بخشی از عدالت در حکمرانی، به توزیع درست منافع سرزمین بر می‌گردد. وقتی سد احداث می‌شود، گاهی ممکن است به

حقوق ساکنان و آب‌بران پایین‌دست دست‌اندازی شده و یا اکوسیستم پایین‌دست دچار مشکل شود. برای نمونه زاینده‌رود، از گذشته‌های دور دارای نهاد آب بوده است. نظام تقسیم آب در این نهاد، در آخرین نگارش به سال ۹۳۲ قمری، در طومار شیخ بهایی تجسم یافته بود. ما برای مدیریت جریان زاینده‌رود، سد احداث کردیم. اما به جای بهتر شدن وضع پایین‌دست، وضع بدتری حاصل شده است: گاوخونی خشکیده، مردم معترض هستند، و نشست زمین وقوع یافته است. بازهم تکرار می‌کنم که سد مقصر نیست، این اوضاع، نتیجه رفتار غلط حاکمیت غیر مشارکتی آب است.

بر اساس ماده ۴۴ قانون توزیع عادلانه آب، توسعه برداشت آب (سطحی یا زیرزمینی) اگر منجر به مشکلی برای آب‌بران متقدم (سطحی یا زیرزمینی) گردد، وزارت نیرو باید جریمه پرداخت کند. این ماده قانونی از زمان تصویب (سال ۱۳۶۱) متروک است و هیچ ضابطه یا دستورالعملی برای اجرای آن تدوین نشده است. اگر همین ماده قانونی رعایت می‌شد، تا به حال توسعه غیرمنطقی و غیرکارشناسی آب‌بری با این ابعاد وقوع نمی‌یافت. البته باید متذکر شوم که بخشی از تقصیر (در عدم اجرا و اعمال این قانون) بر گردن قوه قضائیه است.

اکنون اجازه دهید فرض کنیم که ساختن یک سد مضر به حال پایایی نبوده، اما برخی مشکلات برای پایین‌دست به وجود می‌آورد. در این حالت همانگونه که مرسوم است و ما به ازای خسارت به بالادست سد پرداخت می‌گردد (برای نمونه: پرداخت خسارت زمین‌هایی که در مخزن واقع هستند و به زیر آب می‌روند)، باید خسارت آنها که در پایین‌دست نیز متضرر شده‌اند تأدیه گردد. یعنی اگر ساخت سد منافعی دارد، آنان که از ساخت سد دچار خسارت شده‌اند، باید با جبران خسارت از این منافع بهره ببرند. پروژه‌های بزرگ دارای مسئولیت مدنی، نسبت به تمامی اکوسیستم و افرادی که در پیرامون پروژه حضور دارند، هستند؛ و موظف هستند به آنان که از این پروژه‌ها متضرر می‌شوند، رسیدگی کنند. در واقع هر توسعه و تغییری، مسئولیت اجتماعی دارد تا خساراتی که در منطقه ایجاد می‌کند را جبران نماید؛ سدها هم از این قاعده مستثنی نیستند.

#### • آیا به رویکردهای سازگاری برای افزایش تاب‌آوری در مسأله سدسازی معتقد هستید؟

سازگاری (Adaptation) در رابطه با مسأله تغییر اقلیم مطرح شده است. همه می‌دانیم که اتفاقات جدیدی در دنیا در حال رخ دادن است که باید رصد شوند و باید با آنها سازگار شویم. سازگاری یک منطق دارد و آن این است: دنیایی که در پیش دارید، اگرچه امتداد دنیای گذشته است، اما شرایطی جدیدی را در بر دارد که شباهتی با گذشته ندارد. لذا، ما باید مدام خودمان را چابک کنیم تا بتوانیم در کوتاه‌ترین زمان با شرایط جدید وفق یابیم. این مسأله تنها مربوط به تغییر اقلیم نیست، بلکه اقتصاد، جمعیت،

فناوری و روابط بین‌الملل هم منشاء تغییرات جدی و بزرگ هستند. بنابراین مدیریت تطبیقی (Adaptive Management) یعنی رصد تغییرات و تطبیق یافتن با آنها، ضرورت می‌یابد. در مورد یک سد این سازگاری یعنی شناسایی نرخ و روند تغییر در رژیم بارش‌ها، شدت و فرکانس سیلاب‌ها، و حتی رسوبات؛ و لحاظ نمودن آن در مدیریت بهره‌برداری از سد. این همه باید در منحنی فرمان (Rule Curve) روزآمد شده، نمود یابد؛ که تنظیم سطح و حجم آب سد، توسط آن هدایت می‌شود.

در مورد تاب‌آوری، باید توضیح مقدماتی عرض کنم. ما در حوزه مهندسی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها سه رویکرد داریم. اول: اعتمادپذیری (Reliability) که در هر طراحی مهندسی باید رعایت شود؛ و مربوط به مواردی می‌شود که شدت و احتمال آن قابل برآورد است و رعایت آن در ساخت، توجیه پذیر باشد. دوم: مدیریت ریسک (Risk Management) که مربوط به مواردی می‌شود که شدت و احتمال آن قابل برآورد است، اما رعایت آن در ساخت، توجیه‌پذیر نباشد. در این موارد، تمهیداتی (سازه‌ای یا غیرسازه‌ای) برای کاهش خسارت در صورت وقوع ریسک در نظر گرفته می‌شود. سوم: تاب‌آوری یا «برگشت‌پذیری» (Resilience) که مربوط به مواردی می‌شود که شدت و احتمال آن قابل برآورد نیست؛ اما در صورت وقوع خسارت سنگین (و یا غیرقابل جبران) وارد می‌سازند. در این موارد تمهیدات غیرسازه‌ای با مشارکت جامعه محلی مد نظر است.

از یکی دو دهه گذشته که روند تغییر اقلیم شدت پیدا کرده است، با تشدید وقایع فرین آب و هوایی (بیش‌بارشی و کم‌بارشی) مواجه هستیم. از آنجا که داده‌های گذشته نمونه گویایی از شرایط حاضر نیستند، اکنون برآورد شدت و احتمال وقایع حدی به درستی ممکن نیست. به همین لحاظ توجه به رویکرد تاب‌آوری، برای بقا در مقابل رخداد نادر ولی محتمل (که قوی سیاه Black Swan نامیده می‌شود) افزایش یافته است. در مجموع، مدیریت یک سد باید بتواند دوره‌های پرآبی و کم‌آبی را به بهترین وجه با تنظیم جریان، مدیریت نماید. این اقدام در دامنه مدیریت ریسک است؛ و نیازمند منحنی فرمان روزآمد شده است. فزون بر این، مدیریت سد باید با توانمندسازی جامعه محلی آمادگی داشته باشد که در صورت مواجهه با قوی سیاه، نه تنها مانع نابودی توسعه وابسته و مرتبط به سد گردد، بلکه پس از تحمل فشار رخداد نادر، توسعه مزبور را احیا نماید. اگر روند تغییر اقلیم و عواقب آن به درستی شناسایی نگردد، و نیز اگر مفاهیم مدیریت ریسک، سازگاری و تاب‌آوری به درستی از یکدیگر تفکیک نشوند، بدیهی است که با پیامدهای نامطلوبی مواجه خواهیم شد.

• بعضی قوانین وظایفی را بین جهاد کشاورزی و وزارت نیرو مشترک در نظر می‌گیرد، بدون توجه به اولویت‌های این دو بخش. آیا وزارت نیرو طرح‌های تشویقی برای مشارکت ذینفعان در



بزرگترین مشوق برای مشارکت ذی‌نفعان، اجازه یافتن برای مشارکت در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری است؛ و معنای مشارکت واقعی، همین است. اما اجازه دهید اول در مورد ذینفعان عرضی داشته باشیم. بنده واژه «گروداران» را برگردان مناسبی برای واژه stakeholders می‌شناسم. گروداران خود مرکب از سه گروه متفاوت است: مسئولین یا متولیان (Authorities)، بهره‌مندان یا ذی‌نفعان (Beneficiaries) و علاقمندان (Embracers). بنابراین وزارتین نیرو و جهاد کشاورزی متولی هستند و نه ذینفع.

در مورد جوامع محلی، می‌دانیم که امروزه در ایران نقشی ندارند. حتی مدیران محلی هم نقش ندارند و این برخلاف قوانین بالادستی است. در ماده یک قانون توزیع عادلانه آب، منابع آب از مشترکات شمرده شده و بهره‌برداری از آنها برای «مصالح عامه» مجاز شمرده شده است. لذا تصمیمات وزارت نیرو و زیرمجموعه‌های آن باید مقید به «مصالح عامه» باشد؛ در حالی که معادل قانونی-اجرایی این عبارت به درستی در جایی تشریح نشده است.

به استناد فصل هفتم قانون اساسی که در مورد شوراهای است، بنده تصور می‌کنم مصالح عامه را باید شوراهای مشخص کنند (البته ذیل ضوابط بالادستی و نیز مقید به پایایی، عدالت و بهره‌وری). در اصل صدم قانون اساسی شوراهای شامل شورای روستا، بخش، شهر، شهرستان، و استان هستند که در زمینه‌های متعددی اجازه دخالت یافته‌اند. در اصل صد و سوم هم استانداران، فرمانداران، بخشداران و سایر مقامات دولتی ملزم به رعایت مصوبات شوراهای شده‌اند. این دقیقاً معنای حکمرانی محلی است و در زمینه آب هم دقیقاً به همین صورت می‌توان عمل نمود. البته در موضوع آب، حوضه‌ها دقیقاً منطبق بر مرز شهرستان‌ها نیستند؛ اما شوراهای محلی حاضر در حوضه به نسبت ارتباط با منابع آب حوضه، می‌توانند در تصمیم‌گیری حوضه‌ای مشارکت نمایند. این ترتیب، نیازی به قانون جدید ندارد.

• آیا ممکن است که ما در زمینه دانسته‌های علمی دچار اشتباه باشیم؟ و بخشی از دلایل ناکامی ما در این مسأله ریشه داشته باشد؟

همیشه اینطور هست. علم فرزند تجربه است و تجربه فرزند عمل است. در واقع ما با ارزیابی است که متوجه می‌شویم آنچه می‌دانیم و عمل کرده‌ایم، درست یا نادرست بوده است. آنچه در عمل با تکرار، نتایج درست به بار آورد، درست تلقی می‌شود (Valid). ما هر تصویر جدیدی که داریم بر اساس شناخت‌های گذشته است. همانطور که دکتر مرید گفتند، لازم نیست چرخ را از نو اختراع کنیم؛ یعنی چارچوب‌ها را داریم.

باید توجه فرمایید که ما در حوزه حکمرانی و مدیریت گفتگو می‌کنیم. لذا همانگونه که قبلاً عرض کردم، ضمن توجه به تجارب جهانی، حل مسائل در این حوزه نیازمند «دانش بومی» است. شوربختانه در نبود ارزیابی و آسیب‌شناسی گذشته، دانش بومی رشد نمی‌یابد. فراموش نکنیم که پایش باید داده‌های موثق و کافی برای اهداف مدیریتی و حکمرانی فراهم نماید؛ داده‌هایی که باید در دسترس همگان قرار داشته باشند.

البته کژفهمی و برداشت نادرست از متون علمی هم مشکلی است که جامعه تخصصی آب با آن درگیر است. برای نمونه جابجایی عبارت «مدیریت تقاضا» (Demand Management) با عبارت «مدیریت مصرف»، که مفاهیم کاملاً متبادر را به شنونده منتقل می‌کنند، واقعاً ناراحت‌کننده است. بنده نمی‌دانم این عبارت دوم از کجا آمده است؛ چون برای مرحله مصرف آب عبارت «صرفه‌جویی» (Conservation) از گذشته وجود داشته است. همچنین واژه بهره‌وری (Productivity) اشاره به یک مفهوم اقتصادی دارد که مربوط به مصرف‌کنندگان آب است. این مفهوم ربطی به تعادل‌بخشی منابع-مصارف ندارد و حتی اگر موجب کاهش آب برگشتی باشد، بیلان منفی را تشدید خواهد نمود.

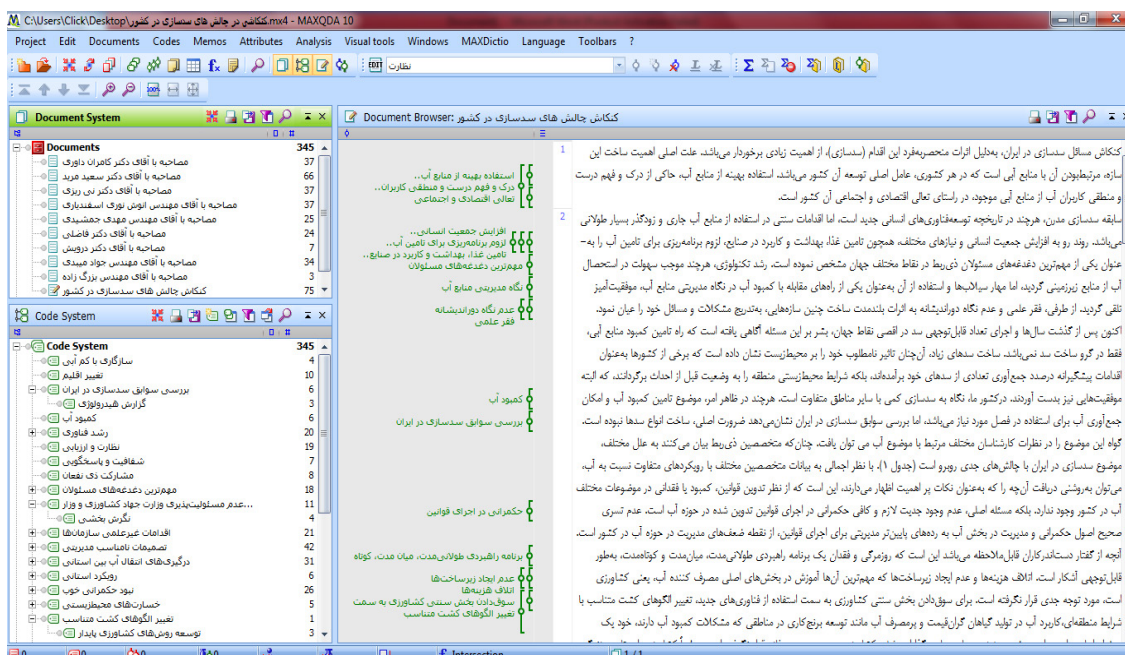
با بهره‌گیری از قابلیت‌های این نرم‌افزار، الگوها و مفاهیم کلیدی شناسایی شدند. نتایج تحلیل‌ها نشان داد که **عدم وجود حکمرانی خوب و تصمیمات مدیریتی مناسب** از جمله عوامل اصلی در بروز چالش‌ها و ناکامی‌ها در پروژه‌های سدسازی بوده‌اند. این یافته‌ها می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران کمک کند تا در راستای بهبود فرآیندهای مدیریتی و ارتقای حکمرانی، اقدامات مؤثری انجام دهند.

می‌کند تا الگوها و ارتباطات پیچیده را بهتر درک نمایند و به شفاف‌سازی یافته‌های تحقیقاتی پرداخته می‌شود.

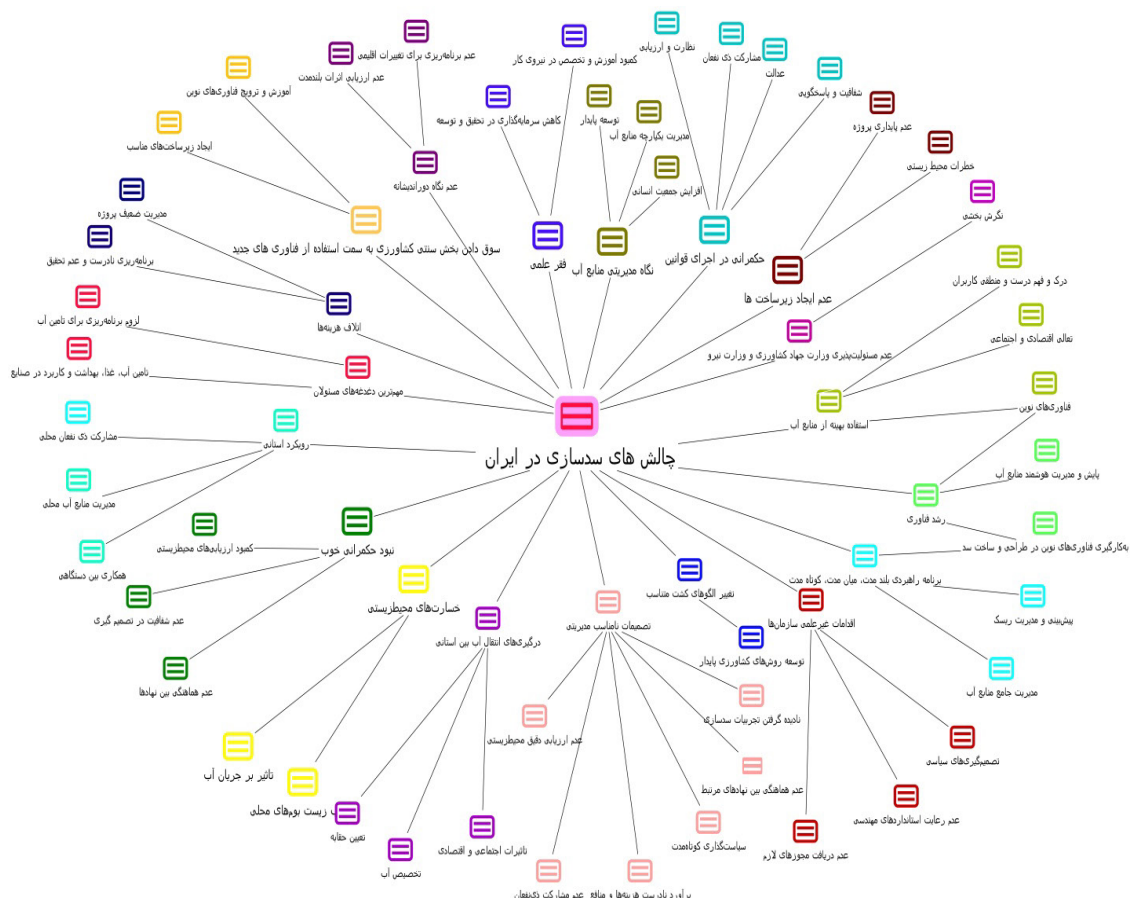
در شکل (۳) فراوانی کدها در محورهای مصاحبه‌ها و مستندات، به‌منظور تحلیل عمیق‌تر از رابطه بین موضوعات و مضامین مختلف، بررسی تنوع و فراوانی کدها در داده‌ها ارائه شده است که ابزاری مفید برای تسهیل تحلیل کیفی و بهبود درک از داده‌ها می‌باشد.

در شکل (۱) تحلیل و کدگذاری مصاحبه‌ها و مستندات در نرم‌افزار MAXQDA ارائه شده است.

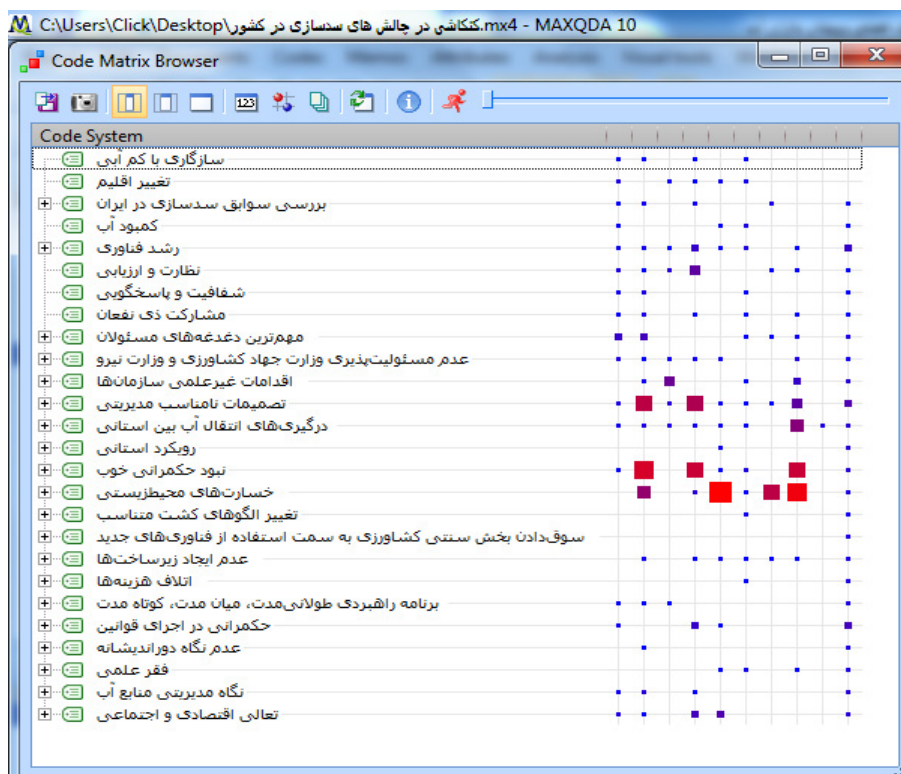
در شکل (۲) مدل مفهومی چالش‌های سدسازی در کشور ارائه شد که نتایج تحلیل در متن مصاحبه‌ها و مستندات به صورت نمایش بصری از ارتباطات و ساختار داده‌ها ارائه شده است و با استفاده از آن می‌توان روابط بین کدها، مفاهیم و دسته‌بندی‌های مختلف را به وضوح مشاهده نمود. این نمایش بصری به تحلیل‌گران کمک



شکل ۱- تحلیل و کدگذاری مصاحبه‌ها و مستندات در نرم‌افزار MAXQDA



شکل ۲- مدل مفهومی چالش‌های سدسازی در کشور در نرم‌افزار تحلیل داده‌های کیفی MAXQDA



شکل ۳- فراوانی کدها در چالش‌های سدسازی کشور در نرم‌افزار MAXQDA



<< دکتر کاظم اسماعیلی

دانشیار گروه علوم و مهندسی آب،  
دانشگاه فردوسی مشهد

کنکاش مسائل سدسازی در ایران، به دلیل اثرات منحصربه‌فرد این اقدام (سدسازی)، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. علت اصلی اهمیت ساخت این سازه، مرتبط‌بودن آن با منابع آبی است که در هر کشوری، عامل اصلی توسعه آن کشور محسوب می‌شود. استفاده بهینه از منابع آب، حاکی از درک و فهم درست و منطقی کاربران آب از منابع آبی موجود، در راستای تعالی اقتصادی و اجتماعی هر کشور است.

سابقه سدسازی مدرن، هرچند در تاریخچه توسعه فناوری‌های انسانی جدید است، اما اقدامات سنتی در استفاده از منابع آب جاری و زودگذر سابقه طولانی می‌باشد. روند رو به افزایش جمعیت انسانی و نیازهای مختلف، همچون تأمین غذا، بهداشت و کاربرد در صنایع، لزوم برنامه‌ریزی برای تأمین آب را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مسئولان ذی‌ربط در نقاط مختلف جهان مشخص نموده است. رشد تکنولوژی، هرچند موجب سهولت در استحصال آب از منابع زیرزمینی گردید، اما مهار سیلاب‌ها و استفاده از آن به‌عنوان یکی از راه‌های مقابله با کمبود آب در نگاه برنامه‌ریزی مدیریتی منابع آب، موفقیت‌آمیز تلقی گردید. از طرفی، فقر علمی و عدم نگاه دوراندیشانه به اثرات بلندمدت ساخت چنین سازه‌هایی، به تدریج مشکلات و مسائل خود را عیان نمود. اکنون پس از گذشت سال‌ها و اجرای تعداد قابل‌توجهی سد در اقصی نقاط جهان، بشر بر این مسأله آگاهی یافته است که راه تأمین کمبود منابع آبی، فقط در گرو ساخت سد نمی‌باشد. ساخت سدهای زیاد، آن‌چنان تأثیر نامطلوب خود را بر محیط‌زیست نشان داده است که برخی از کشورها به‌عنوان اقدامات پیشگیرانه درصدد جمع‌آوری تعدادی از سدهای خود برآمده‌اند، تا بلکه شرایط محیط‌زیستی منطقه را به وضعیت قبل از احداث برگردانند، که البته موفقیت‌هایی نیز بدست آوردند. نگاه جستجوگرانه به دلایل سدسازی، حاکی از آن است که در یک چشم‌انداز ساده، سدسازی می‌تواند به عنوان یک منبع تأمین آب و انرژی پاک، بسیار مفید باشد. نگاهی که در سال‌های قبل سبب رشد سدسازی در ایران شده، اما متأسفانه ارزیابی جامع و دقیق در مورد ساخت سد مورد توجه قرار نگرفته و فقط از دیدگاه هیدرولیکی و اقتصادی برای این اقدام تبلیغات زیادی انجام شده؛ چنانکه فقط اثرات مثبت سد ملاک تصمیم‌گیری در طرح و اجرای آن است. هرچند که از همان ابتدا برای ساخت سد، دستورالعمل‌های لازم تدوین گردیده که در بسیار از موارد همان دستورالعمل‌ها و الزامات لازم خود نتایج رضایت‌بخشی در مورد اجرای یک سد نشان نمی‌دادند، اما منافع اقتصادی دست‌اندرکاران پروژه‌های سدسازی، اجازه اعمال

این بررسی‌ها بر اجرای سد را نمی‌دادند که این یکی از نقطه ضعف‌های سیستم نظارتی در مراحل پیشرفت کار بوده است. در کشور ما، نگاه به سدسازی، کمی با سایر مناطق متفاوت است. هرچند در ظاهر امر، موضوع، تأمین کمبود آب و امکان جمع‌آوری آب برای استفاده در فصل مورد نیاز می‌باشد، اما بررسی سوابق سدسازی در ایران نشان می‌دهد که نیاز واقعی، علت اصلی ساخت برخی سدها نبوده است. گواه این موضوع را در نظرات کارشناسان مختلف مرتبط با موضوع آب می‌توان یافت. چنان‌که متخصصین ذی‌ربط بیان می‌کنند به علل مختلف، موضوع سدسازی در ایران با چالش‌های جدی روبرو است (جدول ۱). با نظر اجمالی به بیانات متخصصین مختلف با رویکردهای متفاوت نسبت به آب، می‌توان به‌روشنی دریافت آن‌چه را که به‌عنوان نکات پر اهمیت اظهار می‌دارند، این است که از نظر تدوین قوانین، کمبود یا فقدان در موضوعات مختلف آب در کشور وجود ندارد. بلکه مسأله اصلی، عدم وجود اعتقاد و جدیت لازم و کافی حکمرانی (شکل ۳) در اجرای قوانین تدوین شده در حوزه آب است. عدم تسری صحیح اصول حکمرانی خوب و مدیریت در بخش آب به رده‌های پایین‌تر مدیریتی برای اجرای قوانین، از نقطه ضعف‌های مدیریت در حوزه آب در کشور است. آنچه از گفتار دست‌اندرکاران قابل‌ملاحظه می‌باشد، این است که روزمرگی و فقدان یک برنامه راهبردی طولانی‌مدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت، به‌طور قابل‌توجهی آشکار است. اتلاف هزینه‌ها و عدم ایجاد زیرساخت‌ها که مهم‌ترین آنها آموزش در بخش‌های اصلی مصرف‌کننده آب، یعنی کشاورزی است، مورد توجه جدی قرار نگرفته است. برای سوق‌دادن بخش سنتی کشاورزی به سمت استفاده از فناوری‌های جدید، تغییر الگوهای کشت متناسب با شرایط منطقه‌ای، کاربرد آب در تولید محصولات با ارزش افزوده بالا و پرمصرف آب مانند توسعه برنج‌کاری در مناطقی که مشکلات کمبود آب دارند، خود یک معضل اساسی است. این موضوع هنوز در میان سیاست‌گذاران بخش کشاورزی به‌درستی مورد وفاق قرار نگرفته است. طبعاً کشاورز برای تأمین زندگی خود اقدام به کشت محصولی خواهد کرد که بیشترین درآمد را داشته باشد (مصاحبه دکتر داوری). لذا سدسازی، هرچند در سال‌های اخیر توانسته است تا حدود قابل‌توجه‌ای از مشکل کمبود آب بکاهد، اما نقش خسارت‌های محیط‌زیستی را نباید فراموش کرد. هر چند در تحلیل کیفی منابع، این موضوع چندان مورد توجه قرار نگرفته است (جدول ۳). براساس داده‌های بدست آمده از گزارشات از منابع مختلف معتبر کل منابع آبی تجدیدپذیر در ایران در پایان گزارش سال ۱۳۹۵، حدود ۱۱۰ میلیارد متر مکعب می‌باشد و از طرفی براساس داده‌های برداشت شده اقلیمی و محاسبات صورت گرفته، سالانه حدود یک میلیارد مترمکعب به دلیل کاهش نزولات جوی از آب تجدیدپذیر کاهش می‌یابد. یعنی تا سال ۱۴۰۳، حدود ۸ میلیارد از میزان بارش‌ها به دلیل کاهش بارندگی باید مد نظر داشت، هرچند در سال ۱۴۰۳ وضعیت ترسالی مشاهده شد.

به هر صورت اکنون میزان آب تجدید پذیر در حالت خوشبینانه حدود ۱۰۴ میلیارد متر مکعب خواهد بود. اگر همین رقم را بدون برداشت‌های اضافی فقط در نظر بگیریم و مقایسه‌ای بین حجم مخازن موجود (حدود ۵۴ میلیارد مترمکعب) و حجم مخازن در حال طرح و اجرا (حدود ۵۰ میلیارد مترمکعب) داشته باشیم، آنگاه طرح و اجرای سدهای جدید را در صورت ضرورت، واقعی و منطقی می‌توان تلقی نمود. اما نکته قابل تأمل اینکه آب تجدیدپذیر فقط به صورت آب سطحی نیست، بلکه بخشی از آن را آب زیرزمینی تشکیل می‌دهد که هر درصدی از آن را به عنوان آب زیرزمینی مد نظر قرار دهیم (مثلاً ۳۰ درصد نفوذ به خاک، یاد آور می‌شود که خاک کشور ما در مناطق زیادی از جنس شنی با نفوذپذیری بالاست) مشاهده می‌کنیم که حجم سدهای در حال طرح و اجرا و سدهای در حال بهره‌برداری به مراتب از حجم آب تجدیدپذیر بیشتر بوده و این خود گواه بر عدم ارزیابی‌های همه جانبه و منطقی در تصمیم‌گیری برای احداث سدها می‌باشد. عدم آگاهی کامل سد به دلیل برآوردهای نادرست موجب شده برنامه‌ریزی برای تخصیص به دلیل عدم تأمین آب لازم در پشت سد از تمامی ظرفیت برخی از سدهای ساخته شده، استفاده نشده و نهایتاً گزارشات و آمار نادرست از بهره‌برداری از برخی سدها ارائه شود.

دلایل زیادی برای تأثیر نامطلوب سدهای ساخته شده بر محیط زیست قابل ارائه است که در بیشتر آنها اثرات انسانی دخیل می‌باشد. می‌دانیم در احداث یک سد، جریان محیط‌زیستی در طراحی سد مد نظر قرار می‌گیرد. متأسفانه در بسیاری از مواقع، این حق به دلیل کمبود آب، از رودخانه سلب شده و برداشت می‌شود. همین امر اثرات غیرقابل برگشتی را بر زیست‌بوم رودخانه خواهد گذاشت. امروزه در تحلیل مسائل یک رودخانه صرفاً به مسیر آبراهه توجه نمی‌شود بلکه تأثیر رودخانه برآنچه در اطراف از آن تأثیرپذیر است، مورد نظر می‌باشد یا به اصطلاح کریدور (Corridor) رودخانه همواره اهمیت می‌یابد. آنچه از لابلای گفتار دست‌اندرکاران و دغدغه‌مندان حوزه آب به چشم می‌خورد، این است که اصولاً مقوله سدسازی در کشور ما قبل از انقلاب عمدتاً توسط شرکت‌های خارجی انجام شده است و هرچند به نظر می‌رسد که آنها در انجام تعهدی که قبول می‌کنند، سعی در ارائه بهترین خدمات دارند، اما نگاهی گذرا به چند سد ساخته شده قبل انقلاب، همانند سد لار، سفیدرود یا منجیل نشان می‌دهد هر یک با مشکلاتی روبرو هستند. گواه آن را از گفتار متخصصین می‌توان دریافت. اقدامات سدسازی بعد از انقلاب و در ایام جنگ هشت ساله رونقی نداشت، اما دهه هفتاد، شروع رونق سدسازی در ایران بوده است. سدهایی در ایران اجرا شد که اغلب آنها مشکلاتی در زمینه‌های مختلف دارند (جدول ۲). علت اصلی مشکلات به وجود آمده برای سدهای مختلف را از زبان متخصصین می‌توان شنید. اصلی‌ترین عامل، نبود حکمرانی خوب در موضوع مدیریت منابع آبی می‌باشد. این امر موجب اخذ تصمیماتی گردیده،

که هرچند مشکل کمبود آب را برای مدت زمانی حل نموده، اما اثرات نامطلوب و قابل‌توجهی را به وجود آورده است (به عنوان مثال سد کارون ۳). دومین عامل مشکل‌زا در حوزه آب که باید بدان اشاره کرد و به عنوان یک عامل ریشه‌ای شناخته می‌شود، اینکه منابع آبی یک حوضه باید به صورت یکپارچه مدیریت شود. اما تقسیم‌بندی استانی منابع آب (تقسیم‌بندی سیاسی جایگزین تقسیم‌بندی جغرافیایی) عامل بروز بسیاری از مسائل و مشکلات در مدیریت منابع کشور شده است. جریان آب زیرزمینی و سطحی مرز نمی‌شناسند، اما در عمل، ما برای آن مرز تعیین کردیم و همین مسأله، درگیری‌های انتقال بین استانی را افزایش داده است. سومین عامل در عدم موفقیت برخی طرح‌های سدسازی، موضوع فلسفه وجودی سد در یک منطقه می‌باشد. در موارد متعدد مشاهده می‌شود که به دلایل غیرعلمی سدی در نقطه‌ای احداث می‌شود که یا به دلیل ظرفیت بالا، عملاً با راندمان لازم مورد بهره‌برداری نیست، چنان‌که آمار مربوط به مقادیر ورودی و تخصیصی برخی سدها نشان می‌دهد که ظرفیت‌های انتخابی برای سد نادرست می‌باشد و یا اصولاً ایجاد سد غیرضروری بوده است. عامل ریشه‌ای دیگر که از مضامین مصاحبه‌ها قابل استنباط است، کم‌رنگ بودن نقش گروه‌های مردم‌نهاد در تصمیم‌گیری‌های آبی است. گروه‌های مردم‌نهاد سال‌هاست که به طور خودجوش برای مقابله با تصمیمات نامناسب مدیریتی فعالیت می‌کنند. اما به دلیل آن‌که جایگاه قانونی مشخصی برای آنها تعریف نشده است و یا اگر تعریف شده باشد، به طور لازم از آن حمایت نمی‌شود و یا پیچیده کردن مسیر قانونی برای آنها، باعث شده عملاً در اقدامات خود برای مبارزه با روش‌های نامطلوب و یا اقدامات غیرعلمی سازمان‌ها و نهادهای دولتی، به نتایج کاملاً رضایت‌بخشی نرسیده باشند. در عین حال در برخی موارد، مانند جلوگیری از تخریب ارتفاعات جنوبی مشهد به عنوان ایجاد کمربند سبز، موفقیت‌هایی داشته‌اند و اقدام به موقع آنها توانسته خسارات وارده به محیط‌زیست جنوبی مشهد را به موقع متوقف نماید که در این مورد، نقش دانشگاه فردوسی مشهد به عنوان یک مرجع علمی قابل تقدیر است (مصاحبه مهندس جمشیدی).

یکی از مهم‌ترین عوامل در تحلیل و ارزیابی موفقیت احداث یک سد، تأثیر اقتصادی آن در منطقه می‌باشد. پیامدهای اقتصادی - اجتماعی و محیطی سدسازی، ممکن است جبران‌ناپذیر باشد. مناطق اجرای سدهای مخزنی، قبل از احداث بررسی می‌شوند، اما اثرات بعدی مورد پژوهش قرار نمی‌گیرد. هرچند سدسازی اثرات مثبت بر افزایش سطح زیرکشت دارد و آب لازم را در زمان مناسب در اختیار کشاورزان قرار می‌دهد که خود عاملی بر توسعه کشاورزی و افزایش رضایت‌مندی کشاورزان می‌باشد، اما باید به این نکته مهم نیز توجه نمود که اثرات نامطلوب در پایین‌دست نیز قابل توجه است که اهمیت آنها (مانند مسائل محیط‌زیستی) از تأثیر مثبت اقتصادی سد، بیشتر است.



قوانین و عدم تقسیم وظایف مناسب بین وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی از چالش‌های دیگر در این بحث می‌باشد. این دو وزارتخانه به دلیل نگرش بخشی خود، اولویت‌های متفاوتی دارند که می‌تواند منجر به عدم مسئولیت‌پذیری وزارت جهاد کشاورزی در زمینه‌های مرتبط با وظایف وزارت نیرو شود. این موضوع مانع از فعال شدن امکانات ترویجی و آموزشی در حوزه مدیریت آب می‌گردد. به عنوان نمونه، ایجاد تشکلهای کشاورزی برای بهینه‌سازی استفاده از آب یکی از زمینه‌های ناتمام می‌باشد که پیشرفت قابل توجهی در آن مشاهده نشده است (مصاحبه مهندس نوری اسفندیاری).

هرچند مجموعه گفتگوهای انجام شده در موضوع سدسازی، با تعداد محدودی از افراد متخصص در این زمینه انجام شده که به دلیل محدودیت‌های حجم گزارش برای چاپ بوده است، اما با بررسی صورت گرفته در منابع مختلف از گفتارها، سمینارها، وبینارهای داخلی و خارجی در این موضوع، تقریباً همگی بر موارد مشابه‌ای اشاره نموده‌اند که نکات ارائه شده در متن موجود، برگرفته از کلیه این منابع می‌باشد.

#### منابع

اینوتکس. (۱۴۰۰). سیزدهمین نمایشگاه بین‌المللی نوآوری و فناوری، پارک فناوری پردیس. لینک سخنرانی آقای عیسی بزرگ‌زاده در تاریخ ۳۱ شهریور ۱۴۰۰: <https://www.aparat.com/v/k348s2z>

امامی میبدی، عنایت الله، و گهروبی باجگیرانی، فرزاد. (۱۴۰۰). تحلیل نشت تکیه‌گاه‌های سد لیرو با استفاده از روش ترکیبی DFN-DEM. نشریه سد و نیروگاه برق آبی ایران، ۷(۲۷)، ۱۵-۲۷. <http://dori.net/dor/20.1001.1.23225882.1399.7.27.7.1>

ثقفیان، بهرام، فرازجو، حسن، سپهری، عادل، و نجفی‌نژاد، علی. (۱۳۸۵). بررسی اثر تغییرات کاربردی اراضی بر سیل‌خیزی حوزه‌آبریز سد گلستان. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۸(۱)، ۱-۲. <https://www.magiran.com/p352617>

حسینی توسل، مرتضی، کهندل، اصغر، و مرتضایی فریزه‌ندی، قاسم. (۱۳۸۶). جلوگیری از اثرات منفی سدسازی و استفاده از فرصت‌های جدید با بررسی راهکارهای اجرایی در بخش‌های مرتبط با منابع طبیعی (مطالعه موردی سدکارون ۳). اولین همایش ملی سد و سازه‌های هیدرولیکی، کرج، ایران. <https://civilica.com/doc/29270>

خبرگزاری ایرنا (الف). (۷ دی ۱۴۰۱). کد خبر ۸۴۹۸۲۷۸۹، لینک [www.irna.ir/xjLmLF](http://www.irna.ir/xjLmLF)

خبرگزاری ایرنا (ب). (۲۱ دی ۱۴۰۱). کد خبر ۸۴۹۸۶۵۶۱، لینک [www.irna.ir/xjLpkD](http://www.irna.ir/xjLpkD)

خبرگزاری ایرنا، (۲ آبان ۱۴۰۲). دسته عکس خبری. لینک خبر <http://www.irna.ir/xjNM88>

خبرگزاری ایسنا. (۲ خرداد ۱۳۹۶). کد خبر ۹۶۰۳۰۲۰۱۳۵۰، لینک خبر [isna.ir/xcZ8Q8](http://isna.ir/xcZ8Q8)

خبرگزاری ایسنا (الف). (۲۰ تیر ۱۴۰۰). دسته خبری، لینک خبر [isna.ir/xdJBH8](http://isna.ir/xdJBH8)

خبرگزاری ایسنا (ب). (۳ خرداد ۱۴۰۰). کد خبر 1400030301688، لینک خبر [isna.ir/xdJh73](http://isna.ir/xdJh73)

خبرگزاری باشگاه خبرنگاران جوان. (۹ مرداد ۱۴۰۰). کد خبر ۷۸۳۳۵۸۴، لینک خبر <https://www.yjc.ir/00Wrs8>

خبرگزاری تسنیم. (۱۶ دی ۱۳۹۴). دسته اقتصادی، نفت و انرژی، لینک خبر <https://tn.ai/963775>

خبرگزاری جوان آنلاین. (۲۲ شهریور ۱۳۹۳). دسته اجتماعی، کد خبر ۶۷۳۱۷۷، لینک خبر <https://www.javanonline.ir/002p7h>

خبرگزاری خبر آنلاین (خبرگزاری تحلیلی ایران). (۱۲ دی ۱۴۰۱). کد خبر ۱۷۱۴۳۱، لینک خبر [khabaronline.ir/xjZWh](http://khabaronline.ir/xjZWh)

خبرگزاری دنیای اقتصاد. (۲۱ شهریور ۱۳۹۷). کد خبر ۳۴۳۹۱۱۵، لینک خبر [donya-e-eqtasad.com/fa/tiny/news-3439115](http://donya-e-eqtasad.com/fa/tiny/news-3439115)

خبرگزاری شبستان. (۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۹). کد خبر ۹۲۵۷۹۷، لینک خبر [shabestan.news/x9SBQ](http://shabestan.news/x9SBQ)

خبرگزاری معاصر. (۲۳ بهمن ۱۴۰۱). گفتگوی ویژه با محمد درویش فعال محیط‌زیست درباره سد چم‌شیر. لینک خبر <https://www.aparat.com/v/c75yk58>

خبرگزاری مهر. (۱۵ اسفند ۱۳۹۱). دسته اقتصاد، آب و انرژی، کد خبر ۲۰۱۱۶۹۹، لینک خبر [mehrnews.com/xn6S6](http://mehrnews.com/xn6S6)

خبرگزاری مهر. (۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۵). دسته دانش و فناوری، علم و دانش، کد خبر ۳۶۵۵۶۳۳، لینک خبر [mehrnews.com/xF5Ym](http://mehrnews.com/xF5Ym)

خبرگزاری مهر. (۱۶ دی ۱۳۹۹). کد خبر ۵۱۱۴۲۹۸، لینک خبر [mehrnews.com/xTv5s](http://mehrnews.com/xTv5s)

خبرگزاری مهر. (۲۱ آذر ۱۴۰۱). دسته اقتصاد، آب و انرژی، کد خبر ۵۶۵۲۰۹۴، لینک خبر [mehrnews.com/xZ44S](http://mehrnews.com/xZ44S)

خوش‌روش، مجتبی، و ولی‌زاده، مجتبی. (۱۳۹۶). اثرات احداث شبکه آبیاری و زهکشی سد مخزنی شهید رجایی روی تغییرات زمانی و مکانی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی دشت ساری-نکا. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۱(۲)، ۱-۱۴. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub>

جست‌نار. ۲۱.۲.۱. درویشی، سحر، جوزی، سیدعلی، ملماسی، سعید، و رضایان، سحر. (۱۳۹۸). ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سدها با استفاده از روش‌های SIR و VIKOR با رویکرد مطالعات

پسا ارزیابی اثرات محیط‌زیستی (مطالعه موردی: سد بالا رود

کنکاش ۱: کنکاشی در سدسازی ایران

ساکن در نوار شمالی استان گلستان: مورد مطالعه سد شیرین دره. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳(۴)، ۸۷۱-۸۸۴.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.330866.669081>

محمدی بهزاد، حمید رضا، کلانتری، نصراله، بیگلری، بابک، و ترابی کاوه، مهدی. (۱۳۹۵). بررسی منشاء شوری آب رودخانه زهره در پایین دست سد چمشیر و قابلیت آن برای مصارف کشاورزی. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۶

(۳)، ۷۴-۸۳. <https://doi.org/10.22055/aag.2017.11096.1125>

محمدی، علیرضا، و چهارتنگی، طوبی. (۱۳۹۷). بررسی آثار پروژه های ملی سدسازی بر توسعه پایدار منطقه ای، مطالعه موردی: سد کارون ۳، شهرستان ایذه، خوزستان. نشریه آب و

توسعه پایدار، ۵(۱)، ۸۳-۹۲. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v5i1.64304>

ملماسی، سعید، و الله داد، زهرا. (۱۳۹۶). ارزیابی ریسک زیست محیطی پروژه های سدسازی با استفاده از روش تصمیم گیری چند شاخصه تلفیقی (مطالعه موردی: سد آزاد در استان کردستان- ایران). نشریه سد و نیروگاه برق آبی ایران، ۴(۱۴)، ۵۱-۶۳. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.232258>

[82.1396.4.14.5.2](https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.330075.669068)

میرزایی، محمد، عرب، داود رضا، و سارنگ، سید امین. (۱۳۸۰). بررسی و تحلیل زیست محیطی سد ۱۵ خرداد. مجله آب و فاضلاب، ۱۲(۳۸)، ۴۶. <https://www.magiran.com/p111704>

ناظری تهرودی، محمد، و شهیدی، علی. (۱۳۹۶). بررسی تاثیر احداث سد گتوند بر تغییرات سری زمانی پارامترهای کیفی جریان. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳(۳)، ۱۷۵-۱۸۰.

<https://www.magiran.com/p1773496>

خوزستان). نشریه سد و نیروگاه برق آبی ایران، ۶(۲۲)، ۷۵-۸۹.

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.23225882.1398.6.22.7.4>

رباطی، مریم، یاوری، محسن، و فرساد، فروغ. (۱۳۹۷). ارزیابی ریسک زیست محیطی سد مراش با استفاده از روش تصمیم گیری چند شاخصه تلفیقی. نشریه سد و نیروگاه برق آبی ایران، ۵(۱۸)، ۱-۱۳. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.232>

[25882.1397.5.18.5.7](https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.330075.669068)

روزنامه شرق. (۲۹ آذر ۱۴۰۰). کد خبر ۳۰۲۹۴۳، لینک خبر

<https://www.sharghdaily.com/fa/tiny/news-302943>

سعدیان، علی، و شفیع زاده مقدم، حسین. (۱۴۰۰). بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز کرخه در سال های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ با استفاده از پلتفرم گوگل ارث انجین و تصاویر ماهواره ای لندست. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲(۱۰)، ۲۵۶۹-۲۵۸۰.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.330075.669068>

غفاری، سامان، یاسی، مهدی، و فرهودی، جواد. (۱۴۰۱). شبیه سازی تغییرات ریخت شناسی رودخانه در شرایط حذف سد وشمگیر-گرگانرود. مجله علوم و مهندسی آب خیزداری ایران، ۱۶(۵۶)، ۱۲-۲۱. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089>

[554.1401.16.56.2.9](https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.330075.669068)

فاضلی، میثم، و قمی، راحله. (۱۴۰۱). بررسی عددی تخلیه جریان پر رسوب رودخانه در زمان سیلاب از مخزن سدها (مطالعه موردی سد رودبار). نشریه سد و نیروگاه برق آبی ایران، ۸(۳۱)، ۷۴-۸۶. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23225>

[882.1400.8.31.4.3](https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.330075.669068)

کلانتری، خلیل، اسدی، علی، عادل ساردوئی، محسن، و سارا مخت. (۱۴۰۱). بررسی پیامدهای احداث سد آبی بر کشاورزان

# In the Name of Allah



Grantee  
Manager in Charge  
Editor in Chief

Editorial Board



Guiding Council



Advisory Editors



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

## Journal of Water and Sustainable Development



Volume 11, Issue 1 [Serial No. 31], June 2024

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Esmailian, H.** Managing director of Mashhad Water & Wastewater Company

**Nematnejad, M.A.,** Managing director of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

**Mousavi, S. Y.** Secretary of water Think tank at Iran Water Resources Management Company

**Shahnooshi Foroushani, N.** Manager in Charge

**Davary, K.** Editor in Chief

**Noori Esfandiari, A.** Representative of Water Think tank at Iran Water Resources Management Company

**Sajadifar, S.H.** Representative of Country Water and Wastewater Engineering Company

**Kolahi, M.** Ferdowsi University of Mashhad

**Kalaei, G.H.** Representative of Mashhad Water & Wastewater Company

**Ghanbari, F.** Representative of Mashhad Water & Wastewater Company

**Mirgasemi, S.H.** Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

**Barati, R.** Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.

Quchanian, M., Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F., Oskouhi, M.

Talebi Hossein Abad, F. / Shaikhi, M.R.

Quarterly

Ferdowsi University of Mashhad

2423-5474 / 2717-3321

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

Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. P.O.Box: 917751163

Mashhad Water & Wastewater Company

ISC, Agris, CABI, DOAJ, google scholar, SID, Magiran

## Articles in issue:

- **Energy Production and Rainwater Harvesting From the Greenhouse Roof in Bashagard Region**  
M. Zarezadeh, S. Khwarazmi, H. Mansouri
- **Investigating Factors Affecting Changes in Surface and Ground Water Resources Using Satellite Products (Case Study: Kabul-Afghanistan)**  
S. J. Hedayat, M. Ebrahimi-Khusfi, K. Omidvar, M. Sharifi
- **An Evaluation and Critique of Research on the Issues Facing the Kashafrud River, Along with Proposing a Comprehensive Solution**  
R. Salajegheh, S.R. Khodashenas, S.A. Hashemi Monfared, K. Esmaili, F. Modaresi
- **The Impact of Climate Change on Temperature and Precipitation in Afghanistan with Emphasis on the Helmand and Hariroud Basins**  
S. Parsa, A. Zarrin, A. Mofidi, A.A. Dadashi-Roudbari
- **Analyzing the Entrepreneur's Responses to the Water Crisis**  
R. Khorram, V. Makizadeh, H. Mansoori
- **Paradigmatic Pattern of Cultural Resilience in Zayandehrud Water Shortage Crisis**  
M. Raoufi Boroujeni, S. Korangbeheshti, A. Rashidpour
- **Investigation of Flow Hydraulics in Flooded Meandering Rivers under the Effect of Floodplain Width Change**  
M. Naghavi, M. A. Mohammadi
- **A Study on the Internal Erosion of Gap-Graded Soils**  
M. Nazari, A. Maroof, A. Akhtarpour, J. Bolouri Bazaz

