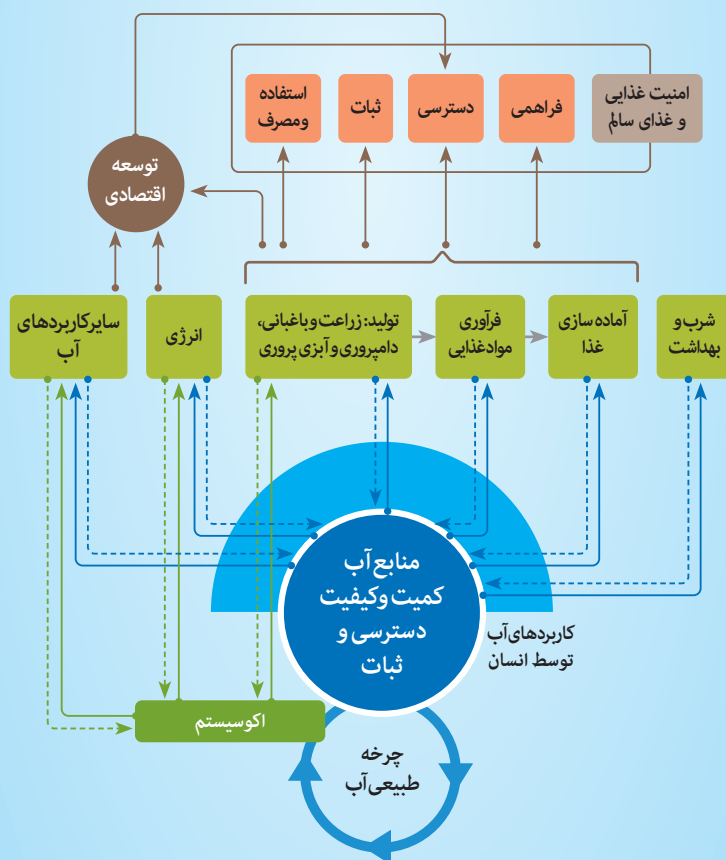


آب و توسعه پایدار

سال هفتم - شماره چهارم (پیاپی ۱۸)
زمستان ۱۳۹۹

آب و امنیت غذایی



فهرست مقالات

- روش تصفیه فاضلاب و نقش آن بر قیمت پساب: مقایسه موردی تصفیه خانه های فاضلاب شماره ۴ و ۵ مشهد

حمید ظفیری کلویی، امیر اکبرزاده، سید محمد تقضلی

- تأثیر مناسبات هیدروپلیتیک بر فرایند ملت سازی: نمونه پژوهی ابرسازه سدرآغون در تاجیکستان

احمد رشیدی نژاد، مراد کاویانی راد، افشین متقی دستنایی

- به کارگیری روش چانه زنی نش نامتقارن جهت تخصیص بهینه منابع آبی مشترک در شرایط ورشکستگی

معین ایران شاهی، صفر معروفی، امید نصیری قیداری

- بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب با رویکرد مبتنی بر نظریه داده بنیاد

عبدالحکیم کلامی، هرمز مهرانی، پرویز سعیدی، ابراهیم عباسی

- بررسی الگوی مصرف آب در مکان عمومی (مطالعه موردی: دانشگاه سیستان و بلوچستان)

فرحناز نارویی مرند، سکینه صفری، محمد گیوه چی

- مقایسه عملکرد دو مدل هیدرولوژی MISDc و HBV در شبیه سازی رواناب حوضه آبخیز کاکارضا

عاطفه امیری، حیات سلیمی

- مروری بر تکنیک های سنجش از دور رطوبت خاک و روش های ریزمقیاس سازی مکانی

الهه غفاری، علیرضا فریدحسینی

- بررسی آزمایشگاهی تأثیر منحرف کننده الگوی جریان بر پس زدگی آب و راندمان نگهداشت واریزه

الهام رستم زاده، محمد مهدی احمدی، مجید رحیم پور

شاپا چاپی ۰۵۷۴-۲۴۲۳

سال هفتم-شماره چهارم (پیاپی ۱۸)-زمستان ۱۳۹۹

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

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سرمدیر

دانشگاه فردوسی مشهد

ناصر شاهنوشی فروشانی / استاد گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

بیژن قهرمان / استاد بازنشسته گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیئت تحریریه

کاظم اسماعیلی / دانشیار 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

کامران داوری / استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

عباسعلی قزل سوفلو / استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

مهدی مفتاح هلقی / دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

شورای سیاست گذاری

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

حسین اسماعیلیان / مدیر عامل شرکت آب و فاضلاب مشهد

محمد علایی / مدیر عامل شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی

سید یحیی موسوی / دبیر اندیشگاه آب شرکت مدیریت منابع آب ایران

ناصر شاهنوشی فروشانی / مدیر مسئول نشریه

بیژن قهرمان / سرمدیر نشریه

مشاوران هیئت تحریریه

انوش نوری اسفندیاری / اندیشکده تدبیر آب ایران

سید حسین سجادی فر / شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

ثمانه توکلی امینیان / شرکت آب و فاضلاب مشهد

غلامرضا کلائی / شرکت آب و فاضلاب مشهد

مهدی کلاهی / دانشگاه فردوسی مشهد

کارشناس اجرایی

ویراستاری

طراحی جلد

ترتیب انتشار / ناشر

شماره شاپا

تارنما / رایانامه

آدرس

حامی مالی

پایگاه های نمایه شده

مهری شاهدی، فاطمه طالبی حسین آباد

مرجان قوچانیان، فاطمه طالبی حسین آباد، مهری شاهدی (فنی و ادبی) / مائده اسکوهی (لاتین)

محمدرضا شیخی

فصلنامه / انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

۲۴۲۳-۵۴۷۴

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

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

شرکت آب و فاضلاب مشهد

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

نشریات کشور (MAGIRAN)



الف	سرمقاله: ناسازگامی امنیت غذایی-آبی در ایران/ حسین انصاری (عضو هیئت تحریریه نشریه)
ت	یادداشت کوتاه: امنیت زیستی، امنیت غذایی اولویت با کدام است؟/ ناصر شاهنوشی (مدیرمسئول نشریه)
۱	روش تصفیه فاضلاب و نقش آن بر قیمت پساب: مقایسه موردی تصفیه خانه های فاضلاب شماره ۴ و ۵ مشهد حمید ظفري كلوخى، امير اكبرزاده، سيد محمد تفضلى
۱۱	تأثير مناسبات هيدروپوليتيك بر فرايند ملت سازی: نمونه پژوهی ابرسازه سد راغون در تاجیکستان احمد رشیدی نژاد، مراد کاویانی راد، افشین متقی دستنایی
۲۱	به کارگیری روش چانه زنی نش نامتقارن جهت تخصیص بهینه منابع آبی مشترک در شرایط ورشکستگی معین ایرانشاهی، صفر معروفی، امید نصیری قیداری
۳۱	بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب با رویکرد مبتنی بر نظریه داده بنیاد عبدالحمیم کلامی، هرمز مهرانى، پرویز سعیدی، ابراهیم عباسی
۴۵	بررسی الگوی مصرف آب در مکان عمومی (مطالعه موردی: دانشگاه سیستان و بلوچستان) فرحناز نارویی مرند، سکینه صفری، محمد گیوه چی
۵۱	مقایسه عملکرد دو مدل هیدرولوژی MISDc و HBV در شبیه سازی رواناب حوضه آبخیز کاکارضا عاطفه امیری، حیات سلیمی
۶۱	مروری بر تکنیک های سنجش از دور رطوبت خاک و روش های ریزمقیاس سازی مکانی الهه غفاری، علیرضا فرید حسینی
۷۳	بررسی آزمایشگاهی تأثیر منحرف کننده الگوی جریان بر پس زدگی آب و راندمان نگهداشت واریزه الهام رستم زاده، محمد مهدی احمدی، مجید رحیم پور
۸۳	یادداشت تحلیلی: اثرات تغییر اقلیم بر تولیدات بخش کشاورزی و امنیت غذایی/ علیرضا اسلامی
۸۸	یادداشت تحلیلی: امنیت غذایی و نا امنی، سامانه غذایی و تغییر اقلیم/ منصوره کوهی
۹۲	مصاحبه: از هر دری .../ کامران داوری (رئیس پژوهشکده آب و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد)



ناسازنمای امنیت غذایی - آبی در ایران

امنیت از ضروری‌ترین نیازهای یک جامعه و از بنیادی‌ترین حقوق بشری است که در گفتمان ملی کشورها به تأمین، تضمین، آسودگی و آسایش خاطر، نظر دارد. امنیت از نظر ملی، بین‌المللی و فردی دارای شقوق بسیاری است. عناصر اصلی که تقریباً در تمام شقوق امنیت قابل توجه است، ارزش‌ها، خطرات و تهدیدات است؛ عناصری که امروزه در حوزه تأمین نیازهای غذایی و تقاضاهای آبی بشر به روشنی قابل مشاهده است. در حوزه امنیت ملی و عمومی و خصوصاً برای کشورهای در حال توسعه و واقع در کمربند خشک دنیا، شاید بتوان امنیت غذایی و امنیت آبی را جزو مهمترین گونه امنیت به حساب آورد. دو گونه مهم امنیتی که از سال‌های دور و از اوایل دهه ۸۰ میلادی مورد توجه و تأکید اکثر سازمان‌های مهم بین‌المللی فعال در حوزه آب و غذا بوده است. مفاهیم امنیت غذایی و امنیت آبی به مانند بسیاری مفاهیم دیگر در حوزه تولید و تأمین غذا و مدیریت آب، دیرپا به حساب نمی‌آیند و در دهه‌های اخیر مورد توجه سازمان و نهادهای بین‌المللی زیادی از جمله: سازمان ملل، سازمان خواروبار جهانی (FAO)، سازمان مشارکت جهانی آب (GWP)، انجمن اقتصاد جهانی (WEF)، انجمن آبی آسیا-اقیانوسیه (APWF)، آژانس توسعه بین‌المللی ایالات متحده (USAID)، موسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI)، موسسه بین‌المللی تحقیقات سیاست‌گذاری غذا (IFPRI) و ... قرار گرفته است.

امنیت غذایی عبارت است از توانمندی یک کشور در تأمین مواد غذایی سالم و کافی برای جامعه، به گونه‌ای که همه افراد جامعه بتوانند به راحتی به غذا دسترسی داشته باشند. امنیت غذایی بنا بر تعریف سازمان ملل عبارت است از دسترسی همه مردم به غذای کافی در تمام اوقات برای داشتن یک جسم سالم که سه عنصر مهم آن، «موجود بودن غذا»، «دسترسی به غذا» و «ثبات در دریافت غذا» است. دستیابی به امنیت غذایی با تلاش برای خودکفایی غذایی از طریق تولید و تأمین مواد غذایی از منابع داخلی و واردات محصولات کشاورزی، بدون تمرکز بر مکان یا محل و نوع تولید و تأمین مستمر با رعایت عدالت در توزیع و فراهم‌آوری تغذیه سالم، میسر می‌باشد. امنیت آبی، پلی است که شبکه تأمین غذا، انرژی، رشد اقتصادی و اجتماعی، چالش‌های زیست‌محیطی و چالش‌های امنیت انسانی را که در حال حاضر و در دهه آتی، جهان با آن رو به رو است، به هم مرتبط می‌سازد. امنیت آبی زمانی محقق می‌شود که

نیازهای اساسی انسان، تأمین غذای مورد نیاز، حفاظت از اکوسیستم، تخصیص منابع آب‌های مشترک، مدیریت مخاطرات، ارزش‌گذاری منابع آب و مدیریت عقلایی و هوشمندانه منابع آب را، در بر گرفته باشد. در تعریف دیگر، امنیت آبی زمانی محقق می‌شود که دسترسی به آب به لحاظ بهداشتی، معیشتی، اکوسیستمی و تولید محصولات کشاورزی با کمیت و کیفیت مطلوب، مهیا باشد و اثر مخاطرات و تهدیدات آبی در ارتباط با مردم، محیط‌زیست و اقتصاد نیز مدیریت شود. سازمان ملل هم امنیت آبی را به معنای ظرفیت‌های جامعه در دسترسی پایدار به مقدار آب مورد نیاز و کافی با سطح کیفیت مطلوب برای تداوم امر معاش، رفاه و توسعه اقتصادی-اجتماعی با حصول اطمینان از توانایی مقابله با مخاطرات آبی و نیز حفاظت از زیست‌بوم‌ها در شرایطی که صلح و ثبات سیاسی برقرار باشد، تعریف کرده است، مفاهیم مذکور از جهاتی بسیار، با مفهوم توسعه پایدار در هم آمیخته و لذا توسعه پایدار مستلزم تحقق امنیت آبی است، زیرا که در این شرایط، به صورت مستمر و پایدار، نباید آسیبی به محیط‌زیست و منابع غیرقابل تجدید آب وارد شود و نباید تغذیه سالم و امرار معاش دچار تهدید شود و نهایتاً جامعه باید از آسیب تهدیدات و مخاطرات فقدان امنیت آبی مصون بماند.

از زمانی که به یکباره و تنها در طول مدت دو سده، جمعیت دنیا رو به ازدیاد گذاشت و افزایش حدود ۵ میلیارد نفری را تجربه کرد و از اوایل دهه ۷۰ میلادی که برخی کشورهای دنیا خودکفایی در تأمین غذا را از دست داده و با خطرات و تهدیدات جدی در حوزه امنیت داخلی مواجه شدند، امنیت غذایی جزو موضوعات روز دنیا و از اصلی‌ترین دغدغه‌های کارشناسان، محققان و دولتمردان قرار گرفت. همزمان با افزایش نیاز به تأمین مواد غذایی طی کمتر از یک سده، مساحت اراضی تحت آبیاری جهان از ۴۸ میلیون هکتار در سال ۱۹۰۰ به ۹۴ میلیون هکتار در سال ۱۹۵۰ و به حدود ۲۷۰ میلیون هکتار در سال ۲۰۰۳ رسید. این توسعه افسارگسیخته‌ی ضروری، عملاً حدود ۴۰ درصد غذای مردم جهان را تأمین کرد. این در حالیست که تأمین غذا از اراضی تحت آبیاری در کشورهایی مثل ایران و پاکستان به بالای ۹۰ درصد رسیده و موجب شده تا ایران بالاترین سرانه سطح زیرکشت آبی در بین کشورهایی با بیشترین مالکین اراضی تحت کشت آبی، را دارا باشد.

وابستگی به تأمین غذا از اراضی تحت آبیاری، ارتقای سطح رفاه اجتماعی و به تبع آن افزایش مصرف آب در بخش‌های صنعتی، خدماتی و بهداشتی، تغییر اقلیم، نیاز به تخصیص حق‌آبه زیست‌محیطی و حفظ منابع طبیعی مجموعاً تقاضا برای برداشت منابع آبی را افزایش داده است؛ به نحوی که برداشت آب از منابع آبی جهان از ۵۰۰ کیلومترمکعب در سال ۱۹۰۰ به حدود ۴۰۰۰ مترمکعب در سال ۲۰۰۰ میلادی رسیده و مصرف آب دنیا در یک سده اخیر ۶ برابر یعنی دو برابر رشد جمعیت دنیا، رشد داشته و بخش کشاورزی نیز ۷۰ درصد برداشت از منابع آب شیرین را به خود اختصاص داده

است. در ایران نیز مصرف آب در بخش کشاورزی در یک سده اخیر بطور چشمگیری رشد یافته به نحوی که در طول ۴۰ سال (۱۳۴۰ تا ۱۳۸۰ شمسی) دو برابر ارتقا یافته و حدود ۸۸ میلیارد مترمکعب از ۹۶ میلیارد مترمکعب آب برداشت شده از منابع آب به بخش کشاورزی تخصیص یافته است.

مضمون اصلی نوشتار فوق، تصویر ناسازگاری یا همان پارادکس امنیت غذایی-آبی در ایران می باشد. اگر حکومت، سیاست‌ها، تصمیم‌ها، راهبردها و اهداف خود در افق چشم انداز کشور و برنامه توسعه اقتصادی و اجتماعی را به سمت حفظ ارزش‌ها، کاهش خطرات و تهدیدات در حوزه تأمین غذا و تغذیه سالم بدون توجه به امنیت پایدار آبی سوق دهد، خطرات و تهدیداتی بس بزرگتر و فراتر در حوزه تأمین آب و حفاظت محیط زیست و طبیعت، گریبان‌گیر کشور خواهد شد که تا کنون هم بخشی از این خطرات و تهدیدات بروز کرده و به امنیت غذایی-آبی پایدار کشور خدشه وارد شده است. لازم به ذکر است که تخریب محیط زیست از دو جنبه با توسعه خطرات و تهدیدات در حوزه امنیت غذایی در ارتباط است؛ از یک سو با محدود شدن سید تولید محصولات غذایی، تأمین مواد غذایی و تغذیه سالم با چالش مواجه شده و از سوی دیگر، مشکلاتی مانند کاهش کیفیت منابع آب، شور شدن اراضی و افت کیفیت آن، فرسایش خاک، انتشار گازهای گلخانه‌ای و از بین رفتن تنوع زیست‌محیطی را به همراه دارد. ضرورت «حفاظت محیط زیست و طبیعت با تأکید بر حفظ کمیت و کیفیت منابع آب یا همان امنیت غذایی-آبی» به عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار کشور بوده اما ناسازگاری مورد تأکید به راحتی امکان دستیابی به سطح بالای امنیت ملی و پایداری در توسعه را میسر نخواهد ساخت مگر اینکه برای تبیین چالش‌ها و اتخاذ سیاست‌ها و تصمیمات درست، معقول و منطقی، تغییرات اساسی و بنیادین صورت گیرد. هرچند که زمان بسیار دیر است و ناپایداری در حوزه آبی و رسیدن به امنیت آبی تقریباً غیرقابل تصور است، اما جلوگیری از تشدید خطرات و تهدیدات نیازمند تسریع در تغییر رویکردهاست.

یکی از عمده‌ترین و اصلی‌ترین سیاست‌ها و راهبردهای اتخاذ شده در چهل ساله گذشته و در دوران پس از انقلاب اسلامی، توجه به معیشت مردم و تدوین سیاست امنیت غذایی بوده، به نحوی که به کرات در برنامه‌های توسعه اول تا ششم بدان پرداخته شده است.

اما توجه سطحی به موضوع امنیت غذایی از یک سو و از سوی دیگر ارایه تعاریف دم‌دستی و مبتنی بر تولید صرف، همچنین، عدم توجه به امنیت آبی و ناسازگاری موجود بین تولید غذا و تخریب محیط‌زیست و تشدید کم‌آبی، و نیز ارایه راهکارها و سیاست‌های اجرایی نادرست که بخش عمده آن را می‌توان در تعدد سازمانهای تصمیم‌گیر، تعدد سازمان‌های مجری، تناقض قوانین و دستورالعمل‌ها، عدم بازنگری مواد و مفاد سند ملی آب برای بیش از پنج دهه مشاهده نمود. به علاوه در چهار دهه اخیر، ایران نیز همگام با دیگر کشورها، پروژه‌های توسعه‌ای سازه‌محور آبی از طریق مداخلات طبیعی و زیست‌محیطی در منابع آب سطحی و توسعه کشاورزی فاریاب و به تبع آن اضافه برداشت از آب‌های زیرزمینی با هدف خودکفایی کشاورزی و به منظور جلوگیری از فقر ناشی از کمبود غذا و تورم قیمت مواد غذایی و افزایش اشتغال بخش کشاورزی به مرحله اجرا درآمده که نتیجه آن تشدید ناسازگاری امنیت غذایی-آبی و تشدید مخاطرات و تهدیدات محیط‌زیستی بوده است.

برای دستیابی به اهداف امنیت پایدار غذایی-آبی و در نتیجه امنیت پایدار ملی، می‌توان بر گفتگو و اجماع نخبگانی تکیه کرد. باید سیاست‌ها و تصمیمات درست و نادرست گذشته در حوزه کشاورزی، مدیریت منابع آب، حفظ محیط‌زیست و منابع طبیعی، قوانین و دستورالعمل‌های مرتبط با وجود و کارکرد سازمان‌های اجرایی کشور از جمله وزارت جهاد کشاورزی، وزارت نیرو، سازمان محیط زیست، شورای عالی آب، مورد مذاقه و ارزیابی جدی قرار گیرد. باید مکانیزم‌های حکمرانی آب، کشاورزی، حفاظت محیط زیست و منابع طبیعی، سیاست داخلی و خارجی (در جهت حل تعارضات محلی تولید محصولات غذایی، تعارضات اجتماعی، تبیین سیاست‌های کلان صادرات و واردات مواد غذایی، مبادله آب مجازی بین مرزهای داخلی و خارجی، مدیریت منازعات منابع آب محلی و مرزی، مدیریت اثرات سوء تغییر اقلیمی) و برنامه‌های توسعه اقتصادی (در جهت توانمندسازی جوامع بومی و احیای دانش بومی، توسعه سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی، بخش آب و آبیاری، توسعه آموزش مرتبط با مدیریت سبب غذایی و تغییر ذائقه غذایی، حمل و نقل، انبارداری توسعه بخش روستایی، شیلات، ماهیگیری و تولید آبزیان و همچنین تولیدات و بهداشت دام و دامپروری، توسعه اشتغال مبتنی بر کاهش برداشت و مصرف آب)، بازبینی و بازنگری اساسی شود.



امنیت زیستی، امنیت غذایی اولویت با کدام است؟

از نیمه دوم قرن بیستم امنیت غذایی یکی از موضوعاتی بوده که در ذیل توسعه اقتصادی کشورها مطرح شده است. طی این مدت تعاریف زیادی از امنیت غذایی ارائه شده است. ساده‌ترین تعریف که حتی تا اواخر قرن بیستم مورد پذیرش بوده، عبارت است از امکان تأمین حداقل پروتئین و کالری مورد نیاز هر فرد در یک شبانه‌روز؛ ولی عملاً از قرن ۲۱ به بعد این تعریف مبنای تحلیل در مورد امنیت غذای نمی‌باشد و تأمین نیازهای اساسی افراد بر اساس درآمدهای باثباتی که به شیوه سالم و درست حاصل می‌شود، ملاک میزان تحقق امنیت غذا در هر کشور است. ولی قطعاً آنچه که رکن امنیت غذایی است، تأمین نیازهای اساسی انسان‌های ساکن در این کره خاکی است که به طور کلی در برگیرنده تولیدات حاصل از فعالیت‌های کشاورزی است. علیرغم رشد روز افزون جمعیت در قرن بیستم، با استفاده از اشکال مختلف پیشرفت‌های حوزه تکنولوژی از تولید بذر گرفته تا استفاده سموم دفع آفات، کودهای شیمیایی، بکارگیری روز افزون مکانیزاسیون، امکان تغییر ژنتیکی در گیاهان، تولید محصولات تراریخته و ده‌ها مصداق دیگر از پیشرفت‌های تکنولوژیکی و البته فشار بسیار شدید بر منابع پایه، تولید محصولات کشاورزی نیز رشد روزافزونی داشته است. اگرچه اخیراً این رشد کند شده و برخی برآوردها هم حکایت از روند نزولی رشد تولید محصولات کشاورزی در سال‌های آینده دارد. بدون شک این رشد روزافزون دستاورد بزرگی برای جامعه بشری بوده است. البته بخش زیادی از این رشد در کشورهایی محقق شده که همزمان از مواهب طبیعی و پیشرفت تکنولوژی برخوردار بوده‌اند و به نوعی منافع آن به اشکال مختلف به تمام کشورهای جهان سرایت کرده است. به همین دلیل در چند دهه گذشته درصد سوء تغذیه جمعیت جهان کاهش محسوس یافته، همچنان که درصد فقر مطلق جوامع بشری به دلیل رشد اقتصادی جهان کاهش داشته است. هرچند به دلیل افزایش نابرابری، فقر نسبی افزایش یافته است. بنابراین اگرچه امنیت غذایی جوامع بشری موضوع بسیار مهمی می‌باشد، ولی مانع اساسی برای دستیابی به آن وجود نداشته است. آنچه که از ظرفیت زیادی برای ایجاد بحران در جوامع بشری برخوردار می‌باشد، از دست رفتن امنیت زیستی است. اگرچه به طور خاص امنیت زیستی به مفهوم حفظ گونه‌های جانوری و گیاهی است، ولی با کمی اغماض و با نگاهی عام، می‌توان گفت امنیت زیستی حفظ اکوسیستم طبیعی است. از اوایل قرن نوزدهم امنیت زیستی جوامع بشری در معرض تهدید قرار گرفته و اگرچه در ابتدا این تهدید خیلی محسوس نبوده است، ولی از اواسط قرن بیستم تا کنون این تهدید جدی بوده، اگرچه در برابر آن واکنش مناسب داده نشده است. بدون شک تغییرات اقلیمی یکی از آثار آسیب به امنیت زیستی است که به دنبال خود کاهش شدید ظرفیت زیستی

را به همراه دارد. طی چند دهه گذشته به اشکال مختلف و در ابعاد متنوع، اکوسیستم طبیعی با آسیب‌های زیادی مواجه شده است. افزایش جمعیت و تأمین نیازهای این جمعیت از جنبه‌های مختلف موجب تشدید آسیب‌های زیست‌محیطی شده و امنیت زیستی جوامع بشری، به ویژه کشورهایی را که اکوسیستم طبیعی آنها آستانه شکنندگی بالایی دارد، به طور جدی تهدید کرده است. برآوردها نشان می‌دهد جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ حداقل از هفت و نیم میلیارد فعلی به ۹ میلیارد افزایش می‌یابد که بیش از ۷۰ درصد آن، جمعیت شهری خواهند بود. این جمعیت علاوه بر نیاز به مواد غذایی، نیازمند سایر امکانات بهداشتی و خدماتی برای برخورداری از استانداردهای لازم زندگی است. از طرف دیگر باید برای این جمعیت در درجه اول اشتغال ایجاد کرد. این ایجاد اشتغال در صورتی محقق می‌شود که رشد اقتصادی تداوم یابد. با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژی، مهم‌ترین بخشی که از ظرفیت لازم برای ایجاد این رشد برخوردار است، بخش خدمات به ویژه حوزه گردشگری است. گردشگری در وضعیت فعلی نیز یکی از عوامل موثر در آسیب به اکوسیستم طبیعی است. به بیان دیگر در شرایط موجود، رشد اقتصادی کشورها منوط به آسیب به امنیت زیستی است که در حال حاضر با تهدید جدی مواجه می‌باشد. شاخص‌های مربوط به امنیت زیستی به مفهوم عام در دهه‌های گذشته به طور محسوس منفی شده است. از بین رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری، آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی، کاهش منابع آب شیرین، آلودگی هوا، گرمایش زمین، تشدید تخریب جنگل‌ها و زیست‌بوم‌های طبیعی و تغییرات اقلیمی و ده‌ها شاخص دیگر در حوزه امنیت زیستی که با آسیب جدی مواجه شده‌اند، حکایت از آن می‌کند که تعریف ما از مفهوم رفاه باید تغییر یابد. به طور معمول رشد اقتصادی که ناشی از تغییر تولید ناخالص ملی هر کشوری است، یکی از معیارهای اصلی رفاه جوامع بشری محسوب می‌شود. این رشد به قیمت آسیب جدی به اکوسیستم طبیعی همراه بوده است. این، تناقض آشکار با مفهوم رفاه واقعی دارد. بدون شک ارتقاء شاخص‌های امنیت زیستی عامل موثری در برخورداری یک زندگی رضایت‌بخش توأم با رفاه است. امکان استفاده از زیست‌بوم‌های طبیعی، دسترسی به آب‌های غیرآلوده و بهداشتی و شیرین، برخورداری از هوای پاک و ده‌ها مواهب زیست‌محیطی، شاخص‌های بسیار موثری در ارتقاء کیفیت زندگی و سطح رفاه جوامع بشری محسوب می‌شود که تاکنون به دلیل سهولت دسترسی، از منافع آن‌ها غافل بوده‌ایم. باید بپذیریم با روندی که بر رفتار اقتصادی جوامع بشری حاکم است، مواهب زیست‌محیطی کمیاب شده است. بدون شک تعریف ما از رفاه باید تغییر کند و دستیابی به رشد اقتصادی به هر شکل ممکن را هدف دستیابی به توسعه اقتصادی تلقی نکنیم. اینکه رشد اقتصادی را چگونه بدست می‌آوریم، موضوع بسیار مهمی است. باید داشتن یکی زندگی شاداب برای مردم به عنوان شاخص اصلی رفاه، به شکل یک سیاست راهبردی در همه کشورها به طور جدی مورد توجه قرار گیرد که لازمه تحقق آن، برخورداری از امنیت زیستی است. بدون شک امنیت غذایی پایدار هم در آینده بدون داشتن امنیت زیستی ممکن نخواهد بود. کلام آخر آنکه هر گونه رشدی در کشورها از جمله رشد اقتصادی و رشد جمعیت باید در ذیل وجود و تضمین امنیت زیستی کشورها تعریف شود.

Article Type: Technical paper

نوع مقاله: فنی و ترویجی

Sewage Treatment Method and its Role on Wastewater Price: Case Comparison of Sewage Treatment Plants No. 4 and 5 in Mashhad

H. Zafari Koloukhi^{1*}, A. Akbarzadeh², S.M. Tafazzoli³

1- MSc of Mechanical Engineering, University of Tehran, Iran. 2,3- PhD student of Electrical Engineering & PhD student of Environmental Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: zafarih@abfamashhad.net)

Received: 01-04-2020

Accepted: 16-09-2020

روش تصفیه فاضلاب و نقش آن بر قیمت پساب: مقایسه موردی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شماره ۴ و ۵ مشهد

حمید ظفری کلوخی^{۱*}، امیر اکبرزاده^۲، سید محمد تفضلی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، مکانیک، دانشگاه تهران، ایران. ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری برق-الکترونیک و دانشجوی دکتری عمران-محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

*(نویسنده مسئول، E.mail: zafarih@abfamashhad.ir)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۶

Abstract

With the development of industries and agriculture, the issue of water supply and the consequent challenge of sewage is becoming increasingly important. Water recycling and the use of treated sewage is the most desirable option for water supply. Considering the operating costs of modern sewage treatment plants, the economic aspect of the issue should be considered in order to provide treatment costs in addition to the desire of wastewater consumers. In Mashhad, before 2016, all existing sewage treatment plants were stabilized by the traditional method and their treatment costs were not significant. Therefore, most of the sewage received income was spent on developing the sewage collection network. But in 2016, with the opening of two modern treatment plants in Mashhad, with a capacity of 60,000 and 65,000 cubic meters per day, each of which can bring the quality of effluent to standards of discharge to surface water, the issue of sewage price and the total treatment price of each cubic meter of sewage become important. Also, by imposing penalties based on quality parameters, certain subscribers such as restaurants and hoteliers can be directed to pre-treatment before evacuation to the network. In this article, based on the extracted results during one year of operation of these two treatment plants, comparisons have been made in terms of construction costs, operation, consumables, personnel and finally the output of both treatment plants which should introduce the advantages and disadvantages of both methods in terms of ease of operation and economic efficiency and in the construction of treatment plants, the type of treatment method should be selected with more awareness.

Keywords: Wastewater Price, Sewage Treatment, Operating Cost.

چکیده

با گسترش صنایع و کشاورزی، موضوع تأمین آب و به دنبال آن چالش فاضلاب اهمیت خود را بیش از پیش نمایان می‌سازد. مطلوب‌ترین گزینه جهت تأمین نیاز آبی، بازچرخانی آب و استفاده از فاضلاب تصفیه شده است. با توجه به هزینه‌های بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مدرن باید جنبه اقتصادی موضوع مدنظر قرار گیرد تا ضمن رغبت مصرف‌کنندگان پساب، هزینه‌های تصفیه نیز تأمین شود. در شهر مشهد تا قبل از سال ۱۳۹۵ تصفیه‌خانه‌های فاضلاب موجود همگی به روش برکه تثبیت بود و هزینه‌های تصفیه آنها چشم‌گیر نبود. بنابراین بیشتر درآمد دریافتی فاضلاب صرف توسعه شبکه جمع‌آوری فاضلاب میشد. اما در سال ۱۳۹۵ با افتتاح دو تصفیه‌خانه مدرن در شهر مشهد با ظرفیت‌های ۶۰ هزار و ۶۵ هزار متر مکعب در شبانه روز که هر یک می‌توانند کیفیت پساب خروجی را به استانداردهای تخلیه به آب‌های سطحی برسانند، بحث فاضلاب بها و قیمت تمام شده تصفیه هر مترمکعب از فاضلاب اهمیت پیدا کرد. همچنین می‌توان با اعمال جریمه‌هایی مبتنی بر پارامترهای کیفی، مشترکین خاص مانند رستوران‌ها و هتل‌داران را به سمت انجام پیش تصفیه قبل از تخلیه به شبکه سوق داد. در این مقاله سعی شده است براساس نتایج استخراج شده در طول یک سال بهره‌برداری از این دو تصفیه‌خانه مقایسه‌هایی در زمینه هزینه‌های ساخت، بهره‌برداری، مواد مصرفی، نیروی پرسنلی و در نهایت خروجی هر دو تصفیه‌خانه انجام شود، تا مزایا و معایب هر دو روش از لحاظ سهولت بهره‌برداری و صرفه اقتصادی معرفی شود و در احداث تصفیه‌خانه‌ها با آگاهی بیشتری نوع روش تصفیه انتخاب شود. **واژه‌های کلیدی:** قیمت پساب، تصفیه فاضلاب، هزینه بهره‌برداری.

در سال‌های اخیر به دلیل رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی، صنعت و کشاورزی، مصرف سرانه آب و به تبع آن تولید فاضلاب افزایش چشمگیری داشته است به همین دلیل استفاده از فاضلاب تصفیه شده به عنوان یک منبع آب پایدار بیش از پیش مورد توجه مدیران صنعت آب و فاضلاب کشور قرار گرفته است. براساس صورت‌های عملکردی شرکت آب و فاضلاب مشهد به طور میانگین آب و به تبع آن فاضلاب حدود ۵۰ درصد ارزان‌تر به فروش می‌رسد و این باعث می‌شود موضوع تعمیر و نگهداری، تعمیرات پیشگیرانه و مباحث مربوط به بهره‌برداری جهت تصفیه و تولید آب و پساب که در تمام شرکت‌های خدماتی دنیا از محل تعرفه‌ها برقرار و تأمین می‌شود، در ایران دچار خلاء باشد و چالش اساسی برای وزارت نیرو و شرکت‌های آبفا ایجاد کند.

لذا یکی از مهمترین مسائل مؤثر در اقتصاد آب و فاضلاب، تعیین صحیح بهای تمام شده آن است، این متغیر به دلیل موقعیت اقلیمی و کمبود منابع آب در کشور ایران، اهمیت ویژه‌ای دارد (خشائی و داودآبادی، ۱۳۸۷). با توجه به اهمیت آب و فاضلاب با حیات عمومی جامعه، بهداشت و محیط‌زیست، تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب با مدیریت جدید به عنوان بنگاه‌های اقتصادی با استقلال مالی توسط دولت صورت گرفته است. از آنجایی که تولید آب و خدمات فاضلاب و در کل، فعالیت‌های این شرکت‌ها ارزش اجتماعی دارد و دولت‌ها در امور اجتماعی اعمال حاکمیت می‌کنند، بنابراین قیمت‌گذاری کالا و خدمات در صنعت آب و فاضلاب توسط دولت با توجه به سیاست‌های حمایتی از اقشار مختلف جامعه انجام می‌شود. این سیاست موجب می‌شود شرکت‌ها از هدف اصلی و نهایی که حداکثر سود است فاصله بگیرند. زیرا قیمت‌های از پیش تعیین شده موجب می‌شود، شرکت‌ها به فعالیت‌ها و فرآیندهای داخلی توجه نموده و با کاهش و کنترل هزینه به سودآوری امیدوار باشند از این‌رو همواره شرکت‌های آب و فاضلاب شرکت‌های زیان‌دهی محسوب می‌شوند. بنابراین با توجه به محدودیت‌هایی که دولت در زمینه تخصیص منابع مالی جهت انجام پروژه‌های عمرانی دارد سیاست‌های سابق تغییر کرده و طی بخشنامه‌های ابلاغی جدید تمام شرکت‌های آب و فاضلاب می‌توانند بخشی از پساب حاصل (بین ۵۰ تا ۸۰ درصد) را به عنوان عایدی در اختیار گیرند و با واگذاری آن به سرمایه‌گذاران به صورت خرید متقابل یا BOT هزینه ساخت و بهره‌برداری پروژه حاصل شود. برای این منظور باید قیمت حداقل وجود داشته باشد تا مدل‌های مالی بسته شده جوابگوی هزینه‌های انجام و بهره‌برداری شبکه و غیره را شامل شود.

دری و همکاران (۱۳۹۸) و Hernández-Sancho و همکاران (۲۰۱۰) برای تعیین قیمت بها آب و تعیین زیان‌های ناشی از

عدم استفاده از پساب و یا فاضلاب آلوده مطالعاتی انجام دادند همچنین می‌توان الماسی و همکاران (۱۳۹۶) و صبور و کمالان، (۱۳۸۳) مطالعاتی در خصوص بررسی انواع روش‌های تصفیه فاضلاب با نگرش اقتصادی انجام دادند.

در این مقاله سعی شده است در مرحله اول هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه در دو تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب و التیمور محاسبه و کلیه پارامترهای مؤثر بر هزینه‌های بهره‌برداری در دو تصفیه‌خانه فاضلاب مورد اشاره جمع‌آوری و مقایسه شوند و در مرحله دوم با توجه به هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و بهره‌برداری قیمت تمام شده تصفیه فاضلاب برای هر دو فناوری محاسبه شود. نکته مورد اهمیت در این نوشتار به روز بودن فناوری‌های استفاده شده در تصفیه‌خانه‌های مورد بررسی و تبدیل هزینه‌ها به ارز متعارف است، بنابراین دیدی درست از روش‌ها و میزان سرمایه‌گذاری و همچنین تعمیر و نگهداری و ساخت تصفیه‌خانه‌ها به دست می‌آید. این برآورد می‌تواند در پیشبرد پروژه‌هایی که به صورت سرمایه‌گذاری در شرکت‌های آب و فاضلاب در جریان هستند، روش‌های کاربردی ارائه دهد.

مقدار بار آلودگی فاضلاب بر هزینه‌های بهره‌برداری جهت به دست آمدن پساب با کیفیت اثر مستقیم دارد. بنابراین باید عوامل آلودگی به تفکیک میزان اهمیت بررسی شوند و تابع حاصل براساس تعرفه‌های شرکت مهندسی نرمالیزه شود. در نهایت با دستیابی به یک رابطه مشخص می‌توان هزینه‌های ناشی از وجود بار آلودگی بیش از حد مجاز را برآورد نمود و به نسبت میزان افزایش قیمت تمام شده، جریمه محاسبه شود تا مشترکین خاص به سمت پیش تصفیه سوق پیدا کنند. همچنین تجاوز از بار آلودگی مجاز فاضلاب می‌تواند منجر به کاهش کیفیت پساب خروجی و تحمیل جرائم از سوی نهادهای مسئول شود که این پارامتر باید در محاسبه جرائم لحاظ شود. به طور خلاصه رویکرد برآورد قیمت و جریمه به صورت ذیل خواهد بود:

قیمت تمام شده تصفیه فاضلاب: P

عوامل تعیین کننده در آلودگی پساب:

COD: میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (شاخصی برای میزان آلودگی فاضلاب که شامل مواد تجزیه پذیر بیولوژیکی هم می‌شود)
BOD: میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی (شاخصی برای میزان آلودگی‌هایی که به صورت بیولوژیکی قابل تصفیه هستند)
EC: هدایت الکتریکی (معرف میزان جامدات محلول)
TN: کل مواد نیتراژ

pH: معرف میزان اسیدی یا قلیایی بودن فاضلاب

حد مجاز برای آلودگی که با قیمت تعیین شده سازگار باشد:

$$P = X(\text{COD}, \text{TN}, \text{pH}, \text{EC}, \text{BOD})$$

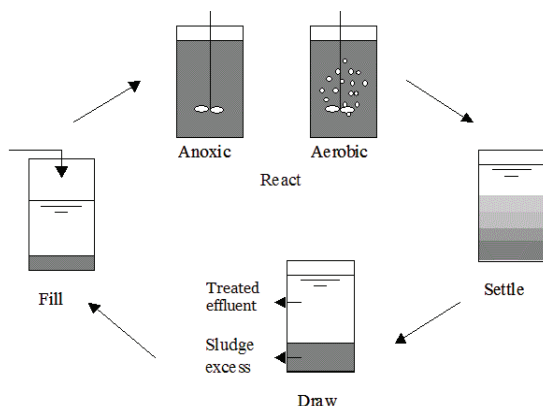
تابع جریمه که باید براساس میزان انحراف هر یک از عوامل

تعیین کننده از مقدار مجاز محاسبه شود: D

جریمه‌های زیست محیطی نیز باید به تابع هزینه اضافه شود: EP

• فرآیند تصفیه خانه فاضلاب التیمور (MLE)^۱

این سیستم یکی از متداول ترین روش های تصفیه بیولوژیکی فاضلاب با حذف نیتروژن می باشد. در روش MLE، راکتور بیولوژیک شامل دو بخش انوکسیک و هوازی می باشد که در بخش انوکسیک، دنتریفیکاسیون بیولوژیکی و در بخش هوازی همراه با حذف BOD، عمل نیتریفیکاسیون اتفاق می افتد. در این سیستم یک خط برگشت مایع مخلوط از تانک هوادهی به واحد انوکسیک وجود دارد و موجب افزایش دنتریفیکاسیون و در نهایت افزایش راندمان حذف نیتروژن می شود. فرآیند MLE برای استفاده از نیترات تولید شده توسط ناحیه هوادهی به عنوان یک منبع اکسیژن برای باکتری های اختیاری در مخزن انوکسیک طراحی شده است. فرآیند اولیه در مراحل تصفیه، در مخزن انوکسیک صورت می گیرد، جایی که فاضلاب ورودی، لجن برگشتی از ته نشینی ثانویه و مایع مخلوط غنی از نیترات پمپ شده از انتهای تانک های هوادهی، با یکدیگر مخلوط می شوند. فاضلاب ورودی به عنوان منبع کربن برای باکتری ها، لجن برگشتی از زلال ساز میکروارگانیسم ها را فراهم می کند و جریان پمپ های برگشتی از تانک های MLE هوادهی نیترات را به عنوان منبع اکسیژن فراهم می کند. در شکل (۱) به صورت شماتیک روند فرآیند MLE و مسیرهای جریان نمایش داده شده است (موسوی، ۱۳۸۸).



شکل ۲- فازهای معمول در یک راکتور در تصفیه خانه ASBR

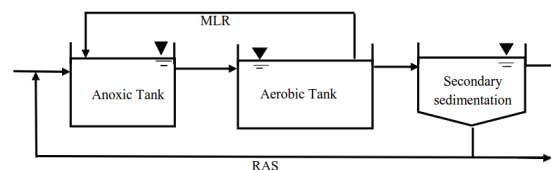
فرضیات مسأله

خروجی هر دو تصفیه خانه با پایداری مناسبی به مشخصات کیفی قابل تخلیه به آب های سطحی می رسند که این مشخصات در جدول ذیل ارائه شده است:

جدول ۱- مشخصات فاضلاب ورودی و خروجی
(دفتر نظام فنی اجرایی، ۱۳۹۴)

پارامتر	مقدار ورودی	مقدار خروجی
COD	۷۵۰-۸۰۰	۶۰
BOD	۴۰۰	۳۰
TSS	۴۵۰	۴۰
TP	۹	۶
TN	۸۰	۱۴
NH ₄	۴۳	۲,۵

نشان و مدل دستگاه و تجهیزات استفاده شده در هر دو تصفیه خانه مشابه و از مدل های معتبر اروپای غربی استفاده شده است. بهره برداری از هر دو تصفیه خانه زیر نظر شرکت آب و فاضلاب مشهد و با دقت انجام گرفت. دبی فاضلاب برای تصفیه خانه خین عرب ۶۰ هزار مترمکعب در شبانه روز و برای تصفیه خانه التیمور ۶۵ هزار مترمکعب در شبانه روز است. جهت یکسان سازی قیمت ها و قابل استفاده بودن روابط به دست آمده کلیه هزینه ها براساس نرخ یورو و قیمت اعلام شده توسط بانک مرکزی برای یورو محاسبه شد.



شکل ۱- نمودار شماتیک فرآیند MLE

• فرآیند تصفیه خانه فاضلاب خین عرب (ASBR)^۲

روش تصفیه در تصفیه خانه فاضلاب شماره ۵ مشهد به روش راکتور ناپیوسته متوالی پیشرفته است و می توان آن را یک تانک نگهداری توصیف کرد که یک مقدار مشخص از فاضلاب را برای تصفیه دریافت و پس از تصفیه، بخشی از آن تخلیه و مقدار بعدی دریافت، تصفیه و مجدداً تخلیه می شود و این کار به صورت متناوب انجام می شود.

در تصفیه خانه خین عرب مشهد ۱۲ راکتور مستقل وجود دارد و به صورت پیوسته عمل می کنند، بنابراین چون در این تصفیه خانه راکتور ناپیوسته با جریان پیوسته کار می کنند، فاضلاب همیشه به راکتور وارد می شود. از طرفی راکتور با یک تیغه به نام بافل ۳ به دو محوطه تقسیم شده است، منطقه کوچکتر یا منطقه پیش واکنش فاضلاب ورودی را دریافت کرده و از آن فاضلاب به آرامی وارد منطقه بزرگتر یا منطقه اصلی واکنش می شود. ناحیه پیش واکنش به صورت یک انتخاب کننده بیولوژیکی عمل کرده که رشد ریزاندامگان های توده ای را افزایش و رشد ریزاندامگان های رشته ای

• هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه

هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه شامل هزینه‌های ساختمانی و هزینه‌های خرید و نصب تجهیزات الکترومکانیکال می‌باشد. در این بخش هزینه‌های احداث شامل موارد ذیل خواهد بود:

(الف) هزینه‌های ساختمانی احداث واحدهای فرآیندی براساس فهرست بهای مربوطه

(ب) هزینه‌های تجهیزات الکترومکانیکال (براساس استعلام از سازندگان و مناقصات برگزار شده)

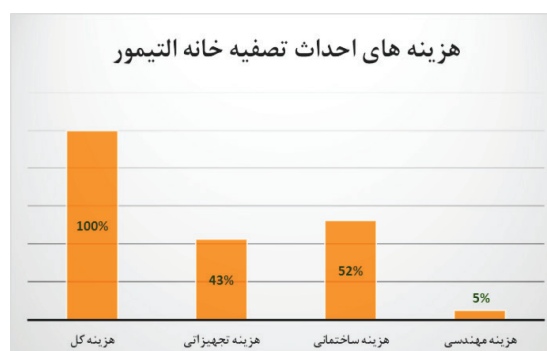
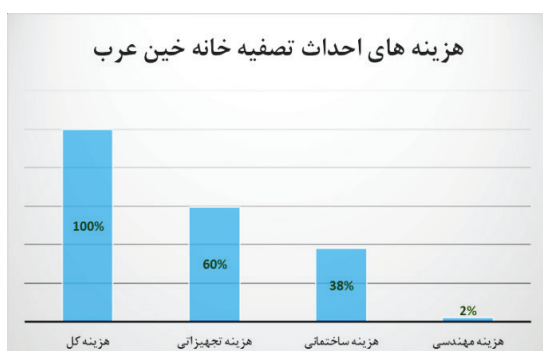
(ج) هزینه‌های عملیات سویل تصفیه‌خانه از قبیل احداث ساختمان‌های جنبی، محوطه‌سازی، لوله کشی‌های عمومی، دیوارکشی دور تصفیه‌خانه و عملیات خاکبرداری و خاکریزی

با توجه به اینکه نرخ ارز در ایران نوسانات شدید دارد و این موضوع محاسبه نرخ پساب را با مشکل روبه‌رو می‌کند در مقاله سعی شده است کلیه هزینه‌ها به نرخ ارز اعلام شده توسط بانک مرکزی در آن سال تهیه شده و در نهایت نرخ پساب براساس یورو محاسبه شود.

جدول ۲- مجموع هزینه‌های احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

شرح	هزینه ریالی	معادل هزینه ریالی به یورو	هزینه یورو	مجموع به یورو
هزینه‌های احداث تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب (ASBR)	۲۲۱,۲۶۷,۲۷۴,۵۶۵	۱۳,۵۴۷,۲۵۲	۱۴,۵۴۹,۳۸۴	۲۸,۰۹۶,۶۳۶
هزینه‌های احداث تصفیه‌خانه فاضلاب التیمور (MLE)	۲۹۵,۶۵۶,۰۱۵,۴۷۲	۱۸,۱۰۱,۷۵۸	۵,۲۳۷,۲۴۲	۲۳,۳۳۹,۰۰۰

* نرخ ارز ۱۶,۳۳۳ ریال در نظر گرفته شده است (سال ۱۳۸۹)



شکل ۳- درصد هزینه صرف شده نسبت به کل هزینه احداث در هر دو تصفیه‌خانه فاضلاب

• هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری

هزینه‌های بهره‌برداری در یک تصفیه‌خانه فاضلاب شامل هزینه‌های تعمیر و نگهداری، هزینه پرسنلی، برق مصرفی و مواد شیمیایی می‌باشد. جهت مقایسه اقتصادی بین گزینه‌ها در طرح تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مشهد، مقادیر کمی ذیل جهت برآورد هزینه‌های راهبری مدنظر قرار گرفت:

- هزینه پرسنلی ماهانه بر اساس میانگین مقادیر قرارداد پیمانکاران بهره‌بردار

- هزینه تعمیر و نگهداری سالانه ساختمانی معادل ۱ درصد کل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در بخش ساختمان.

- هزینه تعمیر و نگهداری سالانه تجهیزات الکترومکانیکال معادل ۲ درصد کل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در بخش تجهیزاتی.

- هزینه انرژی مصرفی به‌طور متوسط برای هر کیلو وات ساعت به شرح ذیل می‌باشد:

الف- هزینه انرژی مصرفی: از آنجایی که برق هر دو تصفیه‌خانه

در شکل (۳) درصد هزینه مصرف شده در بخش‌های مختلف مرحله مهندسی و ساخت تصفیه‌خانه نسبت به کل هزینه احداث، مقایسه شده است. از آنجایی که در تصفیه‌خانه خین عرب فرآیند تصفیه ASBR است و تمام مراحل هوادهی، انوکسیک و ته‌نشینی در یک تانک انجام می‌شود، لذا در این تصفیه‌خانه هزینه‌های ساختمانی درصد کمتری از هزینه ساخت را به خود اختصاص می‌دهد و به علت لزوم استفاده از تجهیزات بیشتر و پیچیده‌تر و همچنین تجهیزات ابزار دقیق بیشتر، عمده هزینه، صرف تأمین و نصب تجهیزات شده است. در تصفیه‌خانه التیمور هزینه‌های ساخت تانک‌های ته‌نشینی اولیه و ثانویه علاوه بر هزینه تانک‌های هوادهی و انوکسیک وجود دارد و هزینه ساختمانی درصد بیشتری از هزینه احداث را طلب می‌کند. در عوض عمدتاً جریان لجن و پساب بین واحدها به صورت ثقلی و سیفونی است و زمان‌های لازم جهت هوادهی و ته‌نشینی کاملاً متناسب با جریان فاضلاب خواهد بود و در نتیجه تجهیزات کمتری در تصفیه‌خانه مورد نیاز است.

به صورت دیماندی است لذا به صورت سه تعرفه ای محاسبه می شود که برای ساعت میان باری ۲۵۵ ریال برای ساعت اوج بار ۵۱۰ ریال و برای ساعت کم باری ۱۳۸ ریال است.

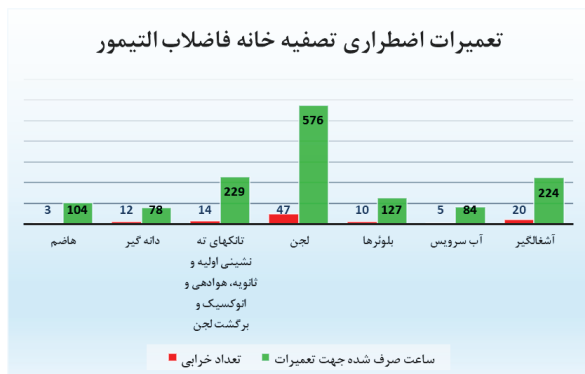
- قیمت هر کیلوگرم کلرگازی معادل ۷۰۰۰ ریال، هر کیلوگرم پلیمر کاتیونی برابر ۶۰۰،۰۰۰ ریال و هر کیلوگرم آهک برابر ۴۵۰۰ ریال.

جدول ۳- حداقل نیروی انسانی مورد نیاز جهت راهبری تصفیه خانه فاضلاب التیمور

ردیف	پست	مدرک تحصیلی	تعداد نفرات مورد نیاز
۱	سرپرست	لیسانس و فوق لیسانس	۱
۲	سرپرست بهره برداری	لیسانس و فوق لیسانس	۱
۳	سرپرست مکانیکال	لیسانس	۱
۴	سرپرست الکتریکال	لیسانس	۱
۵	اپراتور	سیکل	۱۱
۶	اتاق کنترل	لیسانس و فوق لیسانس	۱
۷	اپراتور کلر زنی	دیپلم	۲
۸	آزمایشگاه	لیسانس و فوق لیسانس	۲
۹	تکنسین	دیپلم فنی	۵
۱۰	خدمات	زیر سیکل	۳
۱۱	راننده	زیر سیکل	۲
مجموع			۳۰
هزینه پرسنلی ماهیانه			۲۸۳،۳۳۴،۰۰۰ تومان

جدول ۴- حداقل نیروی انسانی مورد نیاز جهت راهبری تصفیه خانه فاضلاب خین عرب

ردیف	پست	مدرک تحصیلی	تعداد نفرات مورد نیاز
۱	سرپرست	لیسانس و فوق لیسانس	۱
۲	کارشناس PM	لیسانس و فوق لیسانس	۱
۳	سرپرست مکانیکال	لیسانس	۱
۴	سرپرست الکتریکال	لیسانس	۱
۵	کارشناس فرآیند	لیسانس و فوق لیسانس	۱
۶	کارشناس HSE	لیسانس	۱
۷	اپراتور	سیکل	۹
۸	اتاق کنترل	لیسانس و فوق لیسانس	۳
۹	دفتر دار	لیسانس	۱
۱۰	تکنسین اتاق کنترل	دیپلم فنی	۳
۱۱	اپراتور کلر زنی	دیپلم	۳
۱۲	آزمایشگاه	لیسانس و فوق لیسانس	۲
۱۳	تکنسین	دیپلم فنی	۵
۱۴	خدمات	زیر سیکل	۲
۱۱	راننده	زیر سیکل	۲
مجموع			۳۶
هزینه پرسنلی ماهانه			۳۲۵،۰۰۰،۰۰۰ تومان



شکل ۵- تعمیرات اضطراری و زمان صرف شده جهت تعمیرات در تصفیه خانه التیمور

• مقایسه مصرف انرژی برق در دو تصفیه خانه

مقدار مصرف انرژی جهت تصفیه فاضلاب پارامتر مهمی است که معمولاً پس از هزینه پرسنلی و خرید مواد شیمیایی در رتبه سوم هزینه کرد فرآیند تصفیه قرار می گیرد. با توجه به اینکه تعداد تجهیزات به کار رفته در تصفیه خانه خین عرب نسبت به تصفیه خانه التیمور بیشتر است در نتیجه بیشتر بودن مصرف انرژی خین عرب نسبت به التیمور مورد انتظار است که در جدول ۵ قابل مقایسه است.

جدول ۵- مقایسه هزینه مصرف انرژی تصفیه خانه های خین عرب و التیمور

ردیف	تصفیه خانه	هزینه ها (ریال)	هزینه به یورو
۱	خین عرب	۵,۳۴۲,۸۳۱,۱۶۰	۴۴,۵۲۴
۲	التیمور	۴,۵۲۸,۹۹۷,۵۹۲	۳۷,۷۴۲

*نرخ یورو ۱۲۰,۰۰۰ ریال

یکی از مهمترین دغدغه های مدیریت در بخش های مختلف نسبت تبدیل هزینه ها از ریال به ارز و بالعکس می باشد و این موضوع با توجه به رشد سرسام آور قیمت ارز در سال های اخیر تبدیل به معضل جدی برای به انجام رساندن موفق پروژه های با تجهیزات مدرن (که عمدتاً وارداتی هستند) شده است. بنابراین برای اینکه هزینه ها و روش استفاده در همه زمان ها قابل استفاده باشد هزینه ها با توجه به سال مبنا براساس نرخ تسعیر اعلام شده از سوی بانک مرکزی به ارز با اعتبار مربوط به همان دوره زمانی تبدیل شده و در پایین جداول مربوط به هزینه ها درج شده است.

وجود تجهیزات بیشتر و پیچیده تر لزوم استفاده از تعداد نیروهای بیشتر و متخصص را به بهره بردار دیکته می کند در غیر این صورت کنترل فرآیند و حفظ تجهیزات با مشکل جدی روبرو خواهد شد. استفاده از افراد متخصص در اتاق کنترل تصفیه خانه با فرآیند SBR ضروری است. لارم به ذکر است، هزینه پرسنلی خین عرب حدود ۱۵ درصد بیشتر از التیمور است.

• میزان تعمیرات انجام شده طی دوره بهره برداری

یکی دیگر از پارامترهای بسیار مهم مورد مقایسه در این دو تصفیه خانه فاضلاب، میزان تعمیرات است. در حالت کلی ما با دو نوع تعمیرات رو به رو هستیم، بخشی تعمیرات پیشگیرانه یا PM^۲ و دیگری تعمیرات اضطراری یا EM^۳ است.

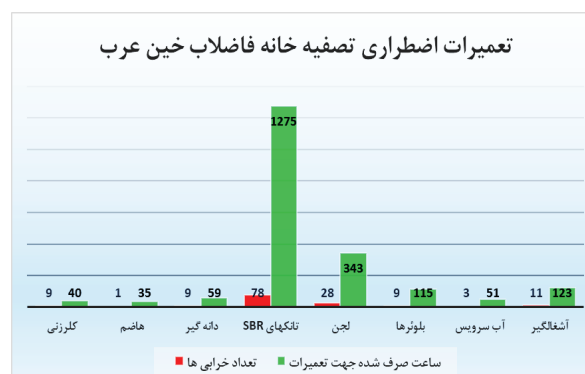
- نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه:

نت پیشگیرانه یا PM، فعالیت هایی هستند که به منظور پیشگیری از خرابی دستگاهها و براساس کارت های فعالیت PM تعریف می شوند و قابل برنامه ریزی هستند.

- نگهداری و تعمیرات اضطراری:

فعالیت های نت اضطراری یا EM فعالیت هایی هستند که بعد از خرابی دستگاه و به منظور رفع خرابی تعریف می شوند. شنآوری مجاز برای این تعمیرات صفر یا کمتر از حد قابل قبول برای برنامه ریزی است و به عبارتی باید بلافاصله بعد از اعلام خرابی دستگاه انجام شوند.

در این بخش به مقایسه میزان تعمیرات اضطراری در دو تصفیه خانه پرداخته شد و با توجه به این مسأله تعمیرات پیشگیرانه طبق جدول تأیید شده شرکت آفا در حال انجام است. در شکل های ۴ و ۵ تعداد تعمیرات اضطراری انجام شده و زمان صرف شده برای انجام این تعمیرات در طول یکسال برای دو تصفیه خانه خین عرب و التیمور نمایش داده شده است.



شکل ۴- تعمیرات اضطراری و زمان صرف شده جهت تعمیرات در تصفیه خانه خین عرب

• مواد شیمیایی مورد استفاده

در بحث هزینه‌های بهره‌برداری یکی از پارامترهای مهم، موضوع مصرف مواد افزودنی است. هر اندازه مصرف مواد افزودنی افزایش یابد هزینه‌های مرتبط افزایش می‌یابد. علاوه بر هزینه بالای مواد مصرفی شیمیایی استفاده از این مواد منجر به اثرات نامطلوب محیط‌زیستی می‌شود، بنابراین جهت‌گیری تصفیه‌خانه‌های نوین حداقل کردن مصرف مواد است. با توجه به جداول (۷) و (۸) ملاحظه می‌شود در تصفیه‌خانه فاضلاب التیمور میزان مواد مصرفی افزودنی کمتر از تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب است.

جدول ۷- متوسط میزان مصرف مواد افزودنی شیمیایی (کیلوگرم در سال-تصفیه‌خانه فاضلاب التیمور MLE)

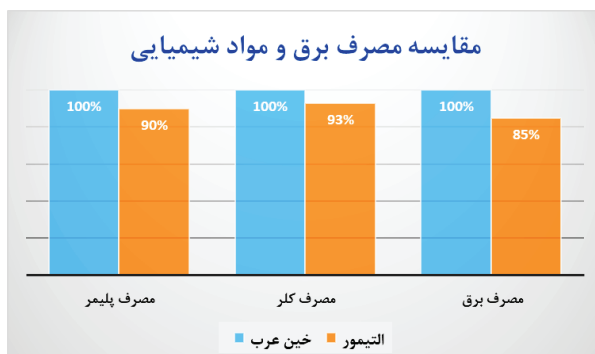
ردیف	ماده افزودنی	مقدار (کیلوگرم در سال)	هزینه ریال	یورو
۱	کلر	۱۵۶,۰۰۰	۳,۰۲۴,۰۰۰,۰۰۰	۹,۱۰۰
۲	پلیمر	۵۴,۰۰۰	۱۳,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۷۰,۰۰۰
	مجموع		۱۶,۳۰۸,۰۰۰,۰۰۰	۲۷۹,۱۰۰

*نرخ یورو ۱۲۰,۰۰۰ ریال

جدول ۸- متوسط میزان مصرف مواد افزودنی شیمیایی (کیلوگرم در سال-تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب ASBR)

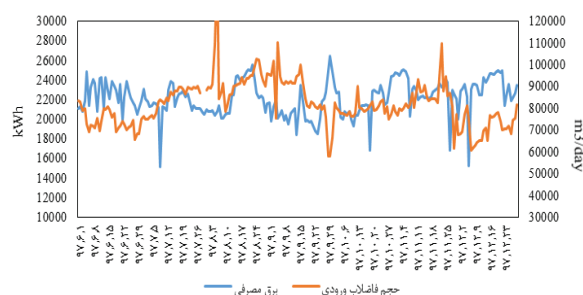
ردیف	ماده افزودنی	مقدار (کیلوگرم در سال)	هزینه ریال	یورو
۱	کلر	۱۶۸,۰۰۰	۲,۸۰۸,۰۰۰,۰۰۰	۹,۸۰۰
۲	پلیمر	۶۰,۰۰۰	۱۵,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۳۰۰,۰۰۰
	مجموع		۱۸,۰۲۴,۰۰۰,۰۰۰	۳۰۹,۸۰۰

*نرخ یورو ۱۲۰,۰۰۰ ریال



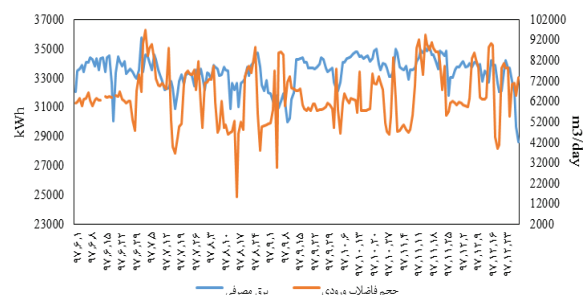
شکل ۸- مقایسه مصرف برق و مواد شیمیایی

در شکل (۶) مصرف برق و مواد شیمیایی دو تصفیه‌خانه



شکل ۶- نمودار مصرف انرژی و دبی ورودی تصفیه‌خانه التیمور

همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده متوسط فاضلاب ورودی در تصفیه‌خانه فاضلاب التیمور ۸۰۴۱۰ متر مکعب در شبانه روز است که با این حجم فاضلاب ورودی میزان مصرف انرژی برق به‌طور متوسط ۹۲۱ کیلووات ساعت است.



شکل ۷- نمودار مصرف انرژی و دبی ورودی تصفیه‌خانه خین عرب

همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده در تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب به ازای متوسط ۶۶۰۰۰ متر مکعب در شبانه روز به میزان ۱۳۸۱ کیلو وات ساعت انرژی مصرف می‌شود، لذا برای با تقسیم میزان انرژی مصرف شده بر فاضلاب ورودی مقایسه بین دو تصفیه‌خانه در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶- مقایسه نسبت مصرف انرژی به مترمکعب فاضلاب ورودی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب خین عرب و التیمور

انرژی مصرفی به ازای یک متر مکعب فاضلاب ورودی التیمور	$0.114 \text{ (kwh/m}^3\text{)}$
انرژی مصرفی به ازای یک متر مکعب فاضلاب ورودی خین عرب	$0.209 \text{ (kwh/m}^3\text{)}$
نسبت انرژی مصرفی در تصفیه‌خانه خین عرب به تصفیه‌خانه التیمور	۸۳ درصد

ملاحظه می‌شود، میزان مصرف انرژی در تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب به روش SBR بیش از ۸۳ درصد بالاتر از روش تصفیه به روش MLE در تصفیه‌خانه التیمور می‌باشد.

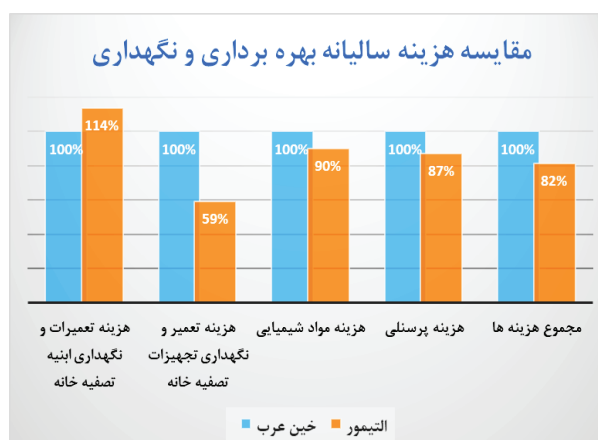
به صورت نمودار جهت مقایسه ترسیم شده است. برای هر مورد، مقدار مصرف در تصفیه خانه خین عرب معیار قرار گرفته و به این ترتیب مقدار آن ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده و مقدار مصرف در التیمور به نسبت آن به دست آمده است. در جداول (۹) و (۱۰) و شکل (۹) کلیه موارد بیان شده مربوط به هزینه بهره برداری و نگهداری سالیانه دو تصفیه خانه گردآوری و مقایسه شده است.

جدول ۹- هزینه های سالیانه بهره برداری و نگهداری (التیمور)

ردیف	شرح	هزینه به یورو
۱	هزینه تعمیرات و نگهداری ابنیه تصفیه خانه	۱۳۷,۶۰۸
۲	هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات تصفیه خانه	۲۲۴,۱۲۶
۳	هزینه مواد شیمیایی	۲۷۹,۱۰۰
۴	هزینه پرسنلی	۲۸۳,۳۳۴
مجموع		۹۲۴,۱۶۸

جدول ۱۰- هزینه های سالیانه بهره برداری و نگهداری (خین عرب)

ردیف	شرح	هزینه به یورو
۱	هزینه تعمیرات و نگهداری ابنیه تصفیه خانه	۱۲۱,۰۴۳
۲	هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات تصفیه خانه	۳۷۷,۹۲۲
۳	هزینه مواد شیمیایی	۳۰۹,۸۰۰
۴	هزینه پرسنلی	۳۲۵,۰۰۰
مجموع		۱,۱۳۳,۷۶۵



شکل ۹- مقایسه هزینه سالیانه بهره برداری و نگهداری

براساس جداول (۹) و (۱۰) کل هزینه بهره برداری و نگهداری شامل ۴ بخش است که در شکل (۹) از سمت چپ به راست برای دو تصفیه خانه با هم مقایسه شدند. آخرین ستون مقایسه کل هزینه احداث هر یک از تصفیه خانه ها است. در هر بخش مقدار هزینه صرف شده در خین عرب معیار مقایسه در نظر گرفته شده و هزینه صرف شده در التیمور نسبت به آن مقایسه شده است.

مشاهده می شود هزینه احداث تصفیه خانه التیمور با فرآیند MLE حدود ۸۲٪ هزینه احداث تصفیه خانه خین عرب با فرآیند SBR است. با توجه به وجود ابنیه بیشتر در التیمور هزینه نگهداری از ابنیه در التیمور بیشتر خواهد بود. اما این اختلاف حدود ۱۴ درصد است، زیرا احتمال آسیب به ابنیه و نیاز به تعمیرات ابنیه بسیار کم است. با توجه به اینکه تعداد تجهیزات در خین عرب بیشتر است، هزینه تعمیرات تجهیزات نسبت به التیمور بیشتر (اختلاف بیش از ۴۰ درصد) است.

• قیمت تمام شده هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده

در محاسبه قیمت تمام شده هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده می توان به روش ذیل عمل نمود:

محاسبه هزینه های جاری سالانه و جمع آن با هزینه برگشت سالانه سرمایه گذاری اولیه و تقسیم کل هزینه های سالانه به حجم سالانه فاضلاب تصفیه شده.

در محاسبات حاضر برگشت سالانه سرمایه گذاری اولیه و هزینه های جاری سالانه با هم جمع شده و بر متوسط حجم فاضلاب تصفیه شده در یک سال تقسیم خواهد شد. برای محاسبه قیمت تمام شده فرضیات زیر مد نظر قرار گرفته است:

۱- عمر مفید تجهیزات الکترومکانیکال ۱۵ سال

۲- عمر مفید ابنیه و تجهیزات ساختمان ۳۰ سال

برای ساده شدن محاسبات فرض می شود، هزینه جایگزینی تجهیزات در زمان خرید مجدد برابر هزینه خرید اولیه آنها در شروع بهره برداری باشد. (همسان بودن نرخ بهره و نرخ تورم) - نرخ تنزیل مورد استفاده برابر ۸ درصد فرض خواهد شد.

$$CRF = I^* (1+I)^n / ((1+I)^n - 1)$$

با توجه به نشریه ۰۰۳ آبفای کشور، در هر پروژه نرخ بازدهی پروژه مطرح می شود که همواره باید این مقدار از نرخ تورم جامعه بیشتر بوده و اختلاف معناداری وجود داشته باشد تا سرمایه گذار رغبت به انجام سرمایه گذاری در پروژه ها را داشته باشد. این میزان به همان نرخ تنزیل موسوم است این نرخ در سال های اخیر بین ۵ تا ۸ درصد طبق نشریات شناور است، با توجه به شرایط، سخت ترین حالت (۸ درصد) در نظر گرفته شده است.

احتمالاً پارامترهایی که در ادامه ارائه شده، مربوط به رابطه قبلی است، بررسی شود.

ضریب بازگشت سرمایه = CRF

نرخ کارمزد سرمایه‌گذاری = I

عمر مفید تأسیسات (سال) = n

میزان I برای تجهیزات ۰/۰۷۸۸ است و برای ساختمانی ۰/۸۸ بدست می‌آید.

براساس معادله فوق، CRF برای کارهای مکانیکی و برقی معادل ۰/۱۱۶ برای کارهای ساختمانی برابر ۰/۰۸۸، محاسبه شده است. قیمت تمام شده فاضلاب در هر گیرنده تمام هزینه‌های سرمایه‌گذاری، استهلاک و هزینه‌های جاری می‌باشد. لذا یکی از مناسب‌ترین شاخص‌های سنجش گزینه برتر، همین روش است.

جدول ۱۱- هزینه برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری (التیمور)

ردیف	شرح	هزینه (یورو)
۱	هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری	۹۲۴,۱۶۸
۲	هزینه‌های برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری ساختمانی	۱,۲۱۰,۹۵۱
۳	هزینه‌های برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری تجهیزاتی	۱,۲۹۹,۹۳۳
جمع		۳,۴۳۵,۰۵۳
هزینه هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده (یورو)		۰,۱۴۵
هزینه هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده (ریال)		۱۷,۳۷۰

*نرخ یورو ۱۲۰,۰۰۰ ریال باشد

جدول ۱۲- هزینه برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری (خین عرب)

ردیف	شرح	هزینه (یورو)
۱	هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری	۱,۱۳۳,۷۶۵
۲	هزینه‌های برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری ساختمانی	۱,۰۶۵,۱۷۷
۳	هزینه‌های برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری تجهیزاتی	۲,۱۹۱,۹۵۰
جمع		۴,۳۹۰,۸۹۲
هزینه هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده (یورو)		۰,۲۰۰
هزینه هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده (ریال)		۲۴,۰۵۰

*نرخ یورو ۱۲۰,۰۰۰ ریال باشد

با توجه به برآورد هزینه تصفیه هر مترمکعب فاضلاب در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب خین عرب و التیمور که در جدول (۹) و جدول (۱۰) درج شده است، هزینه تصفیه با فرآیند SBR حدود ۳۸ درصد بیشتر از تصفیه با فرآیند MLE خواهد بود.

جدول ۱۳- هزینه برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری (التیمور و خین عرب)

ردیف	شرح	هزینه (یورو)
۱	هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری	۲,۰۵۷,۹۳۳
۲	هزینه‌های برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری ساختمانی	۲,۲۷۶,۱۲۸
۳	هزینه‌های برگشت سالیانه سرمایه‌گذاری تجهیزاتی	۳,۴۹۱,۸۸۳
جمع		۷,۸۲۵,۹۴۵
هزینه هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده (یورو)		۰,۱۷۱
هزینه هر مترمکعب فاضلاب تصفیه شده (ریال)		۲۰,۵۸۰

بهره‌برداری از دو تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب و التیمور در شهر مشهد با توجه به بار آلودگی فاضلاب ورودی، هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری دو تصفیه‌خانه، میانگین هزینه مترمکعب پساب حاصل از دو تصفیه‌خانه می‌تواند معیاری جهت سایر برآوردهای قیمتی مانند جریمه‌ها و فروش در نظر گرفته شود. با در نظر گرفتن این مقدار هزینه در حال حاضر و محاسبه نرخ تورم در سال‌های آتی، توجیه مالی و محیط‌زیستی احداث تصفیه‌خانه‌های آینده و نوع فرآیند تصفیه را توانمند مدنظر قرار داد.

نتیجه‌گیری

با توجه به تغییر رویکرد شرکت آب و فاضلاب کشور مبنی بر اختصاص تمام یا بخشی از پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به شرکت‌های آب و فاضلاب جهت تأمین هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌ها، نگاه اقتصادی به این پروژه‌ها اهمیت زیادی پیدا کرده است. بنابراین علاوه بر هزینه‌های زیاد ساخت که همواره پراهمیت‌ترین پارامتر در انتخاب نوع فرآیند تصفیه‌خانه بوده با این رویکرد میزان هزینه‌های بهره‌برداری شامل پرسنل، مواد مصرفی، تعمیر و نگهداری، انرژی و استهلاک ابنیه و تجهیزات اهمیت خود را بیشتر به رخ خواهد کشید. با عقد قراردادهای بهره‌برداری بلند مدت باید سود حاصل از درآمد فروش پساب انگیزه لازم را در پیمانکار ایجاد کند. بنابراین احداث دو تصفیه‌خانه خین عرب با فرآیند ASBR و التیمور با فرآیند MLE و گذشت چند سال از بهره‌برداری آنها فرصت مناسبی جهت مقایسه موردی دو تصفیه با دو فرآیند متفاوت و حجم فاضلاب ورودی تقریباً یکسان فراهم آورده است. با در نظر گرفتن تمامی هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری این دو تصفیه‌خانه هزینه‌های مربوط به تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب به‌عنوان یک نمونه موردی از تصفیه‌خانه‌های با فرآیند SBR حدود ۲۸ درصد بیشتر از هزینه‌های تصفیه‌خانه فاضلاب التیمور با فرآیند

MLE به دست آمد. فرآیند SBR به علت نیاز به فضای کمتر و سازه و ابنیه کمتر جهت انجام فرآیند تصفیه (چون تمامی مراحل تصفیه بیولوژیک شامل هوادهی و انوکسیک و ته نشینی در یک تانک انجام می گیرد) هزینه کمتری برای احداث و نگهداری ابنیه می طلبد. اما در سایر پارامترها به نسبت فرآیند MLE مقدار هزینه ها بیشتر خواهد بود. در فرآیند SBR تعداد تجهیزات بیشتر و برنامه کنترل فرآیند پیچیده تر است و متعاقباً میزان هزینه های تعمیر و نگهداری و پرسنل که باید به اندازه کافی ماهر باشند نیز بیشتر خواهد بود. ضمن اینکه در فرآیند MLE امکان تثبیت بی هوازی لجن حاصل از فرآیند تصفیه وجود دارد که با استفاده از گاز متان تولید شده طی این فرآیند تولید برق و در نتیجه کاهش بیشتر هزینه بهره برداری امکان پذیر خواهد بود. لذا با توجه به لزوم سرمایه گذاری و مدیریت این گونه پروژه ها این ارقام می تواند برآوردی از نحوه ساخت و بهره برداری پروژه ها براساس واقعیت در اختیار مدیران پروژه قرار دهد.

پی نوشت

- 1-Modified Ludzack-Ettinger
- 2-Advanced Sequence Batch Reactor
- 3-Baffle
- 4-Preventive Maintenance
- 5-Emergency Maintenance

منابع

الماسی، ع.، درگاهی، ع.، نادری، م.، هاشمیان، ا.ح. و دل انگیزان، س. ۱۳۹۶. مقایسه هزینه اثربخشی سیستم های تصفیه

فاضلاب لجن فعال متعارف و برکه های تثبیت (مطالعه موردی: تصفیه خانه های شهر کرمانشاه، اسلام آباد غرب و گیلان غرب). مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، ۲۴(۲): ۱۱۵-۱۲۱.

خشائی، م. و داودآبادی، م. ۱۳۸۷. تعیین بهای تمام شده یک مترمکعب آب و خدمات دفع فاضلاب در شرکت های آب و فاضلاب. دومین کنفرانس بین المللی بودجه ریزی عملیاتی. گروه مشاوران پنکو، تهران، ایران.

دری، م.، شهرکی، ج.، سردار شهرکی علی، ۱۳۹۸. ارزیابی اقتصادی استفاده از پساب فاضلاب شهری و هزینه کنترل آلودگی در آبیاری فضای سبز شهر زاهدان". مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۵): ۹۹-۱۱۱.

صبور، م.ر. و کمالان، ح. ر. ۱۳۸۳. بررسی و ارزیابی اقتصادی تصفیه انواع فاضلاب تخلیه شونده به رودخانه کارون در محدوده استان خوزستان. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۰: ۲۱-۲۹.

معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظام فنی اجرایی، با همکاری وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا. ۱۳۹۴. نشریه شماره ۵۳۵. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. تهران.

موسوی، س. غ.ر. مترجم. ۱۳۸۸. مهندسی فاضلاب: تصفیه و استفاده مجدد. جلد ۲. خانیان، تهران.

Hernández-Sancho F., Molinos-Senante M. and Sala-Garrido R. 2010. Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: an empirical approach for Spain. Science of The Total Environment, 408: 953-957.

Effect of Hydropolitics Relations on the Nation-Building Process, Case Study: Rogun Dam Superstructure in Tajikistan

A. Rashidi Nejad^{1*}, M. Kaviani Rad², A. Motaghi Handnahi²

1,2- Ph.D and Associate Professor, Department of Political Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

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

Received: 18-05-2020

Accepted: 07-09-2020

تأثیر مناسبات هیدروپلیتیک بر فرایند ملت‌سازی: نمونه پژوهی ابرسازه سد راغون در تاجیکستان

احمد رشیدی نژاد^{۱*}، مراد کاویانی راد^۲، افشین متقی دستنایی^۲

۱ و ۲- به ترتیب دانش آموخته دکتری و دانشیار جغرافیای سیاسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۱۷

Abstract

The pursuit and construction of superstructures by the rulers has a special place in the process of nation Building of many countries. In post-Soviet countries, rulers have sought to politically manage space and maintain social influence and control over the past two decades to demonstrate their legitimacy by building large water-based infrastructures. The Rogun Dam in Tajikistan is a superstructure on the Vakhsh River, which if built at 335 meters, is the highest dam in the world, providing the country's energy self-sufficiency. By presenting a geopolitical conception of national progress and pride, these identities have been able to play a role in the emergence and empowerment of nationalist discourse in this country. The present article is based on the hypothesis that the symbolic meaning of the Rogun Dam in the geopolitical code nationalization process is to explain the Tajik government's insistence over the past two decades to complete this costly and tense plan with neighboring countries. The information required for the research is collected by the library method and the methodology governing the text is descriptive-analytical in nature. The results showed that the idea of building the Rogun Dam enables Tajik political elites to divert people's attention from internal challenges, promising them a better future, arousing a sense of national pride and increasing their legitimacy, the country's survival and guarantee the government. Uzbekistan's opposition to the construction of the Rogun Dam could also be used as a kind of hydro political confrontation to strengthen national solidarity against the Uzbek enemy. Because those who challenge its construction are the enemy of the nation.

Keywords: Hydropolitic, Nation Building, Symbol, Tajikistan, Rogun Dam.

چکیده

پیگیری و ساخت ابرسازه‌ها توسط حاکمان، جایگاه ویژه‌ای در فرایند ملت‌سازی بسیاری از کشورها داشته است. در کشورهای پساشوروی، حاکمان برای نمایاندن مشروعیت خود، طی دو دهه گذشته از راه ایجاد زیرساخت‌های کلان آب‌پایه، در پی مدیریت سیاسی فضا و حفظ نفوذ و کنترل اجتماعی بوده‌اند. سد راغون در تاجیکستان ابرسازه‌ای روی رودخانه وخش است، در صورت انجام با بلندی ۳۳۵ متر، افزون بر اینکه بلندترین سد جهان است، زمینه خودکفایی انرژی این کشور را فراهم می‌کند. شناسه‌های یاد شده با ارائه تصویری ژئوپلیتیک از پیشرفت و سرافرازی ملی، توانسته در پیدایش و تواناسازی گفتمان ملی‌گرایانه در این کشور نقش بیافریند. مقاله حاضر بر این فرضیه استوار است که معنای نمادین سد راغون در فرایند ملت‌سازی کدی ژئوپلیتیک برای توضیح پافشاری دولت تاجیکستان طی دو دهه گذشته برای به فرجام‌رسانی این طرح پرهزینه و تنش‌زا با کشورهای همسایه است. اطلاعات مورد نیاز پژوهش به روش کتابخانه‌ای گردآوری و روش‌شناسی حاکم بر متن ماهیتی توصیفی-تحلیلی دارد. نتیجه پژوهش نشان داد ایده ساخت سد راغون، نخبگان سیاسی تاجیک را قادر می‌سازد با انحراف توجه مردم از چالش‌های درونی، آینده بهتری را برای آنها نوید داده و با برانگیختن حس غرور ملی و افزودن بر مشروعیت خود، بقای کشور و حکومت را تضمین نمایند. همچنین مخالفت ازبکستان با ساخت سد راغون می‌تواند به‌عنوان نوعی هم‌اوردی هیدروپلیتیک در راستای تقویت همبستگی ملی در برابر دشمن ازبک مورد بهره‌برداری قرار گیرد. زیرا کسانی که ساخت آن را به چالش می‌کشند، دشمن ملت هستند.

واژه‌های کلیدی: هیدروپلیتیک، ملت‌سازی، نماد، تاجیکستان و سد راغون.

از ملت نقش مهمی در فروپاشی شوروی داشته باشد، ایجاد و شکل‌گیری هویت‌های ملی در دولت‌های جانشین را به همراه خواهد داشت.

۲- فساد که در پی فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی بر جای مانده است، پدیده‌ای به نام «ملل اختراع شده» به وجود آورد، که در آن ناسیونالیسم پیش از تشکیل کشورها، شکل گرفت. تناقض اصلی این است که کشورهای آسیای مرکزی طی دوران اتحاد شوروی ساخته شدند، اما استقلال آنها در نتیجه به پایان آمدن دوران شوروی به وجود آمد. زیرا «استالین»^۴ دیگر نمی‌توانست در جایگاه "پدر ملت" باشد. بنابراین حاکمان آسیای مرکزی وادار شدند گذشته و پیشینه خود را دوباره ارزیابی و بازسازی کنند. از این‌رو، همان‌گونه که کمونیسم دیگر نمی‌توانست بنیاد مشروعیت دولت‌های ملی را فراهم نماید، رهبران کمونیست پیشین برای افزایش مشروعیت اقتدار کسب شده خود، به موضوع ناسیونالیسم روی آوردند (Menga, ۲۰۱۵).

ساخت یک سد بزرگ، به‌عنوان یک «ابزار هیدروپلیتیک»، می‌تواند با ساخت هویت ملی یک ملت هم‌پوشانی داشته باشد. بنابراین پژوهش حاضر روند ساخت سد راغون در تاجیکستان، را بررسی کرده و در پی پاسخ به این سوال تأثیر مناسبات هیدروپلیتیک بر فرایند ملت‌سازی می‌باشد. لذا با تمرکز بر کارکرد مناسبات هیدروپلیتیک بر فرایند ملت‌سازی، بر دو بعد داخلی و بیرونی این سد (راغون) متمرکز شده است. لازم به ذکر است، این دو بعد، یعنی نماد موفقیت و پیشرفت داخلی و نماد هویت، هم‌آوردی و جدایی‌گزینی بیرونی، درهم تنیده شده‌اند.

روش تحقیق

مقاله حاضر ماهیتی توصیفی-تحلیلی دارد و داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز آن به روش کتابخانه‌ای (کتب، نشریات و اینترنت) گردآوری شده است. همچنین با بررسی وضعیت عملی احداث سد راغون بر روی رودخانه وخش، تأثیر مناسبات هیدروپلیتیک بر فرایند ملت‌سازی را بررسی می‌نماید. لذا با تمرکز بر ابعاد مناسبات داخلی و خارجی این سد؛ یعنی نماد موفقیت و پیشرفت داخلی و نماد هویت، هم‌آوردی و جدایی‌گزینی بیرونی، درهم‌تنیدگی این ابعاد را در فرایند ملت‌سازی، مورد توجه قرار داده است.

مبانی نظری

• ملت و ملت‌سازی

مفاهیم اولیه، «ملت» را به‌عنوان گروه یا نژادی خاص از مردمی تعریف می‌کنند که زبان، تاریخ، سنت، فرهنگ و گاهی

پیوستگی آب و قدرت اجتماعی گویای آن است که چگونه نخبگان سیاسی حاکم از راه ایجاد زیرساخت‌های کلان آب‌پایه می‌توانند نفوذ و کنترل اجتماعی خود را حفظ و افزایش دهند. با این حال، تاکنون درباره چگونگی بهره‌گیری نخبگان حاکم از ارزش نمادین یک طرح کلان آب‌پایه برای آفرینش و گسترش ایده خود از ملت و نیز مشروع‌نمایی قدرت خود، پژوهش‌های اندکی انجام پذیرفته است. در این راستا، به نظر فضای ملت‌های پسا شوروی، محیطی مناسب برای درک بهتر این استراتژی است. به‌طوری‌که، محققانی که در مورد فضای پسا شوروی به ویژه فضای آسیای مرکزی پژوهش می‌کنند، نمونه‌های خاصی از چگونگی استفاده از زبان‌ها، گفتمان‌ها و نمادها توسط نخبگان حاکم برای ایجاد معانی، تعریف ملت‌ها و ایجاد ایدئولوژی‌ها، ارائه می‌دهند. نمونه‌هایی همچون سد راغون در تاجیکستان که افزون بر مقاصد عملی، ظاهراً اهدافی دیگر را نیز پی می‌گیرند (Menga, ۲۰۱۵).

«راغون»^۱ سدی بزرگ بر روی رودخانه «وخش»^۲ است و در صورت فرجام با ارتفاع ۳۳۵ متر، بلندترین سد جهان خواهد بود. این سد پس از بلندترین میله پرچم در جهان که در سال ۲۰۱۱ میلادی به‌عنوان نماد ملی و وطن‌پرستی در تاجیکستان برافراشته شد، به‌عنوان دومین رکورد جهانی برای این کشور ثبت خواهد شد. معنای نمادین سد راغون، کلیدی برای توضیح پافشاری دولت تاجیکستان طی بیست سال گذشته برای تحقق پروژه‌ای است که با وجود قدیمی و پرهزینه بودن، تیرگی روابط این کشور با همسایگان، به‌ویژه ازبکستان را موجب شده است. برای اینکه شهروندان و جامعه بین‌المللی را متقاعد نمایند که راغون دستاورد مهمی برای کشور است، ایده‌ای ایجاد شده است که می‌توان آن را «ایدئولوژی سد راغون» نامید (Menga, ۲۰۱۵). از آنجاییکه راغون به‌عنوان نماد میهن‌پرستی و سرافرازی نگریسته می‌شود، مقامات تاجیک می‌خواهند که این سد بلندترین سد جهان باشد. همان‌گونه که چند سال پیش بزرگ‌ترین کتابخانه آسیای مرکزی در این کشور توسط «امام‌علی رحمان»^۳ رئیس‌جمهور این کشور گشایش یافت (Parshin, ۲۰۱۲).

به دو دلیل آسیای مرکزی محیط مناسبی برای نشان دادن این است، که چرا نماد یک سد، توسط نخبگان به‌عنوان یک ایدئولوژی ملی استفاده می‌شود. ۱- تاکنون هیچ کشوری به اندازه اتحاد جماهیر شوروی با پشتیبانی، تصویب و حتی نهادینه‌سازی (در برخی موارد) برای ایجاد ملیت در سطح نیمه دولتی نکوشیده است (منظور جمهوری‌های درون شوروی). در صورتی‌که هیچ گامی برای نهادینه کردن آن در سطح دولتی به‌عنوان یک کل برداشته نشده است. از این‌رو، چنانچه تعریف نهادینه شده‌ای

دین مشترک دارند. برخی میان یک «ملت قومی» که به ساختار اجتماعی یا نژادی وابسته است و یک «ملت مدنی» مبتنی بر هویت مشترک و وفاداری به طیف وسیعی از ایده‌ها و افکار، نهادهای سیاسی و پیوند دادن شهروندی با ملیت، تفاوت قائل می‌شوند (Shakdam, ۲۰۱۸).

امروزه ملت به مجموعه‌ای از افراد ساکن در فضای جغرافیایی مشخص و محدود از منظر سیاسی گفته می‌شود که بر پایه عوامل و خصیصه‌هایی مانند تبار و تاریخ، فرهنگ، دین، مذهب، سرزمین، قومیت، زبان و غیره نسبت به یکدیگر احساس همبستگی و همانندی می‌کنند و خود را متعلق به یک «ما» می‌دانند. به‌طوری‌که هر ملت با وجود پذیرفتن تقسیمات درونی و تمایز میان گروه‌هایش، هویتی فراتر و فراگیرتر دارد که همه اجزای درونی آن را در بر می‌گیرد. این هویت تا زمانی‌که ارزش‌های مشترک آن درخشندگی دارند و در میان اجزاء واحدهای درونی پذیرفته شده و مقبولیت عام داشته باشد، به‌طوری‌که موجب عزت و افتخار افراد ملت را فراهم آورد، از اعتبار و پایداری برخوردار است. درغیراین صورت بخش‌هایی از ملت که چنین احساسی ندارند، در جریان فرایند «واگرایی» به بازیابی هویت جدید ملی هدایت می‌شوند. هویتی که عمده‌تاً منطبق بر خصیصه‌های مشترک آنها است. چنین فرآیندهایی در دو دهه گذشته و پس از فروپاشی نظام دو قطبی جهان مشاهده می‌شود. هویت‌های ملی کلان از هم پاشید و هویت‌های جزئی‌تر، استقلال یافتند. گروه‌های قومی پیشین به سطح ملت مستقل با هویت ملی جدید ارتقا یافتند و توانستند دولت‌های جدیدی را در جغرافیای سیاسی جهان بیافرینند. تشکیل پانزده ملت و دولت جدید از تجزیه شوروی، شواهد روشنی بر این مدعا هستند. برعکس، اجزاء یک ملت یک‌دست و همگن، پس از حذف نیروهای مسلط بیرونی و خارج از حوزه‌های ملی که عامل گسست و تجزیه بوده‌اند، دوباره به هم می‌پیوندند و به هویت مشترک پیشین باز می‌گردند؛ اتحاد دو آلمان و دو یمن نمونه روشنی از این فرایند در دهه اخیر است (حافظ‌نیا، ۱۳۸۱).

براین‌اساس، ملت مفهومی ذهنی است که تحقق آن در جهان خارج، منوط به تعهد مستمر عامه مردم به حفظ آن است. هرگاه مردم به حفظ این معنی متعهد باشند، ملت باقی می‌ماند و با عزم مردم به انصراف از آن، این معنی بی‌درنگ فرو می‌پاشد و جوهره وجود خویش را از دست می‌دهد (طاهری‌عطار، ۱۳۹۲). این امر در صورتی محقق خواهد شد که دولت با تبلیغ ضرورت پیدایش یا اندیشه سیاسی خود، تابعیت مردم نواحی مختلف کشور را جلب و هویت ملی کشور را شکل دهد. در این باره، نیروها و عواملی که بر فرایند ملت‌سازی، تشکیل و بقای دولت

مستقل یا کشور تاثیر می‌گذارند، می‌توان در قالب دو الگو مطالعه کرد: الگوی نخست بر «عوامل برون‌زا و درون‌زا» و الگوی دوم بر «عوامل روبنایی و زیربنایی» استوار هستند. در الگوی نخست، عواملی مانند استعمار، تهدیدهای خارجی و هم‌اوردی قدرت‌های منطقه‌ای و جهانی ماهیتی برون‌زا دارند و عواملی همچون تاریخ مشترک، وحدت سرزمینی، فرهنگ مشترک، دین و مذهب، زبان، قومیت، نژاد، ناسیونالیسم و ... درون‌زا هستند. در الگوی دوم عواملی مانند موقعیت، وحدت سرزمینی، فرهنگ مشترک، تاریخ، زبان، دین و مذهب، قومیت و نژاد، ماهیت بنیادی دارند و عواملی مانند ناسیونالیسم، ساختار سیاسی فضا، تهدیدات بیرونی، استعمار، ایدئولوژی سیاسی، نمادهای ملی، قدرت دولت مرکزی، ساختار ارتباطی، رقابت قدرت‌ها و غیره کارکرد روبنایی دارند (حافظ‌نیا، ۱۳۸۱).

در قالب الگوی دوم، «نشانه‌ها» و «نمادها» به‌عنوان عوامل روبنایی در روند پیدایش و پایداری ملت و دولت می‌توانند نقش‌آفرینی نمایند (شکل ۱). قدرتی که سبب می‌شود، معادل آنچه از طریق توان (فیزیکی و اقتصادی)، به‌دست می‌آید به واسطه پیامدهای خاص قدرت نمادین، کسب شود. "قدرت نمادین" قدرت تشکیل داده‌ها است که از راه بیان (سخن) باعث می‌شود مردم ببینند، بشنوند و بپذیرند. شناخت اهمیت قدرت نمادین می‌تواند به فهم این واقعیت کمک کند که چگونه نمادها در اینجا سدهای بزرگ، به‌عنوان ابزاری هیدروپلیتیک، به‌وسیله نخبگان سیاسی برای ایجاد ایدئولوژی و مشروعیت بخشیدن به اقدامات خود، افزایش محبوبیت و حفظ قدرت استفاده شوند (Menga, ۲۰۱۵).

در میانه اواخر سده نوزدهم تا دهه ۱۹۷۰، نخستین مأموریت هیدرولیک سدها برای کنترل طبیعت و تسلط بر صحراها در سراسر جهان آغاز شد و برخی از بزرگ‌ترین و مهمترین پروژه‌های سد در سراسر جهان اجرایی و در داخل و خارج کشورها نمادین شدند. برای نمونه سد «ماراتون» بزرگ‌ترین دستاورد یونان پس از «پارتئون» و سد بزرگ «ه‌وور» در نوادا از این دست به شمار می‌روند. همچنین در سال ۱۹۵۴، در مراسم گشایش سد بلند «باکرا»، «جواهر لعل نهرو» نخست وزیر هند، سدها را به‌عنوان معابد هند مدرن توصیف کرد. در مصر (زمان عبدالناصر)، سد بزرگ «آسوان» که در سال ۱۹۷۱ با پشتیبانی شوروی به پایان رسید، به نقطه قانونی ملت‌سازی این کشور پس از جنگ تبدیل شد. به عبارتی ساخت سد، نه تنها برای ایجاد سامانه‌های آبیاری و برق آبی بلکه برای ساخت دولت‌های ملی بود. از این رو، طرفداران سد بلند آسوان به‌عنوان میهن‌پرست تلقی شدند و آن‌هایی که از سد انتقاد می‌کردند به‌عنوان خرابکار و حتی خائن نشان داده می‌شدند (Menga, ۲۰۱۵).

است. همان گونه که بارش در حوضه دریای آرال بسیار کم است، این روانابها به صورت کلی از ذوب برف و یخچالهای طبیعی کوهستانی کشورهای بالادست تولید می شود (امیراحمدیان و ناصری، ۱۳۹۲).



شکل ۲- موقعیت کشورهای آسیای مرکزی نسبت به رودهای آمودریا و سیردریا

در مورد «جیحون»، بیشترین سهم تولید آب، با حدود ۸۰ درصد حجم کل آب، متعلق به تاجیکستان است و این در حالی است که، ترکمنستان و ازبکستان با وجود تولید حدود ۴ و ۶ درصد، بیشترین میزان استفاده از آب را دارند. این دو کشور به ترتیب ۳۸ و ۴۸ درصد از آب را مصرف می کنند و تاجیکستان فقط ۱۵ درصد از حجم آب را مصرف می کند. در مورد «سیحون» نیز وضعیت به همین منوال است. با این تفاوت که در سیحون قزاقستان جای ترکمنستان را می گیرد. قرقیزستان نزدیک به ۷۴ درصد از آب این رودخانه را تأمین می کند، اما مصرف این کشور کمتر از یک درصد حجم کل آب است. در حالی که، ازبکستان ۵۰ درصد و قزاقستان ۴۲ درصد از آب این رودخانه را به خود اختصاص داده اند (درخور و همکاران، ۱۳۹۲). لازم به ذکر است، منابع مختلف، درصدهای مختلفی را عنوان کرده اند.

جدول ۱- سهم هر یک از کشورهای حوضه از تأمین آب رودهای آمودریا و سیردریا (کولایی و سلطانی، ۱۳۹۲)

حوضه رودخانه	آموردیا	سیردریا
کشور	(کیلومترمکعب در سال)	(کیلومترمکعب در سال)
قزاقستان	-	۴/۵۰
قرقیزستان	۱/۹۰	۲۷/۴
تاجیکستان	۶۲/۹	۱/۱
ترکمنستان	۲/۷۸	-
ازبکستان	۴/۷۰	۴/۱۴
افغانستان	۶/۱۸	-



شکل ۱- تأثیر مناسبات هیدروپلیتیک بر فرایند ملت سازی

• هیدروپلیتیک

هیدروپلیتیک گرایشی از جغرافیای سیاسی است که درهم تنیدگی مناسبات قدرت با اندرکنشهای جوامع و واحدهای سیاسی- فضایی بر سر منابع آب شیرین از مقیاس محلی تا جهانی را مطالعه می کند (کاویانی راد، ۱۳۹۸). از این رو، هرگونه مناسبات قدرت که در پیوند با آب در هر مقیاسی که نمود بیابد در قالب دانشواژه هیدروپلیتیک بررسی و واکاوی می شود. به طوری که هیدروپلیتیک به عنوان یکی از رشته های جغرافیای سیاسی که کارکرد آب را در مناسبات قدرت در قالب رویکردهای مختلف همکاری، همآوردی، تنش و جنگ کنشگران سیاسی و واحدهای سیاسی- فضایی را بررسی می کند (کاویانی راد، ۱۳۹۷).

• موقعیت هیدرولوژی آسیای مرکزی

آسیای مرکزی از منظر منابع طبیعی غنی و ذخایر بزرگی از زغال سنگ، گاز، نفت و آب دارد. اما مرزبندی های سیاسی، توزیع متوازی از این منابع در سطح منطقه ایجاد نکرده است. به طوری که در خصوص منابع آبی موجود، با وجود اینکه بسیاری از زمین های کشاورزی در قلمرو قزاقستان، ازبکستان و ترکمنستان قرار دارند اما سرچشمه آب مورد نیاز آبیاری این زمین ها بیشتر از مرزهای قرقیزستان و تاجیکستان روان است. به عبارتی ساده تر، پتانسیل کشاورزی کشورهای ازبکستان، قزاقستان و ترکمنستان، به شدت به توانش آبی تاجیکستان و قرقیزستان وابسته است (شکل ۳). در این قلمرو (آسیای مرکزی) آب مورد نیاز، بیشتر از دو رود مهم و پر آب «آمودریا» و «سیردریا» فراهم می شود، از کوهستان های «هندوکش» و «پامیر» سرچشمه می گیرند (شکل ۲). کشورهای تاجیکستان و قرقیزستان در بالادست این رودها و جمهوری های ازبکستان، ترکمنستان و قزاقستان در پایین دست این رودها قرار دارند (امیراحمدیان و ناصری، ۱۳۹۲).

رودخانه آمودریا با جریان متوسط سالانه نزدیک به ۷۸ میلیارد مترمکعب (۶۸ درصد کل حوضه)، از تاجیکستان و افغانستان سرچشمه گرفته و بین ازبکستان و ترکمنستان جریان یافته و به دریاچه آرال می ریزد. میانگین جریان سالانه رودخانه سیردریا نزدیک به ۳۷ میلیارد مترمکعب است (۳۲ درصد کل حوضه)، که بیشتر از قرقیزستان سرچشمه گرفته و از بین ازبکستان و قزاقستان جریان یافته، به دریای آرال می ریزد (شکل ۲). مجموعه جریان آبی سالانه هر دو رود، برابر حدود ۱۱۶ میلیارد مترمکعب

• وضعیت هیدروپلیتیک آسیای مرکزی

در دوره اتحاد جماهیر شوروی، در يك اقتصاد ملی، منابع و محصولات تولیدی در فرایندی یکپارچه بین جمهوری‌ها توزیع می‌شد (امیراحمدیان و ناصری، ۱۳۹۲)، در این دوره به منطقه آسیای مرکزی وظیفه تولید مواد خام و کشاورزی و به‌ویژه کشت پنبه واگذار شد (صالح آبادی، ۱۳۹۳). برنامه اتحاد جماهیر شوروی برای به زیر کشت بردن زمین‌های بی‌حاصل آسیای مرکزی، در دهه ۱۹۶۰م آغاز شد. به دنبال آن، آسیای مرکزی به‌ویژه «دره فرغانه» که در میان سه کشور ازبکستان، تاجیکستان و قرقیزستان گسترده است، به یکی از بزرگترین تولیدکنندگان پنبه جهان تبدیل شد. به همین واسطه یکپارچه‌سازی سامانه آبیاری کل منطقه در سطح کلان آغاز و دو رود مهم منطقه، یعنی آمودریا و سیردریا برای آبیاری این مزارع تقریباً به‌طور کامل از مسیر خود منحرف شدند (امیراحمدیان و ناصری، ۱۳۹۲). به این‌منظور چندین سد بر مسیر این دو رود و شاخه‌های اصلی آن بنا شد که به‌طور مشخص طرح ساخت سه سد «راغون»، «نورک» و «سنگ توده» در تاجیکستان، میراث این دوران است. به عبارتی مسکو اختلاف‌ها را حل می‌کرد. این گردش کار و تقسیم وظیفه در چارچوب اقتصاد ملی اتحاد شوروی پاسخگو بود. زیرا هم دولت مرکزی اقتدار داشت، هم جمعیت کمتر بود و هم مسائل به شکل امروزی وجود نداشت. به همین سبب بیشتر مسائل و بحران آب از اواخر دوره اتحاد شوروی که هر يك از جمهوری‌ها استقلال خود را اعلام و از دایره تقسیم کار اقتصادی اتحاد شوروی بیرون شدند، بروز کرد (امیراحمدیان و ناصری، ۱۳۹۲).

با فروپاشی شوروی سامانه کنترل مرکزی جریان آب در منطقه نیز از میان رفت و استفاده از آب که در گذشته مسئله‌ای داخلی به شمار می‌آمد به موضوعی بین‌المللی و مورد مناقشه میان این کشورها تبدیل شد که هر یک بر حاکمیت بر منابع سرزمینی خود تأکید می‌کنند (رضایی اسکندری، ۱۳۸۹). در «نظام اشتراک انرژی شوروی» کشورهای پایین‌دست رودخانه، «امنیت غذایی» و کشورهای بالای رودخانه «امنیت انرژی» داشتند. در غیر این صورت یک طرف در زمستان یخ می‌زد و طرف دیگر غذایی برای خوردن نداشت. تا چند سال پس از فروپاشی شوروی هنوز هم این سامانه کار می‌کرد، اما کشورهای ثروتمند پایین رودخانه، فروش برق و گاز به کشورهای خارجی را، سودآورتر از مبادله تهاتری با کشورهای همسایه دانستند. از این‌رو، ازبکستان از سال ۲۰۰۹ فروش برق به افغانستان را آغاز کرد و به طور کلی تجهیزات را از آسیای مرکزی بیرون کشید. این بدان معنا بود که کشورهای بالادستی، از نظر انرژی فقیر بودند و باید این بهای منابع انرژی را بپردازند. درحالی‌که کشورهای بالادست فاقد منابع مالی کافی، برای خرید این منابع هستند. بنابراین تاجیکستان و قرقیزستان به فکر استفاده بیشتر از ذخایر آبی‌شان افتادند. بنابراین به ایجاد

طرح‌هایی برای نیروگاه‌های برق آبی روی آوردند و اقدامات دیگری برای جلوگیری از کمبود انرژی در زمستان انجام دادند (Kleingeld, ۲۰۱۶).

• پروژه ساخت سد راغون

در نوامبر ۲۰۱۸، نخستین توربین نیروگاهی تولید برق، بر روی بلندترین سد آبی جهان در تاجیکستان گشایش یافت (Euronews, ۲۰۱۸). این سد یکی از سه طرح برق آبی پیشنهادی روی رودخانه وخش و از سرشاخه‌های اصلی رودخانه آمودریا است. در دهه ۱۹۶۰ اتحاد جماهیر شوروی طرح ساخت سه سد راغون، نورک و سنگ توده را در انداخت. دومین در سال ۱۹۷۲ و سومین در سال ۲۰۰۸ به کار افتادند. اما پروژه راغون همچنان نهایی نشده است. نورک که ۷۰ کیلومتر پائین‌تر از سد راغون قرار دارد به بلندی ۳۰۰ متر و قدرت ۳ هزار مگاوات، دومین سد بلند جهان است. راغون به‌عنوان بلندترین سد جهان، ساختار دو منظوره‌ای برای مدیریت آبیاری و برق آبی شامل یک سازه بلند ۳۳۵ متری، مخزنی با حجم ۱۳/۳ کیلومترمکعب و شش دستگاه توربین است و قرار است تا ده سال آینده در مجموع ۳۶۰۰ مگاوات برق تولید کند (Schmidt, ۲۰۰۷). ساخت این نیروگاه در دوران اتحاد جماهیر شوروی (۱۹۸۲) آغاز و با وجود این که دو سوم آن تکمیل شده بود، با سرنگونی شوروی در ۱۹۹۱ متوقف ماند. مهم‌ترین بخش آن نیز توسط سیل در سال ۱۹۹۳ ویران شد (Yerofeyeva, ۲۰۰۲). این سیل به همراه مدیریت نامناسب ناشی از جنگ داخلی (از ۵ می ۱۹۹۲ تا ۲۷ ژوئن ۱۹۹۷)، بسیاری از ساختار موجود را نابود و دو دهه کوشش و سرمایه‌گذاری ۸۰۰ میلیون دلاری را نافرجام گذاشت (Fradchuk, ۲۰۱۰).

در پی یافتن سرمایه‌گذار جدید برای ادامه‌ی اجرای پروژه، رئیس جمهور تاجیکستان در سال ۲۰۰۴، متوجه مسکو شد. میان تاجیکستان و روسیه درباره بنیاد این نیروگاه توافق ایجاد شد و هزینه ساخت آن بیش از دو میلیارد دلار برآورد شد. هدف شرکت روسی «روسال» تولید برق برای گسترش کارخانه ذوب آلومینیوم راغون بود (کولایی و سلطانی، ۱۳۹۲). با این وجود، پس از چند سال، در سال ۲۰۰۷ روسال و تاجیکستان نتوانستند درباره ارتفاع سد توافق کنند. روسال ارتفاع ۲۸۵ متر را توصیه کرد اما دولت تاجیکستان تصمیم گرفت تا به طرح ساخت سد ۳۳۵ متری بپردازد و همکاری خود را با روسال پایان دهد (Kleingeld, ۲۰۱۶).

زمستان سال‌های ۹-۲۰۰۸، و کمبود شدید برق در این کشور، باعث شد که ساخت سد حتی اولویت بیشتری نسبت به گذشته برای دولت تاجیکستان ایجاد نماید (Parshin, ۲۰۰۸). بحران زمستان ۲۰۰۹ تاجیکستان نشانه کوچکی از این واقعیت بود که خدمات شبکه مشترک آب و انرژی میان پنج جمهوری سابق

شوروی مختل شده است [این کشور به‌طور جدی‌تر باید به فکر امنیت انرژی خود باشد]. در یک شب یخبندان زمستانی در ژانویه ۲۰۰۹ قطع برق به‌طور فاجعه باری بخش‌هایی از دوشنبه پایتخت تاجیکستان را در تاریکی فرو برد. بنابراین پس از لغو قرار داد روسال، دولت برای انجام این پروژه به حمایت کامل داخلی چشم دوخت. به دنبال راه‌حل جدید، در سال ۲۰۱۰، حکومت شروع به فروش اوراق قرضه به مردم کرد. رئیس‌جمهور در نطق سالانه‌اش از شهروندان شایسته که وطن خود را دوست داشتند، خواست تا نقشی فعال در ساخت سد راغون داشته باشند. وی این موضوع را مسئله "مرگ و زندگی" نامید که می‌تواند استقلال انرژی تاجیکستان را از ازبکستان تضمین کند (Menga, ۲۰۱۵).

دولت انتظار داشت، هر فرد بالغ تاجیک، حداقل ۶۹۰ دلار

یافته‌های پژوهش

تاجیکستان به‌عنوان یکی از ده کشور برتر از منظر منابع بالقوه انرژی برق آبی، به‌طور طبیعی به دنبال توسعه این بخش است. در حال حاضر نزدیک به ۷۰ درصد از کشور پیوسته کمبود برق دارد (Bologov, ۲۰۱۶). ۹۳ درصد از مساحت این کشور کوهستانی است و از جمله مشکلاتی که این جمهوری با آن روبه‌رو است، کمبود شدید سوخت در نواحی روستایی در فصل زمستان است. ۷۲ درصد جمعیت این کشور در نواحی روستایی زندگی می‌کنند و مردم این مناطق که بیشتر فقیر هستند، ناتوان از پرداخت هزینه‌های مربوط به سوخت هستند (کولایی و سلطانی، ۱۳۹۲). بنابراین، مصرف‌کنندگان روستایی روزانه تنها ۵ تا ۷ ساعت در روز برق دارند. درحالی‌که امروزه ۹۴ تا ۹۸ درصد از برق تاجیکستان توسط نیروگاه‌های برق آبی تولید می‌شود. با این حال، در زمستان، این نیروگاه‌های برق آبی نمی‌توانند با ظرفیت کامل خود فعالیت کنند. این نیروگاه‌ها در تابستان، برق تولیدی مازاد دارند اما به دلیل ناپایداری، این مازاد هر سال از دست می‌رود (GARCÉS, ۲۰۱۴). به عبارتی چون برق مانند نفت، گاز و یا دیگر سوخت‌های فسیلی قابلیت ذخیره‌سازی (به شکل انبوه) را ندارد، این مازاد تولید بلااستفاده، هدر می‌رود. از این رو، کمبود انرژی، بسیاری از شرکت‌ها را وادار می‌کند که به‌صورت فصلی کار کنند و مشکلات تأمین گاز طبیعی توسط همسایگان، تعدادی از کارخانه‌های صنعتی مانند شرکت آلومینیوم تاجیک و تالکو را متوقف کرده است (Jafarova, ۲۰۱۴). در حالی‌که اقتصاد تاجیکستان بر تولید برق آبی، آلومینیوم و پنبه استوار است. کشاورزی ۲۳ درصد تولید ناخالص داخلی را تأمین می‌کند و

سهام خریداری کند تا ۶۰۰ میلیون دلار لازم برای شروع ساخت راغون فراهم شود. در حالی‌که برای بیشتر مردم تاجیکستان این مبلغ از درآمد سالانه آن‌ها هم تجاوز می‌کند (Marat, ۲۰۱۰). به این ترتیب از ۴/۱ میلیارد دلار مورد نظر، شهروندانی که چاره‌ای جز خرید اوراق قرضه نداشتند، ۱۸۴ میلیون (کمتر از ۱۰ درصد مبلغ مورد نیاز) ارائه کردند. در نهایت در تابستان ۲۰۱۶ دولت تاجیکستان با شرکت ایتالیای «سالینا ایمپرگیلو» قرارداد چند میلیارد دلاری احداث راغون را امضا کرد و بر پایه توافقنامه ساختمان اساسی نیروگاه راغون را مرحله به مرحله، ادامه خواهد داد. ارزش قرار داد سه میلیارد و ۹۰۰ میلیون دلار است (www.diplomaticsquare.com)، که براساس نقشه فاز اول، چرخه اول نیروگاه آخر سال ۲۰۱۸ و فاز دوم ماه آوریل سال ۲۰۱۹ به بهره‌برداری خواهد رسید.

سهم این بخش در اشتغال ۶۷ درصد است. نزدیک ۸۰ درصد درآمد صادرات این کشور هم از این سه عامل به‌دست می‌آید. آب مهم‌ترین عامل تولید کالاهای صادراتی، آلومینیوم و پنبه است. صنعت آلومینیوم این کشور حدود ۴۰ درصد کل انرژی برق را مصرف می‌کند (کولایی و سلطانی، ۱۳۹۲). بنابراین تاجیکستان، ساخت سد راغون روی رودخانه وخش را نه تنها به‌عنوان ابزاری برای امنیت انرژی و رشد اقتصادی می‌شمارد بلکه آرزو دارد این سد به یک صادرکننده برق منطقه‌ای تبدیل شود (skoba, ۲۰۱۳).

از سوی دیگر تحقیقات نشان می‌دهد، پیدایش دولت یا کشور تاجیکستان در دهه ۱۹۲۰ به دگرگونی ژرفی درباره دیدگاه تاجیک‌ها درباره خودشان و ایجاد هویت ملی تاجیکی که پیش از این وجود نداشت، شده است. پیدایش تاجیکستان نتیجه ملی‌گرایی تاجیک‌ها نبود بلکه صرفاً زمان تولد آن رسیده بود (Bergne, ۲۰۰۷)، و این هویت ملی جدید تقریباً بلافاصله با هویت ازبکی برخورد کرده بود و در واقع، ادعاهای دولت‌ها در مورد توطئه مداوم ازبکستان برای تضعیف تاجیکستان و یکپارچگی آن به‌عنوان یک ملت، باعث ایجاد ملی‌گرایی رو به توسعه در تاجیک‌ها شد (Heathershaw and Herzig, ۲۰۱۳).

همچنین لازم به ذکر است، پیشینه هم‌آوردی میان دو کشور، تنها مربوط به سد راغون و رقابت منطقه‌ای نبوده بلکه اختلافات ارضی و قومی بخشی از میراث شوروی برای این دو ملت است. قرار گرفتن سمرقند و بخارا به‌عنوان دو کانون مهم تمدنی تاجیکان در قلمرو ازبکستان، زمینه نخستین اختلاف و تنش میان ازبکان و تاجیکان در دوران معاصر است، که نخستین سنگ بنای آن در زمان شوروی گذاشته شد.

براین اساس، زمانی که جمهوری سوسیالیستی ازبکستان شوروی در سال ۱۹۲۴ به عنوان یکی از جمهوری‌های اتحاد جماهیر شوروی سر برآورد تاجیکان در قالب جمهوری سوسیالیستی خودمختار تاجیکستان شوروی تحت حاکمیت ازبکان قرار گرفتند و این واحد خودمختار بخشی از جمهوری سوسیالیستی ازبکستان شوروی شد. این وضعیت بیش از پنج سال طول کشید و در سال ۱۹۲۹، جمهوری سوسیالیستی تاجیکستان شوروی به عنوان یک جمهوری مستقل وارد تقسیمات اتحاد جماهیر شوروی شد. اما این تحول به معنی خروج کامل تاجیکان از

تجزیه و تحلیل

• راغون: نماد میهن پرستی و موفقیت داخلی

از این دیدگاه ارزش نمادینی که برخاسته از سد راغون است در سال‌های اخیر محور تولید ایده‌ای شده است که توسط دولت گسترانده می‌شود، تا خود را مشروع جلوه داده، به اجماع رسیده و یکپارچگی ملی ایجاد کند. تأثیر متحدکننده این طرح نمادین در حالی می‌تواند به ایجاد هویت ملی مشترک کمک کند، که به حفظ ریاست جمهوری "رحمان" و حلقه نزدیک‌شان در قدرت نیز کمک می‌کند. چرا که ظاهراً این سد می‌تواند نمادی از خودکفایی و موفقیت ملی باشد. در راستای این دیدگاه، ساخت راغون به عنوان موضوع سربلندی ملی، جهشی اساسی در توسعه ملی، دستاوردی بنیادی برای بقای کشور و در نهایت به عنوان موضوع مرگ و زندگی در نظر گرفته شده است (Parshin, ۲۰۱۲). چرا که آب و تولید برق آبی، نقش مهمی در زندگی و اقتصاد تاجیک‌ها دارد. سهم ۲۳ درصدی بخش کشاورزی در تولید ناخالص داخلی، ۶۷ درصدی در اشتغال و ۸۰ درصدی در صادرات، نشان از اهمیت نقش آب و برق آبی برای این کشور دارد.

از طرفی، تاجیکستان، ساخت سد راغون روی رودخانه وخش را نه تنها به عنوان ابزاری برای امنیت انرژی و رشد اقتصادی می‌بیند بلکه آرزو دارد که تبدیل به صادرکننده برق منطقه‌ای شود (skoba, ۲۰۱۳). به گونه‌ای که اگر راغون فرجام بیابد افزون بر اینکه کمبود انرژی تاجیکستان را کاملاً برآورده می‌سازد به این کشور اجازه می‌دهد سالانه حدود ۱۳ میلیارد کیلووات ساعت برق تولید کند. این وضعیت بدین معناست که کشور افزون بر فراهم‌سازی تقاضای داخلی خود، می‌تواند به صادرکننده بزرگ برق در منطقه تبدیل شود (Jafarova, ۲۰۱۴). از این رو، اگر راغون به عنوان نماد میهن‌پرستی و موفقیت نگرسته می‌شود، «رحمان» خواستار آن است که این سد بلندترین سد جهان باشد (Parshin, ۲۰۱۲).

تسلط و حاکمیت ازبکان نبود. زیرا سمرقند و بخارا به عنوان دو کانون مهم و سنتی فرهنگی، تاریخی و تمدنی تاجیکان از آن زمان تاکنون در قلمرو جمهوری سوسیالیستی ازبکستان قرار داشتند. مهمترین نگرانی تاجیکان، تضعیف و در نهایت نابودی فرهنگ فارسی و تاجیکی در سمرقند و بخارا، به واسطه فرایند ازبکی‌سازی این مناطق است. بر اساس آماری که مردم‌شناسان در اوایل سده بیستم ارائه کردند، تناسب جمعیتی ازبک‌ها به تاجیک‌ها در بخارا، سمرقند و وادی فرغانه سه به هفت می‌باشد (کوزه‌گر کالجی، ۱۳۹۷ الف).

• راغون: نماد همبستگی ملی در برابر دشمن خارجی

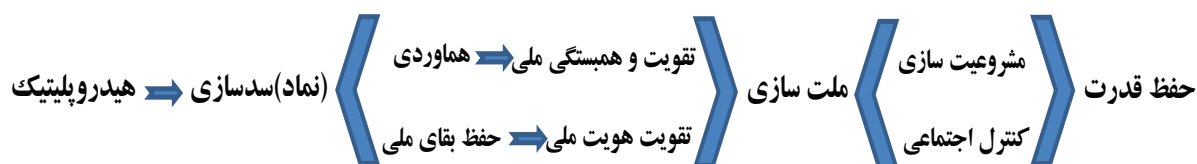
شواهد نشان می‌دهد، افزایش تقاضا برای آب، با رشد ملی‌گرایی و رقابت میان جمهوری‌های آسیای مرکزی همراه بوده است (کولایی و سلطانی، ۱۳۹۲). رقابتی که در قالب حس میهن‌پرستی و با ابزار هویت ملی دنبال می‌شود. در این باره ظاهراً نمادها نقش مهمی در سیاست تاجیکستان بازی می‌کنند. استفاده از این نمادها نخستین بار در غالب پرچم این کشور گنجانده شد. رنگ‌های پرچم ملی ایران که وارونه شده و رنگ سبز، که رنگ اسلام است (Seth and Roy, ۲۰۰۲). در این فرآیند، به نظر سه عنصر سلطنت سامانیان که نماد استقلال و قدرت تاجیکان است، احیای آیین زرتشت و اسطوره آریایی بودن، محوریت دارند (Blakkisrud and Nozimova, ۲۰۱۰). این مسئله می‌تواند کلید توجیه دولت تاجیکستان طی بیست سال گذشته برای تحقق پروژه‌ای باشد که علاوه بر اینکه قدیمی است و هزینه زیادی از منابع ملی صرف تأمین مالی‌اش شده، منجر به بدتر شدن روابطش با همسایگان به‌ویژه ازبکستان شده است. از این دیدگاه، سد راغون در وهله نخست در گفتمان تاجیکستان قرار گرفته است تا از موقعیت و هویت خود در منطقه دفاع کند. تاجیکستان به وضوح به دنبال تقویت جایگاه خود در منطقه است. درحالی که ازبکستان در نظر دارد جایگاهی به عنوان «هژمون منطقه‌ای» داشته باشد. به عبارتی برنامه ادامه ساخت سد راغون بر گفتمان دو کشور در این زمینه تأثیر گذاشته است. زیرا این سد تهدیدی برای موقعیت ازبکستان در منطقه است و می‌تواند ابزاری برای تقویت موقعیت تاجیکستان در آسیای مرکزی باشد. ازبکستان به واسطه داشتن مرز مشترک با همه کشورهای این منطقه بر این باور است که باید به ایفای نقش ویژه در این منطقه بپردازد. نقشی که می‌توان آن را به عنوان تمایل به تبدیل شدن به هژمون منطقه‌ای تفسیر نمود. ازبکستان بزرگ‌ترین نیروی نظامی در منطقه است و فرض بر این است که می‌خواهد هژمون منطقه‌ای باشد. زمانی که تاجیکستان به دلیل رشد اقتصادی و ایجاد وحدت ملی قوی‌تر می‌شود، این مسئله می‌تواند تهدیدی برای موقعیت ازبکستان در منطقه باشد. تاجیکستان بدون سد راغون همچنان

به کشورهای دیگر وابسته است و در منطقه بازیگری ضعیف باقی می‌ماند. اما زمانی که موقعیت تاجیکستان در منطقه تقویت شود، ازبکستان تسلط خود بر کشورهای آسیای مرکزی را از دست خواهد داد. براین اساس، سد راغون تهدیدی برای نفوذ ازبکستان بر تاجیکستان در منطقه است. بنابراین برای اینکه تاشکند هویت خود را به عنوان هژمون منطقه‌ای توسعه دهد، باید با هرگونه پیشرفتی که به کاهش قدرت منطقه‌ای آن بیانجامد، مقابله کند (Kleingeld, 2016). از طرفی وابستگی انرژی تاجیکستان به ازبکستان یک مشکل برای توسعه اقتصادی این کشور است چرا که این کشور نمی‌تواند در مورد ارسال گاز از ازبکستان اعتماد کند.

در این راستا تلاش تاجیک‌ها برای دستیابی به اهدافشان از راه طرح‌های همکاری منطقه‌ای است. این کشور که از نظر اقتصادی ضعیف‌ترین کشور منطقه است که به خاطر موقعیت جغرافیایی خود، وابستگی زیادی به دیگر کشورها دارد، در تلاش است تا از پس فروپاشی شوروی، موجودیت و منافع خود را از این طریق، حفظ کند. افزون بر این، تجربه جنگ و درگیری داخلی، این کشور را به کشوری شکننده مبدل ساخته است. لذا به هر ابتکار همکاری منطقه‌ای می‌پیوندد تا امنیت اقتصادی و نظامی خود را به کمک دیگر کشورها فراهم کند. دولت برای تقویت

اقتصاد تاجیکستان و در ادامه پروژه راغون، متعهد به پروژه «کاسا ۱۰۰۰» شده است. این پروژه که هدف آن ایجاد یک بازار برق برای آسیای مرکزی و جنوب آسیا است کشورهای قرقیزستان، تاجیکستان، افغانستان و پاکستان را دربرمی‌گیرد (Kleingeld, 2016). طرح انتقال برق کاسا ۱۰۰۰ که توافق مقدماتی آن در «کنفرانس همکاری‌های اقتصادی منطقه‌ای (ریکا)» در سال ۲۰۰۷ صورت گرفت، علاوه بر اینکه مازاد صادرات برق دو کشور تاجیکستان و قرقیزستان را در شش ماه اول سال (یعنی از اوایل اردیبهشت تا نیمه مهرماه) به افغانستان و پاکستان انتقال می‌دهد و به صورت تهاتری نفت خام افغانستان را به تاجیکستان می‌رساند (کوزه‌گر کالجی، ۱۳۹۷ ب)، به واسطه پیوند امنیت انرژی جنوب آسیا به امنیت آسیای مرکزی، موجب تقویت موضع تاجیک‌ها در برابر هژمونی ازبک‌ها خواهد شد.

به این ترتیب در راهبردی که با هدف مشروعیت بخشیدن به قدرت انجام می‌شود، دولت تاجیکستان این سد را به عنوان عنصری اصلی در روند ساخت کشور و نماد میهن‌پرستی و هویت ملی به تصویر کشیده است. زیرا این سد هم می‌تواند نمادی از خودکفایی و موفقیت ملی باشد و هم مردم تاجیک را در باره ایده ملی و پایداری در برابر یک دشمن خارجی با هم متحد کند.



شکل ۴- اهداف دولت تاجیک در اجرای پروژه راغون

و نمادها به عنوان عوامل رو بنایی می‌توانند در روند پیدایش و پایداری ملت و بقای کشور نقش بنیادی ایفا کنند و نخبگان حاکم اغلب از آنها برای برانگیختن و بسیج ملت بهره می‌گیرند. این وضعیت در قالب نمادها نقش مهمی در سیاست تاجیکستان دارند. این نمادها نخستین بار در غالب پرچم ملی این کشور استفاده شد. رنگ‌های پرچم ملی ایران که وارونه شده و رنگ سبز، که رنگ اسلام است.

به این ترتیب، استدلال می‌شود، ارزش نمادینی که به واسطه ساخت سد راغون به دست آمده در سال‌های اخیر محور تولید ایدئولوژی است و توسط دولت ترویج می‌شود. با ساخت ایدئولوژی سد راغون، نخبگان سیاسی تاجیک قبل از هرگونه هموردی با رقبای منطقه‌ای (ازبکان) درصدد هستند، توجه مردم را از گرفتاری‌ها و چالش‌های ساختاری و جاری کشور منحرف‌کنند، آینده بهتری برای مردم خود نوید داده، با برانگیختن حس موفقیت و غرور ملی، ضمن تقویت هویت ملی و راه بقای کشور و حاکمیت خود را حفظ کنند. از طرفی

نتیجه‌گیری

نیروها و عواملی را که بر فرایند ملت‌سازی، تشکیل و بقای دولت مستقل یا کشور تاثیر می‌گذارند را می‌توان در قالب دو الگو مطالعه کرد: الگوی نخست بر عوامل برون‌زا و درون‌زا و الگوی دوم بر عوامل رو بنایی و زیربنایی استوار هستند. در الگوی نخست، عواملی مانند استعمار، تهدیدهای خارجی و هموردی قدرت‌های منطقه‌ای و جهانی ماهیتی برون‌زا دارند و عواملی مانند تاریخ مشترک، وحدت سرزمینی، فرهنگ مشترک، دین و مذهب، زبان، قومیت، نژاد، ناسیونالیسم و ... درون‌زا هستند. در الگوی دوم عواملی مانند موقعیت، وحدت سرزمینی، فرهنگ مشترک، تاریخ، زبان، دین و مذهب، قومیت و نژاد، ماهیت بنیادی دارند و عواملی نظیر ناسیونالیسم، ساختار سیاسی فضا، تهدیدات بیرونی، استعمار، ایدئولوژی سیاسی، نمادهای ملی، قدرت دولت مرکزی، ساختار ارتباطی، رقابت قدرت‌ها و غیره کارکرد رو بنایی دارند. از این رو، در قالب الگوی دوم، نشانه‌ها

سد راغون و مخالفت ازبکستان با ساخت آن می‌تواند به‌عنوان نوعی از هماوردی (رقابت)، برای تقویت تبلیغات ملی‌گرایانه جهت همبستگی ملی در برابر دشمن ازبک بهره‌برداری شود. اگر سد بزرگ نماد ملت باشد، کسانی که ساخت آن را به چالش می‌کشند دشمن ملت هستند. بنابراین ساخت سد علیه اراده کشور همسایه می‌تواند به‌عنوان نمادی از همبستگی ملی تاجیکان مطرح شود و حق حیات و تعیین سرنوشت کشور را ترسیم می‌کند. همان‌گونه که ذکر شد، این موضوع در پیوند با موقعیت سیاسی آسیای مرکزی است و در آنجا قلمروداران چارچوب قانونی از طریق اختراع نمادهای ملی، در قالب پیروزی‌های انتخاباتی، نوشته‌های تاریخی، پرچم‌ها و سرودهای مذهبی، پول، پایتخت و بناهای تاریخی ملی ایجاد کردند. تصور می‌شود، نگرانی اصلی حاکمان اقتدارگرای آسیای مرکزی حفظ قدرت است و راه اصلی برای این کار بدون استفاده از نیروی نظامی، بهره‌گیری از نمادهاست، چرا که نمادگرایی نقش مهمی در سیاست‌های منطقه‌ای ایفا می‌کند. نخبگان سیاسی آسیای مرکزی به‌ویژه روسای جمهور تاکید فراوانی بر تولید ایدئولوژی‌های ملی دارند که می‌تواند به مشروعیت آنها بیانجامد و آنها را در حفظ انحصار بر تولید نمادها موفق نماید.

منابع

- امیراحمدیان، ب. و ناصری، م. ۱۳۹۲. بحران آب در آسیای مرکزی: با تأکید بر مناقشه کشورهای منطقه بر سر مسئله آب. فصلنامه مطالعات اوراسیای مرکزی، ۶(۱۲): ۱-۲۰.
- حافظ‌نیا، م. ۱۳۸۱. جغرافیای سیاسی ایران. انتشارات سمت.
- درخور، م. و فرجی‌راد، ع. و میرهاشمی، ع. ۱۳۹۲. بحران آب و نتایج زیست‌محیطی آن در آسیای مرکزی. فصلنامه مطالعات اوراسیای مرکزی، ۶(۱۲): ۴۱-۵۴.
- رضایی اسکندری، د. ۱۳۸۹. چشم انداز جهانی بحران آب: مطالعه موردی بحران آب در آسیای مرکزی؛ دلایل و راهکارها. فصلنامه آسیای مرکزی و قفقاز، ۱۷(۶۹): ۵۱-۷۴.
- صالح‌آبادی، ر. ۱۳۹۳. بررسی چالش‌های هیدروپلیتیک منابع آب در منطقه ژئوپلیتیک آسیای مرکزی. فصلنامه سیاست خارجی، ۲۸(۲): ۳۴۷-۳۸۱.
- طاهری‌عطار، غ. ۱۳۹۲. طراحی و تبیین الگوی ملت‌سازی پایدار. فصلنامه‌ی پژوهش‌های راهبردی سیاست، ۲(۷): ۳۴-۶۷.
- کولایی، ا. و سلطانی، م. ۱۳۹۲. مسئله آب و روابط کشورهای آسیای مرکزی. فصلنامه سیاست جهانی، ۲(۳): ۷-۳۴.
- کاویانی‌راد، م. ۱۳۹۷. جزوه درسی هیدروپلیتیک، منتشر نشده.

بنابراین، اگر چه رئیس‌جمهور "رحمان" اغلب اعلام کرده است، دستیابی به استقلال انرژی هدف اصلی سیاست داخلی تاجیکستان برای ساخت این سد است، اما مشخص است ساخت راغون چیزی فراتر از دست یافتن به امنیت انرژی است. سد راغون مانند دیگر زیرساخت‌ها به‌جای اینکه به‌عنوان هدف باشند، به ابزاری برای رسیدن به هدف مبدل شده است. بنابراین راغون خلاصه‌ای از جاه‌طلبی‌های رئیس‌جمهور "رحمان" برای ایجاد هویت ملی و دفاع از منافع کشور مستقل خود از راه یک ساختار بزرگ می‌باشد. به‌عبارتی دولت تاجیک از قدرت نمادین سد نه تنها برای بهره‌مندی از مزایای فیزیکی و اقتصادی استفاده می‌کند، بلکه برای ساختن یک ملت، یک واقعیت خاص و ایجاد نظم اجتماعی مورد نظر خود، استفاده می‌کند.

پی‌نوشت

- 1-Raghun Dam
- 2-Vakhsh River
- 3-Emomali Rahmo
- 4-Joseph Stalin

- دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی.
- کاویانی‌راد، م. ۱۳۹۸. هیدروپلیتیک: سویه‌ها و رویکردها، انتشارات پژوهشکده مطالعات راهبردی. چاپ اول. تهران.
- کوزه‌گر کالجی، و. ۱۳۹۷ الف. بهبود مناسبات ازبکستان و تاجیکستان؛ آیا خواب دوشنبه و تاشکند تعبیر خواهد شد؟ موسسه مطالعات ایران. www.iras.ir/fa/www.iras.irfa/doc/note/3136
- کوزه‌گر کالجی، و. ۱۳۹۷ ب. منافع و ملاحظات کشورهای خارج از طرح انتقال برق کاسا ۱۰۰۰. موسسه مطالعات ایراس. www.iras.ir/fa/doc/article/3671
۲۰۱۸. افتتاح بلندترین سد جهان در تاجیکستان؛ دوشنبه صادرکننده برق می‌شود. خبرگزاری یورونیوز.
- <https://per.euronews.com/2018/11/16/highest-dam-in-the-world-inaugurated-in-tajikistan-country-to-export-electricity>
- Bologov P. 2016. The Rogun Dam: A Source of Division in Central Asia. <https://carnegie.ru/commentary/66334>.
- Blakkisrud H. and Shahnoza N. 2010. History writing and nation building in postindependence Tajikistan. Nationalities Papers, 38(2): 173-89.

- the case of Rogun in Tajikistan. *Nationalities Papers*, 43(3): 479-494.
- Parshin K. 2008. Tajikistan: Citizens Ponder Bleak Future Amid Harsh Winter, *Eurasianet*, January 23, 2008, Accessed April 16, 2016, <http://www.eurasianet.org/node/61697>.
- Parshin K. 2012. Tajikistan: Dushanbe Building Boom Blocks Out Economic Concerns. *Eurasianet.org*, May 1. Accessed October 12, 2012. <http://www.eurasianet.org/node/65340>.
- Roy A. and Aradhana S. 2002. *Dam/age: A film with Arundhati Roy*. Brooklym, NY: First Run/Icarus Films.
- Schmidt R. 2007. Feasibility study for completion of the Rogun scheme, Tajikistan. *Hydropower & Dams*.
- Shakdam C. 2018. Nation-Building and the politics of state-building: the French example and its limitations. *Al-Bayan Center for Planning and Studies*.
- Skoba L. 2013. Transboundary water management The Rogun Dam in Tajikistan. *Library of the European Parliament*.
- Yerofeyeva N. 2002. Rogunskaya GES v Tadjhikistane budet dostroyena. No dlya etogo nuzhny inostrannyye investitsii. *Rossiyskaya Gazeta*, October.
- ROGUN Hydroelectric Power Plant (HPP). 2016. www.diplomaticsquare.com/rogun-hydroelectric-power-plant-hpp.
- Bergne P. 2007. *The birth of Tajikistan: National identity and the origins of the Republic*. London: I.B. Tauris.
- Fradchuk A. 2010. "Tajikistan's Energy Dilemma." *Institute for War and Peace Reporting*, February 15. Accessed March 12, 2012. <http://iwpr.net/report-news/tajikistans-energy-dilemma>.
- GARCÉS Fernando. 2014. The World Bank considers feasible the building of the Tajik Rogun dam. *Policy Department, Directorate-General for External Policies. European Parliament*.
- Heathershaw J. and Edmund H. 2013. *The transformation of Tajikistan: The sources of statehood*. ThirdWorlds. London: Routledge.
- Jafarova A. 2014. Uzbekistan criticizes WB report on Rogun HPP. www.azernews.az/analysis/69365.html.
- Kleingeld E. 2016. *The Rogun Dam in Tajik-Uzbek Official Discourse*. Thesis submitted to the Faculty of Humanities Master Russian and Eurasian Studies. Leiden University.
- Kai W K. 2008. Hydro-hegemony in the Amu Darya Basin. *Water Policy*, vol. 10, no 52, Londres, 2008.
- Marat E. 2010. Will Tajikistan Successfully Construct Rogun? . *Eurasia Daily Monitor*, 7(17): (<https://jamestown.org/analyst/erica-marat>).
- Menga F. 2015. *Building a nation through a dam*:

Application of the Asymmetric Nash Bargaining Method to Optimal Allocation of Shared Water Resources under Water Bankruptcy Condition

M. Iranshahi¹, S. Marofi^{2*}, O. Nasiri Gheidai³

1,2- Graduate of Master of Water Resources Engineering and Professor of Water Science and Engineering, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran. 3- PhD in Water Resources Engineering and expert of Zanjan Regional Water Organization, Iran.

*(Corresponding Author Email: Marofisafar59@gmail.com)

Received: 24-08-2020

Accepted: 30-09-2020

به‌کارگیری روش چانه‌زنی نش نامتقارن جهت تخصیص بهینه منابع آبی مشترک در شرایط ورشکستگی

معین ایرانشاهی^۱، صفر معروفی^{۲*}، امید نصیری قیداری^۳

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب و استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران. ۳- دکترای مهندسی منابع آب، کارشناس سازمان آب منطقه‌ای استان زنجان، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Marofisafar59@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۰۳

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۰۹

Abstract

Under conditions of water scarcity due to limited water resources and improper exploitation, management based on the characteristics of flexibility, equity and sustainability of water resources can play an important role in preventing the continuation of the crisis and the reduction of water conflicts. In this study, using a combination of bankruptcy and asymmetric Nash bargaining concepts, the framework was presented for the optimal allocation of shared water resources. The Atrak basin including Golestan, North Khorasan and Razavi Khorasan provinces was considered as a case study. First, water allocation in this basin was done by Nash optimization model in symmetric and asymmetric states. In addition to this model, common methods in the bankruptcy approach were used and compared with Nash bargaining model. The results showed that in terms of different assumptions, the proposed bargaining model is able to cover the results of common bankruptcy laws. Also, the involvement of water production potential in determining water weight can be an important step towards more equitable water allocation. In this case, water allocation of Golestan, North Khorasan and Razavi Khorasan provinces is 138, 902 and 174 million cubic meters per year, respectively. The results of sensitivity analysis indicated that with relative weight change, the percentage of water supply changed. The research findings suggest that the proposed flexible model, by providing negotiation capabilities, can be considered as an effective management tool for solving common problems of shared water resources allocation.

Keywords: Sensitivity Analysis, Water Allocation, Nash Bargaining, Atrak Basin, Bankruptcy.

چکیده

تحت شرایط کمبود آب ناشی از محدودیت منابع آب و بهره‌برداری بی‌رویه، مدیریت مبتنی بر مشخصه‌های انعطاف‌پذیری، عدالت و پایداری منابع آب می‌تواند نقش مهمی در جلوگیری از ادامه روند بحران‌زا و کاهش نزاع آب‌بران ایفا نماید. در این پژوهش با استفاده ترکیبی از مفاهیم ورشکستگی و چانه‌زنی نش نامتقارن، به ارائه چارچوب تخصیص بهینه منابع آبی مشترک پرداخته شد. حوضه آبریز اترک شامل استان‌های گلستان، خراسان‌های شمالی و رضوی به‌عنوان مطالعه موردی منظور شد. ابتدا به‌وسیله مدل بهینه‌سازی نش در حالت متقارن و نامتقارن تخصیص آب در این حوضه صورت پذیرفت، در کنار این مدل از روش‌های متداول در رویکرد ورشکستگی نیز استفاده شد و با مدل چانه‌زنی نش مقایسه شد. نتایج نشان داد با لحاظ مفروضات مختلف، مدل چانه‌زنی پیشنهادی قادر به پوشش نتایج قوانین ورشکستگی متداول می‌باشد. همچنین دخیل نمودن پتانسیل آب تولیدی در تعیین وزن آب‌بران در مدل چانه‌زنی نش نامتقارن می‌تواند گام مهمی در جهت تخصیص عادلانه‌تر آب باشد و در این حالت تخصیص آب استان‌های گلستان و خراسان‌های شمالی و رضوی به‌ترتیب ۱۳۸، ۹۰۲ و ۱۷۴ میلیون متر مکعب در سال می‌شود. با انجام تحلیل حساسیت، نتایج نشان داد، با تغییر وزن نسبی، رتبه درصد تأمین آب آب‌بران دچار تغییر می‌شود. یافته‌های تحقیق حاکی از آن است که مدل انعطاف‌پذیر پیشنهادی با فراهم نمودن امکان مذاکره، می‌تواند ابزار مدیریتی کارایی جهت حل مسائل کلان تخصیص منابع آب مشترک به‌شمار رود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل حساسیت، تخصیص آب، چانه‌زنی نش، حوضه اترک، ورشکستگی.

متدوال فوق‌الذکر برای بازتوزیع منابع آبی رودخانه قزل‌اوزن تحت شرایط اقلیمی متفاوت استفاده نمودند.

Mianabadi و همکاران (۲۰۱۳) براساس معیارهای میزان مشارکت و نیاز آبی مدعیان، رویکردی جهت بازتوزیع منابع آبی مشترک ارائه نمودند و آن را در بازتوزیع رودخانه فرات به کار گرفتند. ایشان همچنین مزیت روش توسعه یافته را نسبت به سایر روش‌های مرسوم ورشکستگی از جمله بررسی *SSR based on PRO* و *PRO*، *CEA*، *CEL* بررسی نمودند. نتایج نشان داد روش‌های *PRO*، *CEA* و *CEL* بدون لحاظ نمودن میزان مشارکت هر نماینده، فقط میزان نیاز آن‌ها را در نظر می‌گیرد و روش *SSR based on PRO* علی‌رغم اینکه قادر است میزان نیاز و مشارکت را در نظر گیرد، اما در همه حال نمایندگان پایین‌دست رودخانه نسبت به بالادست سهم بیشتری می‌برند. کاظمی مرشد و عراقی‌نژاد (۱۳۹۴) به منظور ارائه راهکاری برای مناقشات تخصیص آب در بخش کشاورزی حوضه اترک، از رویکرد برنامه‌ریزی خطی و رویکردهای حل اختلاف نش متقارن^۱، نش نامتقارن^۲، مدل نامتقارن کالای اشمورودینسکی، مدل نامتقارن خسارت متعادل استفاده نمودند و با استناد به معیارهای اطمینان‌پذیری حجمی و زمانی، و برگشت‌پذیری نتیجه گرفتند در بین مدل‌های حل اختلاف و مدل برنامه‌ریزی خطی، مدل نش نتایج مطلوب‌تری برای ذی‌نفعان خواهد داشت. میرشفیعی و همکاران (۱۳۹۴) برای ارائه روشی مناسب جهت تخصیص عادلانه منابع آبی در بخشی از رودخانه اترک واقع در استان گلستان، از مهمترین روش‌های نظریه ورشکستگی استفاده کردند و از آنجایی که هر روش رویکردی متفاوت نسبت به عدالت دارد، با استفاده از قانون تعدد روش‌های *AP*، *RA*، *Pin* و *PRO* به عنوان روش‌های مناسب انتخاب شدند.

جهت حل اختلافات منابع آبی مشترک و توزیع عادلانه و کارآمد منابع، انعطاف‌پذیری مدل و فراهم نمودن امکان مذاکره برای رسیدن به یک حد مطلوب حائز اهمیت است. غالب مطالعاتی که ذکر شد از مفاهیم رویه *O'Neill* (۱۹۸۲) برای مسئله ورشکستگی آب به عنوان یک بازی با مطلوبیت انتقال‌پذیر استفاده نمودند. در این گونه بازی‌ها، توزیع منافع، موجب ترغیب بازیگران به انتخاب استراتژی‌هایی در راستای منافع ائتلاف می‌شود. با این وجود، نگرش به یک مسئله منابع آبی مشترک در حوضه رودخانه فرامرزی مواجه به کم‌آبی به صورت یک بازی با مطلوبیت انتقال‌پذیر با چالش همراه است. *Dagan* و *Volij* (۱۹۹۳) عنوان نمودند، به دلیل اختلافات اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی میان آب‌بران، تعیین ارزش ذاتی آب و انتقال مطلوبیت از آن به شکل پرداخت وجه تقریباً غیرممکن است. علاوه بر این در شرایط کمبود آب، به منظور تحقق مقدار آب مورد نیاز جهت دستیابی به نقطه رضایت آب‌بران، هر آب‌بر احتمالاً به صورت ریسک‌گریز عمل خواهد نمود. تحت این شرایط، در نظر گرفتن مسئله تخصیص آب به صورت یک بازی با

در سال‌های اخیر رشد جمعیت، راندمان پایین مصرف آب و بهبود سطح زندگی انسان‌ها منجر به افزایش روز افزون تقاضای آب و برداشت بی‌رویه از منابع آب شده است. با توجه به محدودیت منابع آب در دسترس، افزایش برداشت از منابع آب، بسیاری از حوضه‌ها را با مشکل کمبود آب مواجه نموده است. به دلیل وجود ذی‌نفعان مختلف با رویکردهای متفاوت در حوضه‌های مشترک مرزی، مشکلات این حوضه‌ها به نسبت بیشتر بوده و تأمین تقاضای آب موجود در این مناطق با چالش بیشتری همراه است. براین اساس، تخصیص بهینه منابع آب در این حوضه‌ها براساس مذاکرات و همکاری‌های منطقه‌ای، می‌تواند نقش قابل توجهی در کاهش نزاع‌های آبی ایفا نماید.

در دنیا ۲۷۶ حوضه مشترک بین‌المللی وجود دارد که بسیاری از آن‌ها با تغییرات هیدرولوژیکی مواجه هستند. با توجه به کاهش منابع آب‌های مرزی و فزونی میزان تقاضا نسبت به منابع آبی موجود، درگیری در بین ذی‌نفعان و آب‌بران در حال افزایش است. عامل اصلی این درگیری‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مسئله نحوه تخصیص آب می‌باشد (Wolf, ۱۹۹۹). مطالعات متعددی در زمینه تخصیص آب‌های مرزی صورت پذیرفته است. برخی از آن‌ها مسئله را صرفاً از جنبه اقتصادی بررسی کرده‌اند (Kucukmechetoglu و Guldmann, ۲۰۰۴) درحالی‌که برخی دیگر، جنبه‌های اجتماعی، سیاسی و یا محیطی را نیز لحاظ نموده‌اند (Roozbahani و همکاران، Fisher, ۲۰۱۵ و همکاران، ۲۰۰۲).

توزیع آب در شرایط کمبود آب با مسائل ورشکستگی مشابه می‌باشد. ورشکستگی مفهومی اقتصادی است که در آن مقدار منابع موجود قابل تقسیم بین ذی‌نفعان، کمتر از میزان تقاضا باشد. این مفهوم را اولین بار *O'Neill* (۱۹۸۲) از منظر نظریه بازی‌ها مطرح نمود. به طور خاص، "ورشکستگی آبی" را می‌توان وضعیتی نامید که در آن آب موجود در حوضه برای برآورده نمودن تقاضای کل آب، کافی نباشد. پس از مطالعه *O'Neill* (۱۹۸۲)، بسیاری از محققین از مفهوم ورشکستگی در مسائل تخصیص منابع مشترک محدود، نظیر مسائل منابع آب مشترک بین‌المللی استفاده کردند (Gallastegui و همکاران، ۲۰۰۳؛ *Ansink* و *Weikard*، ۲۰۱۲؛ *Thomson*، ۲۰۰۳؛ *Herinckx* و همکاران، ۲۰۰۵).

در تحقیق *Madani* و *Zarezadeh* (۲۰۱۲)، کاربرد تئوری ورشکستگی در حل مسئله تضاد بین سه کشاورز بر سر آب یک چاه فرضی مشترک نشان داده شد. آن‌ها با استفاده از قوانین ورشکستگی نسبی^۱ (*P*)، ورشکستگی نسبی تعدیل‌شده^۲ (*AP*)، مقید به سود یکسان^۳ (*CEA*)، مقید به ضرر یکسان^۴ (*CEL*)، پینایل^۵ (*Pinile*) و تاللود^۶ (*TAL*) آب بین ذی‌نفعان را تقسیم کردند. همچنین *Zarezadeh* و همکاران (۲۰۱۲) از قوانین ورشکستگی

مطلوبیت انتقال‌پذیر ممکن است بیانگر واقعیت نباشد. از طرف دیگر، Aumann و Maschler، ۱۹۸۵ و Curiel و همکاران، ۱۹۸۷ نشان دادند در یک بازی با مطلوبیت انتقال‌پذیر، امکان محاسبه سودهای تخصیص بر مبنای سه مفهوم بهینگی پارتو، تقارن و تعادل استراتژیک وجود ندارد. نظر به دلایل فوق‌الذکر، به نظر می‌رسد در نظر گرفتن مسئله توزیع آب در شرایط ورشکستگی به صورت یک بازی با مطلوبیت انتقال‌ناپذیر مناسب‌تر باشد. روش چانه‌زنی نش نامتقارن یکی از بازی‌های با مطلوبیت انتقال‌ناپذیر است که می‌تواند برای حل مسائل توزیع منابع میان مدعیانی که ادعاهایشان همپوشانی دارند، به کار گرفته شود و برای کاهش تنازعات استفاده شود. اخیراً Degefu و همکاران (۲۰۱۶) در حوضه نیل تحت شرایط بحرانی آب، برای حل مسئله اختلاف و تنازعات آبی، از روش ورشکستگی CEA استفاده کردند و برای رسیدن به نتایج مشابه

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز اترک یکی از حوضه‌های درجه ۲ منتهی به دریای خزر می‌باشد و بخشی از این حوضه آبریز که در ایران و در شمال شرقی کشور واقع شده است، شامل هشت محدوده مطالعاتی به نام‌های قوچان-شیروان، بجنورد، مانه، سملقان، غلامان، قوری میدان، مراوه تپه، داشلی برون-اینچه برون می‌باشد. این محدوده‌ها در سه استان خراسان رضوی، خراسان شمالی و گلستان قرار گرفته‌اند و مساحت محدوده واقع در هر استان به ترتیب ۱۸۸۱، ۱۶۲۲۰ و ۸۲۹۵ کیلومتر مربع می‌باشد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی محدوده‌های مطالعاتی و سه استانی که دربرگیرنده محدوده‌های مطالعاتی می‌باشند را نشان می‌دهد. همچنین برخی مشخصات و اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) درج شده است. حوضه اترک به دلیل وسعت و اختلاف ارتفاع زیاد منطقه، شرایط را برای ایجاد انواع اقلیم فراهم نموده است که به تبع آن منجر به تنوع محصولات کشاورزی، ایجاد صنایع، گردشگری و... شده است. حدود ۷۶/۵ درصد از حوضه آبریز اترک را مناطق کوهستانی و ۲۳/۵ درصد را دشت‌ها تشکیل می‌دهند. متوسط بارش در محدوده مطالعاتی ۳۲۱ میلی‌متر در سال می‌باشد (گزارش جاماب وزارت نیرو، حوضه آبریز اترک). منابع آب حوضه آبریز اترک شامل سطحی و زیرزمینی بوده که بیشتر نیازهای مصارف از آب‌های سطحی تأمین می‌شود. همچنین احداث طرح‌های توسعه منابع آبی در استان‌های بالادست حوضه، موجب شده است در شرایط خشکسالی آب ورودی به استان پایین‌دست به مقدار قابل توجهی کاهش یابد. این امر منجر به ایجاد تنازعات و مناقشات منطقه‌ای شده است. در سال‌های اخیر، افزایش مصارف آب در این حوضه باعث شده است، نسبت کل حجم آب موجود در حوضه به نیازهای موجود آن در

روش ورشکستگی، از مدل چانه‌زنی نش استفاده نمودند. منابع آبی مشترک ممکن است با رویکرد همکاری و یادگیری طرفین همراه باشد. به نظر می‌رسد استفاده از رویکردی انعطاف‌پذیر جهت توزیع عادلانه آب می‌تواند همکاری میان طرفین را تقویت کرده و از بروز تنش جلوگیری نماید. در نتیجه‌یاداری حوضه از نظر سیاسی، اقتصادی، اجتماعی را به همراه داشته باشد. براین اساس، ارائه سازوکاری که قادر باشد ضمن لحاظ نمودن اختلافات موجود، منافع و انتظارات طرفین را به صورت عادلانه تأمین نماید، اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق با استفاده ترکیبی از روش‌های چانه‌زنی و ورشکستگی مدل تخصیص بهینه آب ارائه شده و نتایج آن با قوانین متداول ورشکستگی مقایسه می‌شود. به این منظور، حوضه آبریز رودخانه اترک، که یکی از رودخانه‌های مهم کشور به شمار می‌رود، به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است.

حدود ۶۴ درصد برسد که حاکی از وقوع تنش شدید آبی می‌باشد. با مطالعه صورت گرفته در این حوزه مطالعاتی که در قسمت مقدمه اشاره گردید و همچنین استناد به گزارشات وزارت نیرو؛ نتایج نشان‌دهنده این موضوع بوده که، منابع آبی در این منطقه جوابگوی نیاز آب بران نبوده و حوضه با ورشکستگی آبی مواجه شده است. در این تحقیق از آمار میانگین بلندمدت ۴۰ ساله ایستگاه‌های آب‌سنجی رودخانه‌ها و همچنین گزارش آماربرداری حوزه اترک و در نظر گرفتن نیازهای آبی بخش کشاورزی و صنعت استفاده شده است (جدول ۱، گزارش جاماب وزارت نیرو). نیازهای صنعت و کشاورزی در حوزه اترک نشان می‌دهد، استان خراسان شمالی با مقدار ۸۲۳ میلیون مترمکعب دارای بیشترین میزان مصرف آبی در حوزه اترک می‌باشد. ضمناً استان خراسان رضوی با وجود آنکه در مقایسه با استان گلستان سهم کمتری از تولید منابع آبی و مساحت حوزه را دارد لیکن دارای مصرف آب بیشتری (۱۸۵ میلیون مترمکعب)، نسبت به استان گلستان (۹۹ میلیون مترمکعب) است.

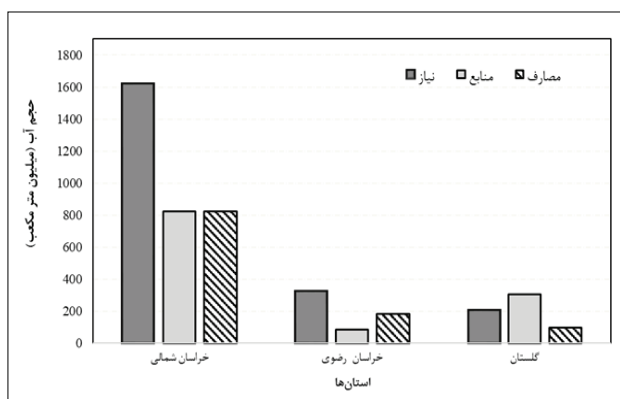


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز اترک

جدول ۱- مشخصات منطقه مورد مطالعه و وضعیت منابع آبی استان‌های دربرگیرنده حوضه اترک

استان	محدوده‌های مطالعاتی	درصد مساحت از حوضه	حجم بارش (م.م.م)	پتانسیل منابع آب (م.م.م)	تنش آبی نسبی
خراسان شمالی	مانه، سملقان، بجنورد، غلامان، قوری میدان (بخش خراسان شمالی)، قوچان- شیروان (بخش خراسان شمالی)	۶۲	۵۲۷۰	۸۲۵	۰/۶۲
خراسان رضوی	قوچان-شیروان (بخش خراسان رضوی)	۷	۷۳۵	۸۵	۰/۷۵
گلستان	داشلی‌برون اینچه‌برون، مراوه تپه، قوری میدان (بخش گلستان)	۳۱	۲۶۰۴	۳۰۴	۰/۵۵

شکل (۲) نشان‌دهنده نیاز آبی، منابع و مصارف آب بخش صنعت و کشاورزی هر استان در حوضه اترک می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود استان خراسان شمالی با مقدار ۸۲۳ میلیون مترمکعب بیشترین میزان مصرف آبی در حوضه اترک را دارد. لازم به ذکر است استان خراسان رضوی با وجود آنکه در مقایسه با استان گلستان سهم کمتری از تولید منابع آبی و مساحت حوضه دارد، اما مصرف آب بیشتری (۱۸۵ میلیون مترمکعب)، نسبت به استان گلستان (۹۹ میلیون مترمکعب) دارد.



شکل ۲- مقادیر نیاز آبی، منابع و مصارف آب بخش صنعت و کشاورزی استان‌های واقع در حوضه اترک

رویکرد ورشکستگی: به دلیل شباهت مسئله تقسیم آب با مسئله ورشکستگی، می‌توان از قوانین تئوری ورشکستگی در حوضه‌هایی که در آن‌ها ورشکستگی آبی اتفاق افتاده است، استفاده نمود. با این وجود، تخصیص آب با استفاده از قوانین ورشکستگی متداول صرفاً براساس روابط حاکم بر آن‌ها بوده و در ساختار این قوانین، به مدیریت تقاضا و بهینه‌سازی حجم آب تخصیص یافته به آب‌بران و دخیل نمودن ایشان در تصمیم‌گیری پرداخته نمی‌شود.

همکارانه یا غیرهمکارانه: همکارانه بودن بازی ممکن است بازیکنان در حین انجام بازی پیرامون انتخابی يك استراتژی با هم توافق کنند. اگر توافق بین بازیکنان قابل اجرا و علمی باشد، بازی را «همکارانه»^{۱۱} و اگر توافق بین بازیکنان قابل اجرا و علمی نباشد، آن را «غیرهمکارانه»^{۱۲} گویند. به تعبیر دیگر اگر بازیکنان بتوانند براساس اصول توافق شده عمل کنند، بازی را همکارانه و در غیر این صورت به آن، بازی غیرهمکارانه اطلاق می‌شود. لازم به ذکر است متقارن بودن ذی‌نفعان به معنای داشتن وزن‌های یکسان و یا اهمیت برابر آن‌ها نسبت به هم و نامتقارن بودن به معنای درجه اهمیت‌های متفاوت ذی‌نفعان می‌باشند (کاظمی مرشد و عراقی‌نژاد، ۱۳۹۴).

جهت رفع کمبودهای مزبور، رویکرد بهینه‌سازی چانه‌زنی همکارانه در ترکیب با روش ورشکستگی جهت تخصیص بهینه آب ارائه شده است. به منظور بررسی انعطاف‌پذیری و ارزیابی کارکرد مدل ارائه شده، نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج روش‌های متداول نظریه ورشکستگی نظیر AP، PRO و CEA مقایسه شده است. در ادامه به تشیع روش چانه‌زنی نش نامتقارن مورد استفاده در این تحقیق و همچنین معرفی اجمالی قوانین متداول ورشکستگی پرداخته می‌شود.

چانه‌زنی نش نامتقارن: در این مطالعه، نظریه چانه‌زنی نش نامتقارن در ترکیب با مفهوم ورشکستگی آبی برای تخصیص آب در حوضه آبریز مشترک میان چند استان از طریق در نظر گرفتن تابع مطلوبیت نسبی هر آب‌بر، وزن‌های چانه‌زنی و لحاظ نمودن کمینه مقدار تخصیص آب به هر آب‌بر، به کار گرفته شد.

Nash (۱۹۵۰؛ ۱۹۵۳) نشان داد، مسئله بهینه‌سازی در یک فضای مطلوبیت محدب^{۱۳}، بسته و محدود^{۱۴}، جواب منحصر به فردی دارد و مجموعه ویژه با خواص مطلوب را تامین می‌نماید. با در نظر گرفتن وزن چانه‌زنی هر آب‌بر (استان)، مسئله بهینه‌سازی تخصیص آب در شرایط ورشکستگی می‌تواند به صورت ذیل نوشته شود (Harsanyi, ۱۹۸۲).

$$\text{maximize } N^{wi} = (f_1(x_1) - d_1)^{w_1} (f_2(x_2) - d_2)^{w_2} (f_3(x_3) - d_3)^{w_3} \dots (f_n(x_n) - d_n)^{w_n} \quad (1)$$

subject to:

$$f_i(x_i) \geq d_i, i=1,2,\dots,n \quad (1)$$

$$m_i \leq x_i \leq C_i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq E \quad (4)$$

در رابطه (۱) تعداد ذی‌نفعان (آبر)، w_i بیانگر وزن چانه‌زنی آبر i ، $f_i(x_i)$ بیانگر تابع مطلوبیت نسبی آبر i و d_i نقطه مطلوبیت عدم توافق آبر i می‌باشد (فرض می‌شود کلیه تصمیم‌گیرندگان در بیان تابع مطلوبیت خود، یک حداقل مطلوبیت را تعیین می‌نمایند که مقادیر کمتر از آن برای آن تصمیم‌گیرنده به هیچ وجه قابل قبول نمی‌باشد). در رابطه (۱) مجموع وزن‌های نسبی برابر یک در نظر گرفته می‌شود ($\sum_{i=1}^n w_i = 1$). این مدل با قیود عقلانیت فردی^{۱۴} و کارایی در نظر گرفته شده است و بیشینه تقاضای آبران (C_i) و کمینه آب تخصیصی به آبران (m_i) به ترتیب به عنوان حد بالا و پایین تخصیص بهینه به هر استان در نظر گرفته شده‌اند. کمینه تخصیص آب برای پذیرش استان‌ها برابر با ۵۰ درصد تقاضایشان در نظر گرفته شده است. همچنین (d_i) نقطه عدم توافق برای آبران می‌باشد، که از رابطه (۵) تبعیت می‌نماید.

$$d_i = f_i(m_i) \quad (5)$$

رابطه (۲) بیانگر آن است که مطلوبیت حاصل از آب تخصیصی برای هر آبر (استان) باید بیشتر یا مساوی مطلوبیت آن در نقطه عدم توافق باشد. رابطه (۳) بیانگر حد پایین و بالای مصرف آب برای آبران می‌باشد که بیانگر حبابه و تقاضای آبی می‌باشد. قید اشاره شده در رابطه (۴) نشان می‌دهد، کل آب تخصیصی در حوضه باید کمتر یا مساوی مقدار آب در دسترس مصرف باشد. در این رابطه E بیانگر منابع آبی موجود در حوضه و x_i نشان‌دهنده مقدار آب تخصیص یافته به آبران حوضه می‌باشد. تابع مطلوبیت برای آبران (استان‌ها) حوضه آبریز می‌تواند به صورت یک تابع بازه‌ای خطی (رابطه ۶) در نظر گرفته شود (Xu و Wu، ۱۹۹۶).

$$f_i(x_i) = (x_i - d_i) / (C_i - d_i) \quad (6)$$

رویکرد حل اختلاف در تخصیص منابع آب حوضه آبریز اترک ارائه شده در این تحقیق در دو حالت تحلیل شده است. تابع هدف مدل تخصیص مبتنی بر روش‌های حل اختلاف متقارن نش و نامتقارن نش، نامتقارن بوده که این روش‌ها به تفصیل در مطالعات Zarghami و Szidarovszky (۲۰۱۱) توضیح داده شده است. متقارن بودن ذی‌نفعان به معنای داشتن وزن‌های یکسان و یا اهمیت برابر آنها نسبت به هم و نامتقارن بودن به معنای درجه اهمیت‌های متفاوت ذی‌نفعان می‌باشند. در حالت اول، وزن‌های چانه‌زنی آبران یکسان (نش متقارن) در نظر گرفته می‌شود، در این حالت خاص،

چانه‌زنی نش نامتقارن متناظر با حل نش متقارن می‌باشد. در حالت دوم به منظور نمایش تأثیر مشارکت وزن‌های چانه‌زنی در خروجی مدل تخصیص آب و در نتیجه انعطاف‌پذیری مدل، وزن‌های چانه‌زنی با ساز و کاری منطقی به نحوی در نظر گرفته می‌شوند که در شرایط کمبود آب، منشأ عدم تقارن میان آبران مختلف (استان‌ها) شده و تخصیص عادلانه آب به هر آبر را محقق سازند. به منظور بررسی میزان حساسیت آب تخصیصی هر آبر نسبت به تغییر وزن آبر، تحلیل حساسیت آب تخصیص به آبران بر مبنای تغییر وزن نسبی آن‌ها نیز صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است در این حوضه مطالعاتی منظور از ذی‌نفعان و آبران، استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان می‌باشد. به منظور حل تابع نش متقارن و نامتقارن در این حوضه مطالعاتی از مدل لینگو نسخه ۱۴ برای سیستم عامل ۶۴ بیتی که یک مدل بهینه‌ساز با قابلیت حل مدل‌های خطی و غیرخطی می‌باشد استفاده شد.

قوانین ورشکستگی متداول: همان‌گونه که پیشتر عنوان شد، در این تحقیق نتایج مدل چانه‌زنی همکارانه پیشنهادی با نتایج قوانین متداول ورشکستگی مقایسه شد. قوانین ورشکستگی متداول مورد استفاده در این تحقیق شامل سه روش PRO، CEA و AP می‌باشد که در ادامه به بیان مختصر آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱- قانون ورشکستگی نسبی (PRO) که ارسطو آن را به عنوان الگوی برای تخصیص عادلانه در نظر گرفت (Volji و Dagan، ۱۹۹۳) به این صورت می‌باشد که نسبتی یکسان (ρ) از ادعای هر کاربر تأمین خواهد شد که این نسبت با استفاده از رابطه‌ی (۷) تعیین می‌شود:

$$\rho = E/C, \quad X_i^{pro} = \rho C_i \quad (7)$$

۲- قانون ورشکستگی مقید به سود یکسان (CEA) روشی است که طی آن کمینه ادعایی که از طرف کاربران اعلام شده است به عنوان پایه‌ای برای تخصیص‌ها در نظر گرفته می‌شود. سپس این مقدار را با توجه به موجودی سیستم و با اضافه کردن مقدار λ تا جایی افزایش می‌دهد که میزان تخصیص کوچکتر از یا مساوی با ادعای هر یک از ذی‌نفعان باشد. در صورتی که موجودی سیستم جوابگوی مقدار کمینه تعیین شده برای کلیه ذی‌نفعان نباشد، موجودی سیستم به صورت یکسان بین ذی‌نفعان تقسیم می‌شود.

$$x_i^{CEA} = \text{Min}(\lambda, C_i) \quad (1)$$

۳- قانون ورشکستگی نسبی تعدیل شده (AP) در مطالعه Curiel و همکاران (۱۹۸۷) مطرح شد. این روش ابتدا برای هر یک از کاربران مقداری را با توجه به کل موجودی سیستم و مجموع ادعاهای دیگر ذی‌نفعان محاسبه می‌کند که آن را با

نتایج و بحث

حالت وزن نسبی یکسان: تابع بهینه اشاره شده در بخش قبل در مدل لینگو توسعه داده شد و نتایج بیانگر بود که با در نظر گرفتن وزن نسبی یکسان برای هر آب بر (استان) در مدل چانه زنی نش نامتقارن، نتایج معادل روش چانه زنی نش متقارن استنتاج می شود. جدول (۲) نتایج تخصیص آب بخش صنعت و کشاورزی به آب بران تحت حالت نش متقارن آب بران و همچنین مقادیر آب تخصیصی طی سه قانون ورشکستگی متداول را نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می شود، در روش نش متقارن استان خراسان شمالی با مقدار آب تخصیصی ۸۵۵ میلیون متر مکعب در سال بیشترین و استان گلستان با مقدار ۱۴۹/۵ میلیون متر مکعب در سال کمترین مقدار آب تخصیصی را دارد.

جدول ۲- تخصیص آب بخش صنعت و کشاورزی بر اساس روش چانه زنی نش متقارن و قوانین ورشکستگی متداول

استان	نیاز آبی (م.م.م. در سال)		وزن چانه زنی	روش بهینه سازی چانه زنی نش متقارن (م.م.م. در سال)	قوانین ورشکستگی متداول (م.م.م. در سال)		
	کمینه	بیشینه			CEA	PRO	AP
خراسان شمالی	۸۰۹/۵	۱۶۱۹	۰/۳۳	۸۵۵	۶۷۸	۹۱۲	۹۱۲
خراسان رضوی	۱۶۴	۳۲۸	۰/۳۳	۲۰۹/۵	۳۲۸	۱۸۵	۱۸۵
گلستان	۱۰۴	۲۰۸	۰/۳۳	۱۴۹/۵	۲۰۸	۱۱۷	۱۱۷

روش AP و PRO (۱۱۷) بیشتر و روش CEA (۲۰۸) کمتر از آب تخصیصی با روش چانه زنی (۱۴۹/۵) می باشد. شکل (۳) مقایسه مقادیر درصد آب تأمین شده نسبت به نیاز آبی بخش صنعت و کشاورزی طی روش چانه زنی نش متقارن (وزن نسبی یکسان) و سه قوانین متداول ورشکستگی، AP، PRO و CEA را نشان می دهد. ملاحظه می شود درصد آب تأمین شده طی روش چانه زنی نش متقارن برای استان های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به ترتیب ۵۳، ۶۴ و ۷۲ می باشد. در روش چانه زنی نش متقارن به دلیل آنکه وزن های نسبی یکسان در نظر گرفته می شود، جواب تابع چانه زنی نش متقارن صرفاً وابسته به مقادیر بیشینه و کمینه تقاضای آب بران، بوده و از وزن ها تأثیر نمی پذیرد.

شکل (۳) همچنین نشان می دهد تحت روش CEA مقدار نیاز آبی بخش صنعت و کشاورزی دو استان خراسان رضوی و گلستان به طور کامل تأمین شده است اما نیاز آبی استان خراسان شمالی به میزان ۴۲ درصد تأمین شده است. علت این امر آن است که طبق ساختاری قانون ورشکستگی CEA، در مرحله اول متناسب با منابع آب موجود و با مد نظر قرار دادن بیشینه نیاز آبی آب بران، مقدار یکسان آب معادل نیاز آبی که بیشینه نیاز

$v_i^{(E,C)}$ نشان می دهند و براساس رابطه (۹) محاسبه می شود:

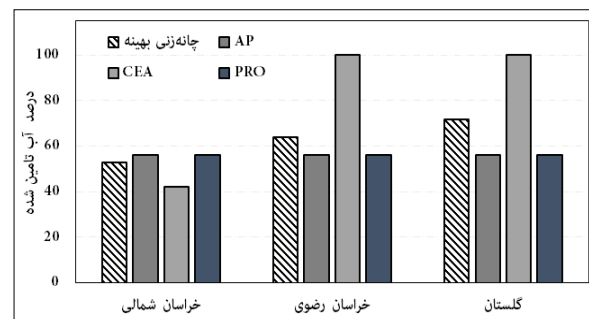
$$v_i^{(E,C)} = \text{Max} \{0, E - \sum_{j \neq i} C_j\} \quad (9)$$

برای $v_i^{(E,C)}$ برابر با مقدار واگذار شده از دیگر ذی نفعان به ذی نفع i می باشد و کمینه میزان تخصیص یافته به هر یک از آن ها را نشان می دهد. بعد از تخصیص اولیه برای تعیین تخصیص کل، ضریبی براساس $v_i^{(E,C)}$ ادعای هر یک از ذی نفعان و کل موجودی سیستم محاسبه شده و در اختلاف بین ادعا و میزان تخصیص اولیه هر یک از ذی نفعان ضرب می شود مجموع تخصیص اولیه و این مقدار، تعیین کننده مقدار کل تخصیص یافته به هر یک از ذی نفعان می باشد. از رابطه (۱۰) به منظور محاسبه مقدار تخصیص با استفاده از این روش استفاده می شود.

$$AP = \begin{cases} v_i + (C_i^E - v_i)(\sum_{j \in N} (C_j^E - v_j))^{-1} (E - \sum_{j \in N} v_j) & \text{if } C > E > 0 \\ C_i & \text{if } E = C \\ 0 & \text{if } E = 0 \end{cases} \quad (10)$$

جدول (۲) نشان می دهد که اگرچه الگو و رتبه تأمین آب میان استان ها در نتایج سه قانون ورشکستگی مشابه روش چانه زنی نش متقارن می باشد اما مقادیر تخصیص آب با روش چانه زنی نش متقارن متفاوت است. شایان ذکر است مقدار آب تخصیصی با قانون ورشکستگی AP و PRO مشابه می باشد. علت نتایج مشابه این دو روش آن است که حل این دو روش حاصل از ضرب ضریبی در مقدار بیشینه تقاضای آبی آب بران می باشد که در مطالعه موردی این تحقیق مقدار ضریب محاسباتی دو روش یکسان می باشد. برای استان خراسان شمالی مقادیر آب تخصیصی با قوانین ورشکستگی AP، PRO به ترتیب با مقادیر ۹۱۲ میلیون متر مکعب در سال بیشتر و روش CEA با مقدار ۶۷۸ میلیون متر مکعب در سال کمتر از مقدار تخصیصی طی روش چانه زنی نش (۸۵۵ میلیون متر مکعب در سال) می باشد. برعکس، برای استان خراسان رضوی، مقادیر تخصیص آب طی روش های AP و PRO با مقدار عددی ۱۸۵ میلیون متر مکعب در سال کمتر و مقادیر روش CEA با مقدار عددی ۳۲۸ میلیون متر مکعب در سال بیشتر از آب تخصیصی توسط روش چانه زنی (۲۰۹/۵) می باشد. برای استان گلستان نیز روند مشابه با استان خراسان رضوی مشاهده شد، به طوری که مقدار آب تخصیصی با

آبی کمتری دارد (در این مطالعه استان گلستان با بیشینه نیاز آبی ۲۰۸ میلیون متر مکعب در سال)، به عنوان تخصیص اولیه در نظر گرفته می شود. استان گلستان با تأمین تمامی نیاز آبی خود، در مرحله دوم تخصیص در نظر گرفته می شود. با در نظر گرفتن منابع موجود و نیازهای استان ها، مرحله دوم تخصیص برای آبران صورت می پذیرد که در این مرحله بیشینه نیاز آبی استان خراسان رضوی هم تأمین می شود. سپس از منابع آبی باقی مانده به استان خراسان شمالی اختصاص می یابد.



شکل ۳- مقادیر درصد آب تخصیصی به نیاز آبی بخش صنعت و کشاورزی طی روش چانه زنی نش متقارن و سه قوانین متداول ورشکستگی

وزن نسبی متفاوت: به منظور نمایش تأثیر وزن های چانه زنی بر روی نتایج مدل پیشنهادی، از وزن های نسبی مختلف آبران استفاده و بررسی شد. جدول (۳) نتایج تخصیص آب حاصل از به کارگیری روش

چانه زنی نش نامتقارن در مقایسه با قانون ورشکستگی متداول PRO در مطالعه موردی این تحقیق را براساس وزن نسبی مبتنی بر ادعای آبران (بیشینه نیاز آبی) نشان می دهد. همان گونه که در جدول (۳) ملاحظه می شود، هنگامی که وزن نسبی چانه زنی نش نامتقارن متناسب با نیاز آبی بیشینه آبران تعیین شود، در این صورت نتایج روش حل چانه زنی نش نامتقارن برای مسئله توزیع آب برای هر آب بر که شرط $E \leq C(N/i)$ را دارد، معادل با نتایج حاصل از به کارگیری قانون PRO خواهد بود. این نتیجه با نتیجه Volji و Dagan (۱۹۹۳)، که اعلام نمودند هنگامی که وزن نسبی روش چانه زنی نش نامتقارن مبتنی بر ادعای آبران باشد، نتایج تخصیص حاصل از مدل چانه زنی نش نامتقارن در شرایط مسئله ورشکستگی منتظر با نتایج تخصیص حاصل از قانون ورشکستگی PRO می باشد، یکسان و برابر است. تحت این شرایط، مقدار درصد تأمین آب مصارف کشاورزی و صنعت استان های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به طور یکسان ۵۶ درصد خواهد بود.

جدول (۴) نتایج تخصیص به کارگیری روش شناختی پیشنهادی و قوانین ورشکستگی متداول بررسی شده در مطالعه موردی این تحقیق را براساس وزن نسبی یکسان اما بیشینه نیاز آبی معادل با نقطه عدم توافق برابر با صفر ($d=0$) نشان می دهد. تحت این شرایط، مقدار تخصیص بهینه مبتنی بر لحاظ مقدار نقطه عدم توافق صفر و وزن نسبی یکسان به نتایج مشابه با قانون ورشکستگی CEA انجامیده است (جدول ۴).

جدول ۳- تخصیص آب بخش صنعت و کشاورزی بر اساس روش چانه زنی نش نامتقارن با لحاظ وزن نسبی مبتنی بر ادعای (بیشینه نیاز آبی) آبران و قانون ورشکستگی متداول PRO

استان	نیاز آبی (م.م.م. در سال)		وزن چانه زنی	بهینه سازی چانه زنی نش متقارن (م.م.م. در سال)	قانون ورشکستگی PRO (م.م.م. در سال)	درصد تأمین آب
	بیشینه	کمینه				
خراسان شمالی	۱۶۱۹	۸۰۹/۵	۰/۷۵	۹۱۲	۹۱۲	۵۶
خراسان رضوی	۳۲۸	۱۶۴	۰/۱۵	۱۸۵	۱۸۵	۵۶
گلستان	۲۰۸	۱۰۴	۰/۱	۱۱۷	۱۱۷	۵۶

جدول ۴- تخصیص آب بخش صنعت و کشاورزی بر اساس روش چانه زنی نش نامتقارن با لحاظ نقطه عدم توافق صفر و قانون ورشکستگی CEA

استان	کمینه نیاز/ نقطه عدم توافق (م.م.م. در سال)		وزن چانه زنی	بهینه سازی چانه زنی (م.م.م. در سال)	قانون ورشکستگی CEA (م.م.م. در سال)	درصد تأمین آب
	بیشینه	کمینه				
خراسان شمالی	۱۶۱۹	۰	۰/۳۳	۶۷۸	۶۷۸	۴۳
خراسان رضوی	۳۲۸	۰	۰/۳۳	۳۲۸	۳۲۸	۱۰۰
گلستان	۲۰۸	۰	۰/۳۳	۲۰۸	۲۰۸	۱۰۰

این شرایط، درصد تأمین آب برای استان های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به ترتیب ۴۳ و ۱۰۰ و ۱۰۰ می باشد. براساس جدول (۳) و (۴) می توان بیان نمود روش چانه زنی نش

به عبارت دیگر، هنگامی که وزن نسبی یکسان لحاظ شود و سهم آبه ای برای توافق یا عدم توافق در نظر گرفته نشود، نتایج روش چانه زنی نش نامتقارن با معادل قانون CEA می باشد. تحت

مکعب در سال) می‌باشد، همچنین درصد تأمین آب برای استان‌ها نیز به ترتیب ۵۶، ۵۳ و ۶۶ خواهد بود.

جدول ۵- تخصیص آب بخش صنعت و کشاورزی بر اساس روش چانه‌زنی
نش نامتقارن با وزن نسبی مبتنی بر (پتانسیل منابع آبی) آب‌بران

استان	نیاز آبی (م.م.م. در سال)	وزن چانه‌زنی	روش‌بهرینه‌سازی چانه‌زنی نامتقارن (م.م.م. در سال)	درصد تأمین آب
خراسان شمالی	۸۰۹/۵	۱۶۱۹	۰/۶۸	۵۶
خراسان رضوی	۱۶۴	۳۲۸	۰/۰۷	۵۳
گلستان	۱۰۴	۲۰۸	۰/۲۵	۶۳

تحلیل حساسیت: تحلیل حساسیت آب تخصیصی به هر آب‌بر، با هدف بررسی تغییرات میزان آب تخصیصی نسبت به تغییرات وزن چانه‌زنی (قدرت نسبی) هر یک از آب‌بران صورت پذیرفت. ایده تحلیل حساسیت، جابجایی دو به دو وزن نسبی آب‌بران با یکدیگر بوده، از آنجایی‌که در مطالعه موردی این تحقیق ۳ آب‌بر در نظر گرفته شده است، لذا ۳ ترکیب مختلف امکان‌پذیر بوده که به صورت شرایط ۲ الی ۴ در نظر گرفته شد. برای مثال در شرایط ۲، وزن نسبی خراسان شمالی و خراسان رضوی با یکدیگر جابجا شده است. منظور از شرایط اصلی، حالتی است که وزن نسبی هر آب‌بر براساس جدول (۵) در نظر گرفته شده باشد. جدول (۶) شرایط و حالات مختلف تغییر وزن نسبی آب‌بران (استان‌ها) و شکل (۴) نتایج محاسبات تحلیل حساسیت شرایط مزبور در جدول (۶) را به صورت نمایش ترسیمی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۴) ملاحظه می‌شود استان خراسان شمالی در تمامی شرایط بیشترین آب دریافتی را نسبت بقیه استان‌ها خواهد داشت و تغییر اوزان نسبی، نمی‌تواند جایگاه و رتبه تأمین آب این استان را تحت تأثیر قرار دهد. در شرایط ۲، استان خراسان رضوی که سهم کمتری در تولید منابع آب دارد به بیشترین میزان از تقاضای خود دست پیدا خواهد نمود.

جدول ۶- حالات مختلف تغییر وزن نسبی چانه‌زنی آب‌بران
به منظور انجام تحلیل حساسیت

آب‌بر	وزن نسبی			حالت ۱ (شرایط اصلی)
	شرایط ۲	شرایط ۳	شرایط ۴	
خراسان شمالی	۰/۶۸	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۶۸
خراسان رضوی	۰/۰۷	۰/۶۸	۰/۲۵	۰/۰۷
گلستان	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۶۸	۰/۰۷

نامتقارن پیشنهادی، مدلی انعطاف‌پذیر است، به نحوی که قادر است با انتخاب وزن نسبی، سهم آبه و نیاز آبی (نقطه عدم توافق)، نتایج و حالات مختلف و همچنین قوانین ورشکستگی متداول را پوشش دهد. از آنجایی‌که با افزایش تقاضای آب و کاهش جریان رودخانه، مجادله بر سر آب افزایش می‌یابد، می‌توان عنوان نمود که این روش شناختی تخصیص آب نسبت به تغییر نیاز آبی و آب در دسترس نیز انعطاف‌پذیر است. این ویژگی (انعطاف‌پذیری) کمک می‌نماید با تنظیم متغیرهای مسئله با شرایط جدید و ایجاد امکان مذاکره و اجرای مجدد فرآیند بهره‌بهرینه‌سازی، میزان آب تخصیصی براساس معیارهای دخیل، منطبق و به‌روزرسانی شود. این مسئله همچنین می‌تواند از ایجاد کشمکش آتی بر سر آب و ایجاد مخاطرات ناشی از ادعای آتی محتمل آب‌بران در حوضه آبریز، جلوگیری نماید.

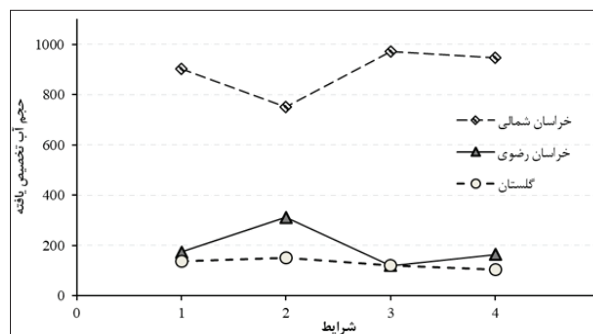
همان‌گونه‌که در نتایج جدول (۲) ملاحظه شد، روش چانه‌زنی نش متقارن متأثر از مقادیر کمینه و بیشینه نیاز آبی می‌باشد، به‌طوری‌که طی این روش، فارغ از میزان پتانسیل آب تولیدی هر آب‌بر، هر استانی که نیاز آبی بیشتری داشته باشد، درصد تأمین آب بیشتری هم خواهد داشت. با این حال مقایسه نتایج جدول (۲) و جدول (۳) نشان می‌دهد، چگونه در روش چانه‌زنی نش نامتقارن، علاوه بر تأثیرگذاری مقادیر کمینه و بیشینه نیاز آبی، مقدار وزن نسبی تعیین شده نیز در مقدار آب تخصیصی به آب‌بران تأثیرگذار می‌باشد. اثرگذاری وزن نسبی در مدل چانه‌زنی نش نامتقارن که می‌تواند بر مبناهای مختلف در نظر گرفته شود، می‌تواند منجر به انطباق و انعطاف مدل به واقعیات موجود شود به‌طوری‌که امکان دستیابی به نتایج و تحلیل‌های مختلف را فراهم آورده و امکان توزیع عادلانه آب در میان بالادست و پایین‌دست حوضه را فراهم می‌نماید. درحال حاضر در حوضه اترک استان‌های بالادست استفاده بیشتری از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌نمایند، به‌گونه‌ای‌که حوضه دارای وضعیت ناپایداری بوده و از نظر تأمین نیاز استان‌ها، با مشکل مواجه می‌باشد.

به‌منظور ارائه رویکردی عادلانه در تعیین وزن‌های تابع نش از اطلاعات پتانسیل منابع آب تولیدی هر استان که در جدول (۱) نشان داده، استفاده شد و وزن استان‌های مختلف متناسب با درصد پتانسیل آب تولیدیشان منظور شد. چنانچه وزن‌های نسبی مدل چانه‌زنی نامتقارن بر مبنای پتانسیل منابع آبی هر حوضه در نظر گرفته شود، نتایج تخصیص آب بر مبنای سه عامل پتانسیل منابع آبی، کمینه و بیشینه نیاز آبی استان‌ها محاسبه خواهد شد که می‌تواند به نتایج نسبتاً عادلانه‌تر و واقع بینانه‌تر تخصیص آب منجر شود. جدول (۵) نتایج تخصیص آب صنعت و کشاورزی متناسب با وزن‌های نسبی مبتنی بر پتانسیل منابع آبی هر آب‌بر را نمایش می‌دهد. حجم آب تخصیص یافته برای استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به ترتیب ۹۰۲، ۱۷۴ و ۱۳۸ (میلیون متر

مقایسه شد. یافته‌های تحقیق نشان داد، هنگامی که در مدل چانه‌زنی، کمینه تقاضای آب‌بران صفر و وزن نسبی یکسان در نظر گرفته شود، نتایج با خروجی قانون ورشکستگی CEA معادل خواهد بود. همچنین هنگامی که وزن‌های نسبی مدل چانه‌زنی نش نامتقارن بر مبنای بیشینه تقاضای آب‌بران در نظر گرفته شود، نتایج با قوانین متداول ورشکستگی AP و PRO یکسان خواهد بود. لذا بسته به نحوه لحاظ متغیرهای ورودی، مدل پیشنهادی به تنهایی قادر به پوشش نتایج قوانین ورشکستگی موجود می‌باشد. جهت برقراری عدالت در توزیع آب در بالادست و پایین‌دست حوضه و کاهش ناپایداری منابع آب، در انتخاب وزن‌های نسبی آب‌بران، علاوه بر کمینه و بیشینه نیاز آبی، معیار پتانسیل منابع آبی تولیدی باید در وزن هر استان دخیل شود. تحت این شرایط، استان گلستان و خراسان رضوی به ترتیب بیشترین و کمترین درصد تأمین آب را داشتند. تحلیل حساسیت نشان داد تغییر وزن نسبی، می‌تواند درصد و رتبه تأمین آب استان‌ها را دچار تغییر نماید. فراهم نمودن امکان مذاکره بین آب‌بران از طریق انتخاب وزن نسبی متناظر با معیارهای مورد نظر، در کنار سهولت اجرای مدل، می‌تواند سیاست‌گذاران را در جهت مدیریت عرضه و تقاضا و ایجاد رفاه اقتصادی-اجتماعی متوازن یاری دهد. رویکرد پیشنهادی این تحقیق را می‌توان گامی اساسی در راستای تدوین چارچوبی جهت دخیل نمودن نقش معیارهای مهم در نحوه تخصیص آب در شرایط ورشکستگی آب و حل مناقشات محسوب نمود که می‌تواند با تحقیقات بیشتری برای لحاظ سایر عوامل مهم در تصمیم‌گیری تخصیص منابع آبی مشترک، حمایت شود.

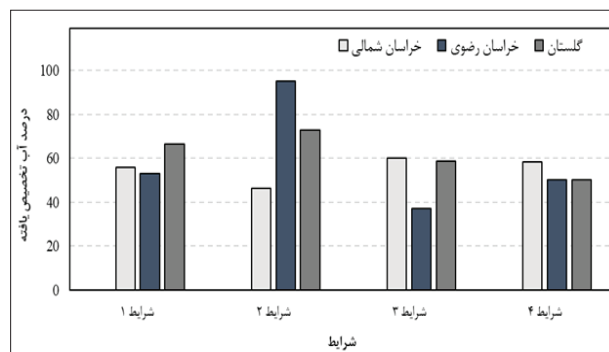
پی‌نوشت

- 1-Proportional
- 2-Adjusted proportiona
- 3-Constrained equal awards
- 4-Constrained equal los
- 5-Pinile
- 6-Talmud
- 7-Sequential sharing rules
- 8-Nash symmetric
- 9-Nash asymmetric
- 10-Cooperative Games
- 11-Non-Cooperative Games
- 12-Convex
- 13-Bounded
- 14-Individual rationality
- 15-Lingo14



شکل ۴- نمایش ترسیمی تحلیل حساسیت مقدار آب تخصیصی به آب‌بران تحت شرایط مختلف تغییر وزن نسبی چانه‌زنی

درصد آب تخصیصی نسبت به بیشینه تقاضای آب‌بران با در نظر گرفتن حالت‌های ۱، ۲، ۳، ۴ برای هر استان در شکل (۵) نمایش داده شده است، درصد تأمین آب برای استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به ترتیب بین ۶۰-۴۶، ۳۷-۹۵ و ۷۳-۵۰ تغییر می‌نماید. به عنوان مثال کمینه و بیشینه درصد تأمین برای استان خراسان رضوی به ترتیب تحت اعمال شرایط ۲ و شرایط ۳ اتفاق خواهد افتاد.



شکل ۵- نمایش ترسیمی تحلیل حساسیت درصد آب تخصیصی به آب‌بران، تحت شرایط مختلف تغییر وزن نسبی چانه‌زنی

نتیجه‌گیری

توسعه اقتصادی-اجتماعی یک منطقه با فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی همراه بوده که مستلزم استفاده از منابع آب می‌باشد. فشار بیش از حد به منابع آب خصوصاً در حوضه‌های آبریز مشترک، بدون توجه به منابع آبی در اختیار و قابل استفاده، می‌تواند باعث نزاع آب‌بران و عدم توزیع عادلانه آب برای بهره‌مندی مصارف مختلف شود. این مطالعه گامی در راستای مدیریت کارآمد و هماهنگ تخصیص منابع آب مشترک، جهت جلوگیری از درگیری‌های احتمالی در مناطقی که میزان مصارف آب از منابع موجود بیشتر می‌باشد. به منظور ارائه مدل انعطاف‌پذیر، واقع‌بینانه و عادلانه، از رویکرد چانه‌زنی نش نامتقارن استفاده شد. این مدل در حوضه آبریز اترک ارزیابی شد و نتایج آن با برخی از قوانین متداول ورشکستگی

- vices among clients of the Clark County mental health court program. *Psychiatr Serv*, 56: 853-857.
- Kucukmehmetoglu M. and Guldmen J. 2004. International Water Resources Allocation and Conflicts: the Case of the Euphrates and Tigris. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 36(5):783-801.
- Madani K. and Zarezadeh M. 2012. Bankruptcy methods for resolving water resources conflicts. In: Loucks, D.P. (Ed.), *World Environmental and Water Resources Congress 2012*. American Society of Civil Engineers, 3: 2247- 2252.
- Mianabadi H., Mostert E., Zarghami M. and Giesen N. 2013. Transboundary water resources allocation using bankruptcy theory; Case Study of euphrates and tigris rivers. "Transboundary Water Management across borders and interfaces: present and future challenges" Conference, Aveiro, Portugal.
- Nash Z. 1950. The bargaining problem. *Econometrica*, 18(2): 155-162.
- Nash Z. 1953. Two-person cooperative games. *Jornal Of Econometrica Society*, 21(1): 128-140.
- O'Neill B. 1982. A problem of rights arbitration from the Talmud. *Mathematical Social Sciences*, 2(4): 345-371.
- Roosbahani R., Schreider S. and Abbasi B. 2015. Optimal water allocation through a multi-objective compromise between environmental, social, and economic preferences. *Environ. Model. Softw*, 64: 18-30.
- Wolf A.T. 1999. Criteria for equitable allocations: the heart of international water conflict. *Natural Resources*, 23(1): 3-30.
- Wu Q.L. and Xu N.R. 1996. Improved interactive methods of multi-objective decision-making based on target satisfaction degree. *Journal of Management in Engineering*, 4: 217-222.
- Zarezadeh M., Madani K. and Morid S. 2012. Resolving transboundary water conflicts: lessons learned from the Qezelozan-Sefidrood river bankruptcy problem. *World Environmental And Water Resources Congress*. Albuquerque, New Mexico, USA.
- Zarghami M., and Szidarovszky F. 2011. *Multi criteria Analysis Applications to Water and Environment Management*, Springer Science & Business Media, Berlin, Germany.
- کاظمی مرشد، پ. و عراقی نژاد، ش. ۱۳۹۴. تخصیص آب با استفاده از مدل شکار- شکارچی و مقایسه آن با روش‌های مرسوم حل اختلاف (مطالعه موردی: حوضه آبریز اترک). *مجله آب و فاضلاب*. ۱۳-۳: (۲۶)۵.
- میرشفیعی، س، انصاری، ح. و میان‌آبادی، ح. ۱۳۹۴. روش‌های نظریه ورشکستگی در تخصیص منابع آبی مشترک (مطالعه موردی: رودخانه اترک). *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۴(۹): ۵۹۴-۶۰۴.
- وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، گزارش مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور- حوضه آبریز اترک.
- Aumann R.J. and Maschler M. 1985. Game theoretic analysis of a bankruptcy problem from the Talmud. *Journal of Economic Theory*, 36(2): 195-213.
- Ansink E. and Weikard H.P. 2012. Sequential sharing rules for river sharing problems. *Social Choice and Welfare*, 38(2): 187-210.
- Curiel S., Canto J. and Rodriguez L. 1987. A model for the thermal radio continuum emission produced by a shock wave and its application to the Herbig-Haro objects 1 and 2. *Revista mexicana de astronomía y astrofísica*, 14: 595-602.
- Dagan N. and Volji O. 1993. The bankruptcy problem: A cooperative approach. *Mathematical Social Sciences*, 26(3): 287-297.
- Degefu D.M., He W., Yuan L. and Zhou J.H. 2016. water allocation in transboundary river basins under water scarcity: a cooperative bargaining approach. *Water Resources Management*, 30(12): 4451-4466.
- Fisher F.M., Arlosoroff S., Eckstein Z., Haddadin M., Hamati S.G., Huber-Lee A., Jarrar A., Jayyousi A., Shamir U. and Wesseling H. 2002. Optimal water management and conflict resolution: The Middle East Water Project. *Water resources research*, 38(11):321-337.
- Gallastegui M.C., Inarra E. and Prellezo R. 2003. Bankruptcy of Fishing Resources: The Northern European Anglerfish Fishery. *Marine Resource Economics*, 17(4): 291-307.
- Harsanyi J.C. 1982. A simplified bargaining model for the n-person cooperative game. In: Harsanyi JC (ed) *Papers in game theory*, Springer, Netherlands, 260(28): 45-70.
- Herinckx H.A., Swart S.C., Ama S.M., Dolezal C.D. and King S. 2005. Rearrest and linkage to mental health ser-

Article Type: Regular article

نوع مقاله: پژوهشی

Social Marketing in the Field of Water and Wastewater Industry Based on the Grounded Theory Approach

A. kalami¹, H. Mehrani^{2*}, P. Saeedi³, E. Abbasi⁴

1,3- PhD Student & Associate Professor, Department of Management and Accounting, Islamic Azad University of Aliabad katoul Branch, Aliabad Katoul, Iran. 2- Assistant Professor, Department of Management, Ghazali Institute of Higher Education, Qazvin, Iran. 4- Associate Professor, Management Department, Faculty of Social Sciences & Economics, Alzahra University, Iran.

*(Corresponding Author Email: mehrani@ghazali.ac.ir)

Received: 19-07-2020

Accepted: 24-10-2020

بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب با رویکرد مبتنی بر نظریه داده بنیاد

عبدالحمید کلامی^۱، هرمز مهرانی^{۲*}، پرویز سعیدی^۳، ابراهیم عباسی^۴

۱ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، علی‌آبادکاتول، ایران. ۲- استادیار، گروه مدیریت، موسسه آموزش عالی غزالی، قزوین، ایران. ۴- دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه الزهراء، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: mehrani@ghazali.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۰۳

Abstract

Systematic function of marketing along with other techniques and concepts in order to achieve specific behavioral targets for fulfilling social results is social marketing. The purpose of this study is to design a social marketing model in the field of water and wastewater industry in the country. The used method in the research was qualitative and it was conducted by the use of Grounded Theory strategy. For this purpose, semi-structured in-depth interviews were conducted with 16 experts and specialists in a targeted manner using the snowball method. The data is regularly structured using the Strauss approach, which emphasizes the steps of data analysis, including open, axial, and selective coding, and the development of a logical model with a visual description of the generated theory. After all encoding steps, the final model was achieved. The findings showed that the main strategic subjects were: education, development of communication and reminders. The components of the categories include the following, respectively: increasing the level of awareness and public education, education of housewives, distance education, compiling educational materials and holding explanatory classes and courses and training at schools for the subject of education; holding exhibitions, press forums, putting up posters, pictures and playing films, printing slogans about economizing and advertising in the media for the subject of development of communication; and putting up boards and sending individuals to homes for reminding about economizing for the subject of reminders. Finally, preserving and saving water resources, reducing government and household expenditures, observing justice in water distribution, preventing water rationing, preventing exit of currency from the country and creating the foundations in the country for economic growth and development were identified as the consequences of the final research model.

Keywords: Social Marketing, Planned Behavior Theory, Grounded Theory, Qualitative Research.

چکیده

کارکرد سیستماتیک بازاریابی همراه با تکنیک‌ها و مفاهیم دیگر به منظور دستیابی به اهداف رفتاری خاص در راستای کسب نتایج اجتماعی، بازاریابی اجتماعی می‌باشد. هدف پژوهش حاضر، طراحی مدل بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب کشور است. روش پژوهش کیفی و با راهبرد نظری داده بنیاد انجام شد. به این منظور با ۱۶ نفر از خبرگان و متخصصان به صورت هدفمند و با روش گلوله برفی مصاحبه‌های عمیق نیمه ساختاریافته انجام شد. داده‌ها به صورت منظم با استفاده از رویکرد استراوس که با استفاده از گام‌های تحلیل داده‌ها مشتمل بر کدگذاری باز، محوری و انتخابی و تدوین یک الگوی منطقی با یک توصیف بصری از نظریه تولید شده تأکید دارد. پس از تمامی مراحل کدگذاری، مدل نهایی به دست آمد. یافته‌ها نشان داد، مقوله‌های اصلی راهبردی مدل شامل آموزش، گسترش ارتباطات و یادآوری‌کننده‌ها می‌باشد. مولفه‌های مقوله‌ها به ترتیب شامل موارد ذیل هستند: بالا بردن سطح آگاهی و آموزش همگانی، آموزش زنان خانه‌دار، آموزش‌های غیرحضوری، تدوین مطالب آموزشی و برگزاری کلاس‌ها و دوره‌های توجیهی و آموزش در مدارس برای مقوله آموزش. برگزاری نمایشگاه‌ها، میزگردهای مطبوعاتی، نصب پوستر و عکس و پخش فیلم، چاپ شعارهای صرفه‌جویی و تبلیغات از رسانه‌ها برای مقوله گسترش ارتباطات و نصب تراکت‌ها و اعزام افراد یادآوری‌کننده جهت صرفه‌جویی به منازل برای مقوله یادآوری‌کننده‌ها بود و در نهایت، حفاظت و ذخیره منابع آب، کاهش هزینه‌های دولت و خانوارها، برقراری عدالت در توزیع آب، جلوگیری از جیره‌بندی آب، جلوگیری از خروج ارز از کشور و ایجاد بستر رشد و توسعه اقتصادی کشور به عنوان پیامدهای مدل نهایی پژوهش شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: بازاریابی اجتماعی، تئوری رفتار برنامه‌ریزی شده، نظریه داده بنیاد، پژوهش کیفی.

به وجود آمده است. از این رو یکی از مباحث مهم مرتبط با منابع آبی، موضوع الگوی مصرف آن است. «مصرف» به معنای بهره‌برداری و استفاده از امکانات موجود به قصد پاسخ دادن به نیازها است و «الگو» به معنای استاندارد و هنجار تعریف شده بر اساس معیارها و شاخص‌ها است (خزاعی، ۱۳۸۸).

باوجود پژوهش‌ها و اقدامات مختلفی که در بخش‌های مختلف حوزه صنعت آب و فاضلاب کشور انجام می‌شوند، مصرف بهینه آب در حوزه صنعت آب و فاضلاب کشور کمتر مورد توجه قرار گرفته و سیاست‌های کلی در این زمینه ضعیف است. با آگاهی از اینکه عوامل زیادی بر صرفه‌جویی در مصرف آب تأثیرگذار هستند، پژوهشگران مطالعه حاضر بر آن شدند که با استفاده از مفاهیم و راهکارهای بازاریابی اجتماعی، به‌گونه‌ای جدید و با بهره‌جویی از تئوری رفتار برنامه‌ریزی شده در این زمینه مهم وارد شوند و به بررسی مشکلات و موانع مشارکت مصرف‌کنندگان، راهکارهای تغییر رفتار و جایگزین کردن رفتارهای مطلوب صرفه‌جویی از طریق بازاریابی اجتماعی بپردازند. پژوهش حاضر بر مبنای رویکرد نظریه داده‌بنیاد انجام شد. سه رهیافت مسلط در رویکرد نظریه داده‌بنیاد قابل تفکیک است: رهیافت نظام‌مند که با اثر استراوس و کوربین (Corbin و Strauss، ۱۹۹۸) شناخته می‌شود؛ رهیافت ظاهرشنونده که مربوط به اثر گلیزر (Glaser، ۱۹۹۲) است و رهیافت ساخت‌گرایانه که توسط چارمز حمایت می‌شود (Charmaz، ۱۹۹۰).

در این پژوهش اجرای بازاریابی اجتماعی متأثر از عوامل‌هایی همچون اقدامات، محرک‌ها، راه‌بردها و مداخله‌گرها مورد بررسی و سنجش قرارخواهد گرفت. همچنین در این پژوهش به دو سوال، الزامات پیاده‌سازی مطلوب بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب کشور چه عواملی هستند؟ مدل مناسب برای این عوامل چیست؟ پاسخ داده خواهد شد.

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

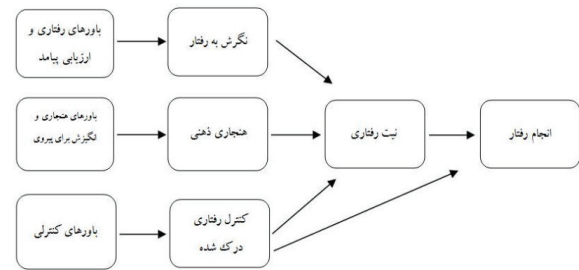
یکی از رویکردهای نوین و البته کم‌هزینه برای تغییر رفتارهای فرهنگی، سیاسی، و اجتماعی در جهت مصرف بهینه آب و منابع آبی توجه به مقوله سرمایه اجتماعی و به تبع آن بهره‌مندی از رویکرد بازاریابی اجتماعی و توجه به جنبه‌های اجتماعی از جمله هویت و هنجارهای اجتماعی است (اخروی و رعیت، ۱۳۹۸). در این زمینه تئوری رفتار برنامه‌ریزی شده به دلیل استحکام نسبی آن، از حوزه‌های متعددی مانند روانشناسی، بهداشت، جامعه‌شناسی، بازاریابی، رفتار مصرف‌کننده و دیگر زمینه‌های علوم پشتیبانی می‌کند. به عنوان مثال این مدل در مطالعات پیش‌بینی رفتار در زمینه‌های اهدای خون، فعالیت‌های ورزشی، اوقات فراغت و رژیم‌های غذایی و ... کاربرد دارد (فدایی، ۱۳۹۵).

بازاریابی اجتماعی قلمرویی از دانش بازاریابی است که سعی در ایجاد تغییرات اجتماعی مثبت دارد و می‌تواند برای ترویج محصولات شایسته، ایجاد مخاطبان هدف، جلوگیری از محصولات ناشایست و در نهایت رفاه به‌کار رود (Dann، ۲۰۱۰). تلاش بازاریابی اجتماعی، تأثیرگذاری روی عقاید و رفتار جامعه است تا با ایجاد الگویی، نگرش و رفتار مردم را به سمت و سویی خاص هدایت کند و در این راه از اصول بازاریابی تجاری (برای مثال، تبلیغات و روابط عمومی) استفاده می‌کند. به‌طورکلی بازاریابی اجتماعی به دنبال دستیابی به یکی از چهار هدف پذیرش رفتار جدید، رد رفتار بالقوه نامطلوب، تعدیل رفتار فعلی یا ترک رفتار نامطلوب‌تر مخاطبان است. علی‌رغم اینکه این حوزه در مقایسه با بازاریابی تجاری، بسیار نوپا است، اما نقش و اهمیت آن در توسعه اجتماعی موجب شده است مورد توجه و اقبال عمومی قرار گیرد (حاقی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳).

بازاریابی اجتماعی می‌تواند جزء موثرترین روش‌ها و یکی از رویکردهای نوین و البته کم‌هزینه (اخروی و رعیت، ۱۳۹۸) برای تغییر رفتار و اصلاح الگوی مصرف آب باشد که جنبه‌های گوناگون و مؤثر در کاهش مصرف آب را در نظر می‌گیرد و همچنین در این مسیر از فنون و علوم مختلف استفاده می‌کند تا بتواند حداکثر تأثیر را داشته باشد. مدل طراحی شده از بازاریابی اجتماعی در این پژوهش می‌تواند در تمام کشور به طور گسترده استفاده شود و باعث اصلاح الگوی مصرف آب شود.

بعضی از اندیشمندان راه‌حل چالش‌های مصرف آب را به روش‌های ساختاری و روش‌های داوطلبانه تقسیم‌بندی می‌کنند. روش‌های ساختاری شامل سیاست‌های قیمت و محدودیت مصرف هستند و برای اثرگذاری مستقیم بر رفتارها طراحی شده‌اند. روش‌های داوطلبانه‌محور سعی می‌کنند، از طریق تغییر گرایش‌ها در بین مصرف‌کنندگان، آنان را به اجراء و رعایت وظایف شهروندی در برابر محیط‌زیست تشویق کنند. این تغییرمنجر به تغییر رفتارها می‌شود. روش داوطلبانه‌محور با مدل‌های سلسله مراتب اثرات در بازاریابی سازگارتر است و با مفهوم بازاریابی اجتماعی و تغییر داوطلبانه رفتار منطبق‌تر است (Lowe و همکاران، ۲۰۱۵).

اصلاح رفتار مصرف آب خانگی می‌تواند موجب کاهش فشار بر عرضه آب شود، اما این امر نیازمند شناخت رفتار مصرف‌کننده آب و عوامل مؤثر بر آن است. در شرایط کنونی با توجه به مسائلی همچون افزایش تعداد مصرف‌کنندگان، گرایش به شهرنشینی و تغییر سبک زندگی مردم، تمایل به استفاده حداکثری از منابع و لزوم دسترسی سریع‌تر به نیازهای مصرفی به جهت محدودیت‌های زمانی، خطر اتلاف و کاهش منابع انرژی به ویژه آب و نیز دغدغه اصلاح و بهینه‌سازی الگوی مصرفی افراد جامعه



شکل ۱- الگوی تئوری رفتار برنامه‌ریزی شده Fishbein و Ajzen (۱۹۷۵)

سادگی یا دشواری یک رفتار از نظر فرد را کنترل رفتار ادراکی می‌نامند؛ به عبارتی کنترل رفتار ادراکی به ادراکی که یک فرد از داشتن توانایی خود برای انجام دادن یک کار دارد، اشاره می‌کند (عزیزی و احمدی، ۱۳۹۳). کنترل رفتار ادراکی به درجه‌ای از احساس فرد در مورد اینکه انجام یا عدم انجام یک رفتار تا چه حد تحت کنترل اراده‌ی وی می‌باشد اشاره دارد. عوامل کنترل شامل عوامل داخلی و عوامل خارجی است. عوامل داخلی مربوط به شخص بوده و شامل مهارت‌ها، توانایی‌ها، اطلاعات و احساسات می‌باشد و عوامل خارجی به مؤلفه‌های محیطی و شغلی اشاره دارد (بشیریان و همکاران، ۱۳۹۱). به‌طور خلاصه می‌توان بیان کرد، اگر فرد نگرش مثبتی نسبت به انجام رفتار داشته و افرادی که از نظرش مهم هستند اجرای رفتار او را تأیید نمایند و باور داشته باشند انجام رفتار تحت کنترل او است، آنگاه قصد می‌کند رفتار مذکور را انجام دهد (عزیزی و احمدی، ۱۳۹۳). تمایل رفتاری، بیانگر شدت نیت و اراده فردی برای انجام رفتار هدف است، رفتار همیشه بعد از قصد رفتاری و متصل به آن است. این تئوری رفتار، منحصرأً تحت کنترل قصد رفتاری می‌باشد (بشیریان و همکاران، ۱۳۹۱).

درخصوص استفاده از اصول بازاریابی اجتماعی در اصلاح الگوی مصرف آب، پژوهش‌های معدودی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است و هر یک از این پژوهش‌ها نگاهی خاص به مصرف بهینه آب داشته‌اند، در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود. کفایش‌پور (۱۳۹۱) بیان کرد برای اینکه محیط اجتماعی از سازمان حمایت کند سازمان باید وظایف خود را در قبال اجتماع انجام دهد و آثار و نتایج اقداماتش را در جامعه بررسی کند. بازاریابی اجتماعی به‌عنوان یک رویکرد جدید و قدرتمند به بخش گسترده‌ای از مشکلات اجتماعی در زمینه بهداشت، محیط‌زیست و در نهایت رفاه جامعه کمک می‌کند و نتیجه می‌گیرد با در نظر گرفتن اهمیت بازاریابی اجتماعی در حل مسائل بهداشتی و پزشکی از جمله اهدای خون، سازمان انتقال خون می‌تواند با توجه به رسالتش از بازاریابی اجتماعی به‌عنوان ابزاری جهت جذب بیشتر داوطلبان استفاده نماید. زیرا اهدای خون مستمر یک ایده مناسب قابل تبلیغ و بازاریابی است.

تیموری (۱۳۹۳) با استفاده از اصول بازاریابی اجتماعی و با بهره‌گیری از مدل رفتار برنامه‌ریزی شده، مدل مفهومی از تأثیر آمیخته بازاریابی

اجتماعی بر قصد کارکنان دانشگاه‌های دولتی اصفهان در جایگزینی خودرو تک‌سرنشین با وسایط نقلیه عمومی شهری ارائه کرد و نشان داد نتایج مبتنی بر فرضیه‌ها نشان می‌دهد با آمیخته بازاریابی اجتماعی بر باورهای رفتاری و باورهای هنجاری کارکنان تأثیر مثبت و معنادار دارد اما بر باورهای کنترلی این افراد تأثیر منفی دارد. در ادامه تأثیر باورهای رفتاری بر نگرش، باورهای هنجاری بر هنجار ذهنی و باورهای کنترلی بر کنترل رفتار درک شده مثبت و معنادار بود. همچنین تأثیر هر سه متغیر نگرش، هنجار ذهنی و کنترل رفتار درک‌شده بر قصد نمونه آماری پژوهش مثبت و معنادار بود. در نهایت آمیخته بازاریابی اجتماعی بر قصد تأثیر مثبت و معنادار دارد. اخروی و رعیت (۱۳۹۸) ۲۳ عامل موثر بر جلب مشارکت مردم در مصرف بهینه آب با رویکرد بازاریابی اجتماعی را در چهار دسته شناسایی نمودند. پس از تعیین اهمیت عوامل از یک سو و محاسبه شکاف آنها از حالت مطلوب و از سوی دیگر شکاف موضوع محاسبه شد و با توجه به توانمندی سازمان برای اجرای هر یک از آنها اولویت نهایی تعیین شد. ملک‌محمدی و مظفری (۱۳۹۷) به‌منظور تعیین و چگونگی ارتباط عوامل مؤثر در بازاریابی اجتماعی با تغییر داوطلبانه نحوه مصرف آب و مدیریت اثربخش، از ۱۱۵ نفر از خبرگان و کارشناسان مطلع در حوزه منابع آب، به‌عنوان جامعه آماری، درباره عوامل مرتبط با الگوی مصرف در قالب پرسشنامه نظرخواهی نمودند. بر اساس تجزیه و تحلیل‌های به دست آمده، با استفاده از روش تحلیل عامل اکتشافی، سه متغیر مکنون منطبق بر بازاریابی اجتماعی، شامل مناطق بحرانی (مکان) و تغییر رفتار مصرف (محصول) و فرهنگ‌سازی (ترفع)، شناسایی شد. سپس با بهره‌گیری از الگوی معادلات ساختاری، اثبات شد مؤلفه تغییر رفتار تحت تأثیر دو عامل فرهنگ و مکان است. در نهایت، بر اساس رتبه‌بندی به روش تاپسیس فازی، عامل مکان تأثیرگذارترین عامل بازاریابی اجتماعی در مدیریت منابع آب شناسایی شد.

اسراری و خراباتی (۱۳۹۳) عوامل مؤثر بر کاهش مصرف آب خانگی توسط ساکنین شهر سمنان را در دو بعد نگرش و رفتار بررسی کردند و نشان دادند، شهروندان سمنانی در زمینه یادگیری مصرف بهینه آب خانگی به خصوص تحت تأثیر دستورات دینی تأثیرپذیر و آموزش‌پذیر می‌باشند. شیخ و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند، کمبود آب یکی از عوامل محدودکننده اصلی توسعه فعالیت‌های فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی در دهه‌های آینده به شمار می‌رود و مدیریت استراتژیک مصرف آب یک اصل اساسی و ضروری است که جز با استفاده از یک استراتژی راهگشا با جامعیت، یکپارچگی، فراگیری و پویایی لازم و استفاده از رویکردهای مصرف آب (اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی) بین شهروندان میسر نیست. به همین دلیل تجدیدنظر در الگوی مصرف و صرفه‌جویی آب خصوصاً در بخش مصرف خانگی اهمیت و اولویت اول را دارد و برنامه‌های عملی صرفه‌جویی در مصرف از طریق تغییر الگوی مصرف و بهینه‌سازی آن به‌طور جدی باید دنبال شود.

طالع زاده و همکاران (۱۳۹۳) روند مصرف آب مشترکین خانگی شهر سی سخت را طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۱ بررسی کردند و نشان دادند، افزایش سطح اطلاعات عمومی و فرهنگ سازی مناسب، بهترین شیوه برای صرفه جویی بهینه آب می‌باشد. در تحقیق Ghebrejorgis و Mehreteab (۲۰۱۹) که در کشور اریتره انجام شد، نشان دادند تأثیر عوامل اجتماعی، بازاریابی و شخصی بر رفتار شهروندان در استفاده از آب بطری بر فراوانی نوشیدنی و دلیل خرید آب بطری (رفتار خرید مصرف کنندگان) تأثیر معناداری دارند. همچنین در مطالعه‌ای که توسط Almeida و همکاران (۲۰۱۹) در کشور پرتغال انجام شد، به استفاده از بازاریابی اجتماعی و کمپین‌ها در تغییر الگوی مصرف آب در جامعه و استفاده از شیرآلات و ابزار کاهنده مصرف بررسی شد. Sharma و همکاران (۲۰۱۸) رویکرد بازاریابی اجتماعی برای ایجاد تغییر در رفتار استفاده از آب در ساکنین ایالت پنجاب هندوستان را بررسی کردند. آن‌ها از رویکرد هفت مرحله‌ای در بازاریابی اجتماعی استفاده کردند تا رفتار مصرف آب در روستانشیان پنجاب را تغییر دهند. نتایج تحقیقات نشان داد، سطح آگاهی کلی اکثر پاسخ‌دهندگان درباره تغییرات آب و هوایی متوسط است. در نهایت، اثبات شد رویکرد بازاریابی اجتماعی باعث تغییر در رفتار مصرف کنندگان آب می‌شود و همچنین بازاریابی اجتماعی بر سطح

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نوع پژوهش کیفی است و در آن با استفاده از رویکرد مبتنی بر نظریه داده‌بنیاد، بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب بررسی و مدل مفهومی ارائه شده است. رویکرد نظریه داده‌بنیاد یک نوع روش پژوهش کیفی است که به طور استقرایی یک سلسله رویه‌های سیستماتیک را به کار می‌گیرد تا نظریه‌ای درباره پدیده مورد مطالعه ایجاد کند (Strauss و Corbin, ۱۹۹۰). با توجه به اینکه در رویکرد نظام‌مند (استراوس)، کدگذاری با جزئیات بیشتر و با فنون دقیق‌تری تعریف شده است (ساغروانی و همکاران، ۱۳۹۳)، در این پژوهش از رهیافت نظام‌مند استفاده شد. اجرای بازاریابی اجتماعی دارای پیامدهایی است که متغیر وابسته ما در این پژوهش خواهد بود.

۱- تجزیه و تحلیل داده‌ها (کدگذاری)

استراوس و کوربین بیان کردند نظریه داده بنیاد نوعی استراتژی کیفی برای تدوین نظریه در مورد یک پدیده از طریق مشخص کردن عناصر کلیدی آن پدیده و سپس طبقه‌بندی روابط این عناصر درون بستر و فرآیند است (Creswell, ۲۰۱۲). در رهیافت نظام‌مند در نظریه‌پردازی داده‌بنیاد بر استفاده از گام‌های تحلیل داده‌ها مشتمل بر کدگذاری باز، محوری و انتخابی و تدوین یک الگوی

دانش و سطح پذیرش آنان تأثیر گذاشته است.

Kantler و همکاران (۲۰۱۸) پژوهشی با عنوان "کاهش مصرف آب گرم؛ آزمون اثربخشی دانش شهروندان و جامعه بر مبنای بازاریابی اجتماعی در محیط خوابگاه‌های دانشجویی" انجام دادند. در این پژوهش مشخص شد، حدود ۳۳٪ از افراد عادت حمام خود را تغییر دادند و ۷۴٪ نیز متوجه شدند که وجود تجهیزات سبب توجه بیشتر آنها به دما و مدت زمان استحمام آنها می‌شود. Lowe و همکاران (۲۰۱۵) به دنبال توسعه معیارها و شاخص‌هایی به منظور ارزیابی برنامه‌های بازاریابی اجتماعی بودند. به این منظور از شاخص‌هایی مانند تعهد، انگیزه و پاداش اجتماعی و میزان گسترش هنجارهای اجتماعی در برنامه بازاریابی نام برده شد. بنابراین ابتدا مراحل یک برنامه بازاریابی مشخص شده و سپس برای هر مرحله شاخص‌های مبنای تبیین شده است. مراحل برنامه عبارت از انتخاب رفتار، شناسایی موانع و مزایا، توسعه استراتژی، شکل‌گیری یک مقدمه، به کارگیری گسترده مقیاس‌ها می‌باشد. این مطالعه به تبیین مفاهیم بازاریابی اجتماعی و چگونگی به کارگیری مؤثر از اصول و تکنیک‌های آن اشاره دارد. در این تحقیق مولفه‌ها و ابعاد بازاریابی اجتماعی با استفاده از نظر خبرگان شناسایی خواهد شد، بنابراین در حوزه آب و فاضلاب کشور کاری نو و تازه می‌باشد که کمتر به آن پرداخته شده است.

منطقی با یک توصیف بصری از نظریه تولید شده تأکید دارد. در این تعریف، سه مرحله از کدگذاری وجود دارد (Creswell, ۲۰۰۵). Strauss و Corbin (۱۹۹۸) با توسعه روال‌های کتاب «کشف نظریه داده‌بنیاد» (۱۹۶۷)، سه تکنیک کدگذاری پیشنهاد دادند (Lee, ۲۰۰۱) در ادامه این سه نوع کدگذاری که در این پژوهش استفاده شده، تشریح خواهد شد. -**کدگذاری باز**^۱: کدگذاری باز، فرآیند تحلیلی است که از طریق آن، مفاهیم، شناسایی شده و ویژگی‌ها و ابعاد آن در داده‌ها کشف می‌شوند (Lee, ۲۰۰۱؛ Strauss و Corbin, ۱۹۹۰). در این مرحله، نظریه‌پرداز داده‌بنیاد، مقوله‌های اولیه اطلاعات در خصوص پدیده در حال مطالعه را، به وسیله تقطیع^۲ اطلاعات شکل می‌دهد. پژوهشگر مقوله‌ها را بر همه داده‌های گردآوری شده، نظیر مصاحبه‌ها، مشاهدات و یادداشت‌ها یا یادداشت‌های خود بنیان می‌گذارد (Creswell, ۲۰۰۵). کدگذاری باز از نظر واحد تحلیل می‌تواند به صورت سطر به سطر، عبارت به عبارت، پاراگراف به پاراگراف یا به صورت صفحه جداگانه انجام شود. چنانچه واحد کدبندی سطر باشد، به هر یک از سطرها یا جمله‌ها، مفهوم یا کدی پیوست می‌شود. این کد یا مفهوم باید حداکثر فضای مفهومی و معنایی آن را اشباع نماید. در این مرحله تمام اطلاعات کدبندی می‌شود (محمدپور، ۱۳۹۰)

- **کدگذاری محوری**^۳: کدگذاری محوری، فرآیند ربط‌دهی مقوله‌ها

به زیرمقوله‌هایشان، و پیوند دادن مقوله‌ها در سطح ویژگی‌ها و ابعاد است. این کدگذاری، به این دلیل «محوری» نامیده می‌شود که کدگذاری حول «محور» یک مقوله تحقق می‌یابد (Lee، ۲۰۰۱؛ Corbin و Strauss، ۱۹۹۰). هدف این مرحله از کدگذاری، نظم دادن به داده‌های کدگذاری شده، دسته‌بندی، ترکیب و سازماندهی میزان زیاد داده‌ها و باز جمع کردن آنها به شیوه‌های جدید است. اگر در کدگذاری باز داده‌ها را بشکنیم و از هم جدا نمائیم، و یا داده‌ها را باز کنیم، کدگذاری محوری مقوله‌های قبلی را با روش‌های متفاوت مفهومی در کنار هم قرار می‌دهد. در نتیجه در کدگذاری محوری بین مقوله‌ها ارتباط درونی ایجاد می‌شود. در نتیجه در کدگذاری محوری پیوند بین مقوله‌ها به صورت زیر تعیین می‌شود.

شرایط علی^۴: این شرایط باعث ایجاد و شکل‌گیری مقوله یا طبقه هسته‌ای می‌شود. به عبارت دیگر، مقوله‌ها با شرایطی هستند که مقوله اصلی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و به وقوع یا گسترش پدیده موردنظر منجر می‌شوند. شرایط در داده‌ها اغلب با واژگانی همچون وقتی، در حالی که، چون، از آنجا که، و به علت بیان می‌شوند. زمانی که این نشانه‌ها وجود ندارند، محقق می‌تواند با توجه به خود پدیده و با نگاه منظم و هدفمند به داده‌ها و بازبینی رویدادهایی که از نظر زمانی مقدم بر پدیده موردنظر هستند، شرایط علی را کشف کند.

مقوله اصلی (محوری): پدیده اصلی مورد مطالعه، پدیده موردنظر ایده و فکر محوری، حادثه، اتفاق یا واقعه‌ای می‌باشد که در جریان کنش‌ها و واکنش‌ها به سوی آن رهنمون می‌شوند تا آن را اداره، کنترل یا به آن پاسخ دهند. مقوله محوری پدیده‌ای است که اساس و محور فرایند است. این مقوله، همان عنوانی است که برای چارچوب یا طرح به وجود آمده در نظر گرفته می‌شود. مقوله‌ای که به عنوان مقوله اصلی یا محوری انتخاب می‌شود باید به اندازه کافی انتزاعی بوده و بتوان سایر مقولات اصلی را به آن مرتبط کرد. **زمینه^۵ یا بستر:** شرایط خاصی که در آن فرایندها و تعاملات برای اداره، کنترل و پاسخ به پدیده صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر بستر یا زمینه مجموعه مشخصه‌های خاصی است که به پدیده موردنظر دلالت می‌کند. یعنی وقایع متعلق به پدیده. بستر نشان‌دهنده مجموعه شرایط ویژه‌ای است که در آن راهبردهای کنش و واکنش صورت می‌گیرد (همان منبع).

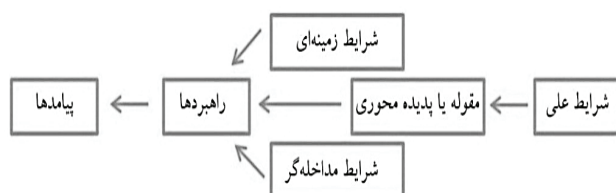
شرایط مداخله‌گر^۶: شرایط کلی که بر چگونگی فرایندها و راهبردها تأثیر می‌گذارد. شرایطی که باعث تشدید یا تضعیف پدیده‌ها می‌شوند، شرایط ساختاری هستند که به پدیده‌ای تعلق دارد و بر راهبردهای کنش و واکنش اثرگذار است. آنها راهبردها را درون زمینه خاصی سهولت می‌بخشند و یا آنها را محدود می‌نمایند.

راهبردها: رفتارها و تعاملاتی که تحت تأثیر شرایط مداخله‌گر و بستر حاصل می‌شود. راهبردها مبتنی بر کنش و واکنش‌هایی برای کنترل، اداره و برخورد با پدیده مورد نظر هستند. راهبردها هدف

دارند، هدفمند هستند و به دلیلی صورت می‌گیرند، همواره شرایط مداخله‌گری وجود دارند که راهبردها را سهولت می‌بخشند و یا آنها را محدود می‌کنند.

پیامدها^۷: نتایجی هستند که در اثر راهبردها به وجود می‌آیند، پیامدها نتایج حاصل از کنش و واکنش‌ها هستند. پیامدها را همیشه نمی‌توان پیش‌بینی کرد و الزاماً همان‌هایی نیستند که افراد از قبل قصد آن را داشته‌اند. پیامدها ممکن است حوادث و اتفاقات باشند، شکل منفی به خود بگیرند، ضمنی یا واقعی باشند، و یا در حال یا آینده به وقوع می‌پیوندند. به علاوه این امکان وجود دارد که آن چه که در برهه‌ای از زمان پیامد به شمار می‌رود، در زمانی دیگر به بخشی از شرایط و عوامل تبدیل شود.

روابط بین مقوله‌های شکل‌گرفته در داده‌ها نشان می‌دهد، الگوی شکل‌گرفته با شکل اصلی الگوی پارادایمی (مدل الگویی یا سرمشق) Corbin و Strauss (۱۹۹۰) تطابق دارد، یعنی پدیده محوری متأثر از شرایط علی بوده و خود بر راهبردها تأثیرگذار است. راهبردها تحت تأثیر شرایط زمینه‌ای و مداخله‌گر، پیامدهای مرتبط با پدیده مورد بررسی را شکل می‌دهند. این الگوی پارادایمی در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- کدگذاری محوری مدل بازاریابی اجتماعی

- **کدگذاری انتخابی^۸ و خلق نظریه:** در این مرحله نظریه‌پرداز داده‌بنیاد مقوله محوری را [که سایر مقولات بر محور آن می‌شوند و کلیتی را تشکیل می‌دهند] به طور روش‌مند^۹ انتخاب و با ارتباط دادن آن با سایر مقوله‌ها به نگارش نظریه اقدام می‌کند که شرحی انتزاعی برای فرآیندی که در پژوهش مطالعه شده است، ارائه می‌دهد (دانایی‌فرد و امامی، ۱۳۸۶).

۲- **نمونه‌گیری و جامعه آماری:** در نمونه‌گیری (انتخاب مشارکت‌کنندگان) پژوهش کیفی که آن را نمونه‌گیری هدفمند^{۱۰} یا نمونه‌گیری تئوریک^{۱۱} (Creswell، ۲۰۰۷) می‌نامند، هدف پژوهشگر انتخاب مواردی می‌باشد که با توجه به بیان مسئله و هدف تحقیق سرشار از اطلاعات باشد و محقق را در شکل دادن مدل نظری خود، کمک نماید و این کار تا جایی ادامه می‌یابد که طبقه‌بندی مربوط به داده‌ها و اطلاعات اشباع و نظریه موردنظر با تمام جزئیات و با دقت تشریح شود (Creswell، ۲۰۰۷). مایکل پاتون^{۱۲} معتقد است شیوه ایده‌آل نمونه‌گیری کیفی آن است که تا رسیدن به موارد زائد (مواردی که پس از آن اطلاعات جدیدی حاصل نمی‌شود) ادامه یابد.

به این منظور جهت اعتبار بیشتر تحقیق، سعی شد تا با افرادی که موضوع تحقیق را تجربه کردند و دانش و تجربه بالایی در این زمینه دارند، مصاحبه انجام شود. به این منظور با کارشناسان و متخصصین حوزه آب و فاضلاب کشور شامل مدیران عالی و میانی که حداقل ده سال سابقه کار در صنعت آب داشتند و همچنین در بخش دانشگاهی از اساتید حوزه مدیریت بازاریابی که مطالعاتی در زمینه بازاریابی اجتماعی داشتند مصاحبه انجام شد و ویژگی‌های آنها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های مشارکت‌کنندگان در تحقیق

گروه	تعداد	تحصیلات	
		دکتر	کارشناسی ارشد
مدیران حوزه شرکت آبفا	۸	۲	۶
اساتید دانشگاه	۸	۸	۰
جمع کل	۱۶	۱۰	۶

مشارکت‌کنندگان در تحقیق ۱۶ نفر بودند و پس از آن داده‌های گردآوری شده به نقطه اشباع رسیده و ادامه جهت مصاحبه‌های جدید مورد نیاز قرار نگرفت. لازم به ذکر است باتوجه به استقبال مصاحبه‌شوندگان از موضوع تحقیق و تمایل آنها به همکاری جهت اعتبار بخشیدن به نتایج تحقیق، میانگین زمان مصاحبه‌ها یک ساعت و پانزده دقیقه بود.

در این تحقیق، اطلاعات به روش مصاحبه عمیق به صورت هدایت کلیات و نیمه ساختاریافته گردآوری شده است. لازم به ذکر است که سوالات مصاحبه توسط محقق هیچ اشاره مستقیمی به تأثیرات رویکرد بازاریابی اجتماعی بر کاهش و صرفه جویی مصرف آب شرب در حوزه صنعت آب و فاضلاب نگردید. داده‌های پژوهشی در خصوص گستره مفهومی، ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب کشور، راهبردهای مربوط به پدیده و پیامدهای بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب در این بخش بررسی و تحلیل شده است.

در همین خصوص، با اطلاع مشارکت‌کنندگان تمام مصاحبه‌ها ضبط و برای استخراج نکات کلیدی بررسی شدند. پس از اعلام موافقت، مصاحبه‌ها با هدف شناسایی و تعیین ابعاد مؤلفه‌های بازاریابی اجتماعی جهت دستیابی به مدل مفهومی پژوهش در ارزیابی اثرگذاری بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب کشور برگزار شد. در این پژوهش مصاحبه‌های ضبط شده پس از پیاده‌سازی، با استفاده از روش تحلیل محتوا به صورت سطر به سطر و عبارت بررسی، مفهوم‌پردازی، مقوله‌بندی، سپس مشابَهت، ارتباط مفهومی و خصوصیات مشترک بین کدهای باز، مفاهیم و مقولات (طبقه‌ای از مفاهیم) مشخص شدند و کلیه مصاحبه‌ها مورد بررسی و مقایسه مستمر داده‌ها انجام شد. به همین دلیل،

بعد از مطالعه و مرور دقیق متن تایپ شده مصاحبه‌ها و موارد اشاره شده در آن، واحدهای معنی‌دار مشخص، توضیح و نامگذاری شدند. در فرآیند پژوهش، محقق به ۷۷ پرچسب مفهومی رسید که این مفاهیم براساس تشابه آنها طبقه‌بندی شدند. در مقایسه مفاهیم با یکدیگر مشخص شد، تعدادی از مفاهیم مورد بررسی به پدیده‌های مشابه مربوط هستند، که به این وسیله باعث کشف و استخراج مقوله‌ها شد. بنابراین می‌توان بیان کرد مفاهیم در سطحی بالاتر دسته‌بندی می‌شوند. مقوله، مفهومی است که از سایر مفاهیم انتزاعی‌تر می‌باشد؛ یعنی عنوانی که به مقوله‌ها اختصاص داده می‌شود، انتزاعی‌تر از مفاهیمی است که مجموعاً آن مقوله را تشکیل می‌دهند. به طوریکه مقوله‌ها قدرت مفهومی بالاتری دارند، زیرا می‌توانند مفاهیم را بر محور خود جمع کنند. اجرای بازاریابی اجتماعی دارای پیامدهایی است که متغیر وابسته ما در این پژوهش خواهد بود.

باینکه برخی از پژوهشگران کیفی بحث درباره اعتبار و روایی داده‌ها و نتایج پژوهش را به طور سنتی به پژوهش‌های کمی مربوط می‌دانند (Johnson و Christensen، ۲۰۰۸)؛ اما واقعیت این است که در پژوهش‌های کیفی صحت و اعتبار داده‌ها و یافته‌ها بخش با اهمیت از فرآیند پژوهش است (Creswell، ۲۰۱۲). عواملی مانند گردآوری و تحلیل هم‌زمان داده‌ها، متناسب بودن نمونه، انسجام روش‌شناسی، حساسیت و دقت محقق، باعث می‌شود تا حد بسیار زیادی دقت علمی پژوهش کیفی ضمانت شود. در این پژوهش از دو روش بازبینی مشارکت‌کنندگان و مرور خبرگان غیرشرکت‌کننده در پژوهش (۳ نفر از اعضای هیئت علمی دانشگاه در حوزه بازاریابی اجتماعی) استفاده و پس از دریافت نظرات اصلاحی و مشاوره با اساتید راهنما و مشاور، ویرایش لازم انجام و مدل نهایی ارائه شد.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل محتوای پاسخ مصاحبه‌شونده‌ها به سؤالاتی مانند برداشت از مفهوم بازاریابی اجتماعی و مؤلفه‌های مؤثر بر اجرای بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب شش مقوله اصلی زیر را ارائه می‌کند:

هنجارهای ذهنی: هنجار ذهنی بیانگر فشار اجتماعی درک شده از سوی فرد برای انجام یا عدم انجام رفتار هدف است. **نگرش:** نگرش، احساس‌های مثبت یا منفی درباره انجام رفتار هدف تعریف شده است.

کنترل رفتاری ادراک‌شده: سازه کنترل رفتاری درک‌شده، بیانگر ادراک محدودیت‌های درونی و بیرونی انجام رفتار است. در واقع، بیانگر باورها درباره عوامل درونی و بیرونی است که ممکن است مانع انجام رفتار شود (سرلک و همکاران، ۱۳۹۲).

هنجارهای اخلاقی: جنبه‌هایی از هنجار شخصی فردی را انعکاس می‌دهند. هنجارهای اخلاقی درك فردی از صحت یا عدم صحت اخلاقی انجام یک رفتار است (زمانی و همکاران، ۱۳۹۴).

خودپنداری: شامل نگرش‌ها، احساسات و دانش ما درباره توانایی، مهارت و قابلیت پذیرش اجتماعی است. خودپنداری تمام ابعاد شناختی، ادراکی، عاطفی و رویه‌های ارزیابی را در برمی‌گیرد. بنابراین، مجموعه نگرش‌های شخص به خود را خودپنداری می‌نامند. متفکران به ویژه در قرن حاضر، بر این باورند که صرفاً انسان دارای تجربه خودپنداری است و تجربه روان‌شناختی منحصر به انسان است. خودپنداری یک واژه کلی است که سه مؤلفه دارد: (۱) تصویر خود، که به شیوه توصیف از خودمان یعنی به آنچه فکر می‌کنیم هستیم اشاره دارد (خواه بر اساس واقعیت یا خلاف آن باشد). (۲) عزت نفس، که به طور اساسی جنبه ارزشیابی دارد و به حدی اشاره می‌کند که ما خویش را دوست داریم، می‌پذیریم و ارزش دارد درباره آن فکر کنیم. (۳) خود آرمانی، همان چیزی است که دوست

داریم باشیم و این ممکن است وسعت و درجات متفاوتی داشته باشد. هر چه فاصله بین تصویر خود و خود آرمانی زیادتر شود عزت نفس کاهش پیدا می‌کند (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۸۴).

دینداری: نظریه‌پردازانی همچون باکاک بر این باور هستند در اعصار گذشته، ادیان موجب اقناع امیال ناخودآگاه شده‌اند و نشانه‌هایی (رشد مذهب و گرایش به الهیات پیورتینی از دهه چهل در امریکا و برخی نقاط اروپا)، هست که ادیان می‌توانند بر فراهم آوردن چنین اقناع ناخودآگاهی، ادامه دهند. جامعه ایران در طی سال‌های اخیر با گسترش شهرنشینی و رشد صنعتی و به مدد رسانه‌های ارتباطی و موج تبلیغات، با پدیده جدید مصرف‌گرایی مواجه شده است، که موجب تخریب محیط‌زیست و منابع طبیعی شده است. اما از طرف دیگر آموزه‌های دینی ما، اسراف و تبذیر را به شدت نهی کرده است (احمدی و زارعی، ۱۳۹۶).

در خصوص شرایط علی برای ایجاد پدیده مورد مطالعه است که کدهای باز مربوط به آنها به شرح جدول (۲) است.

جدول ۲- شرایط علی پژوهش

ابعاد پژوهش	مقوله	مفهوم (شاخص)
شرایط علی	هنجارهای ذهنی	اگر من آب شرب خانگی کمتری استفاده کنم افراد مهم این رفتار من را تایید می‌کنند. افرادی که برای من ارزش قائل‌اند انتظار دارند در مصرف آب شرب خانگی صرفه‌جویی کنم.
	نگرش	به نظر من صرفه‌جویی در مصرف آب کار درست و پسندیده‌ای است. ذخیره آب شرب برای آیندگان لازم و ضروری است. به نظر من صرفه‌جویی در مصرف آب شرب خانگی عاقلانه است. به نظر من صرفه‌جویی در هنگام مصرف آب شرب خانگی لازم است.
	هنجارهای اخلاقی	زمانی که در مصرف آب خانگی صرفه‌جویی می‌کنم، احساس خوبی دارم. فکر می‌کنم اگر در مصرف آب شرب صرفه‌جویی کنم، کار خوبی انجام داده‌ام. من در خصوص صرفه‌جویی در مصرف آب احساس وظیفه می‌کنم. از نظر وجدانی احساس می‌کنم وظیفه دارم در مصرف آب شرب خانگی صرفه‌جویی کنم.
	خودپنداری	ذاتاً اهل صرفه‌جویی در مصرف آب شرب هستم. شخصیت من با صرفه‌جویی آب سازگار است. من خودم را به عنوان فردی که در مصرف آب صرفه‌جو هستم، می‌شناسم.
کنترل رفتاری ادراک شده		من می‌دانم چگونه می‌توانم در مصرف آب خانگی صرفه‌جویی کنم. من فکر می‌کنم ۵ درصد کاهش مصرف آب خانگی کار سختی نباشد. من فکر می‌کنم واقعاً می‌توانم ۵ درصد از مصرف آب خانگی را کاهش دهم. من نسبتاً به سادگی می‌توانم آب مصرفی خانگی را کاهش دهم.
		به نظر من اینکه از نظر اعتقادی و دینی صرفه‌جویی در مصرف آب خانگی واجب است، خیلی مهم است.
دینداری		به نظر من اینکه دین اسلام اسراف در مصرف آب را حرام دانسته، خیلی مهم است. به نظر من اینکه پیامبر (ص) و ائمه (ع) اسراف در مصرف آب را مذموم دانسته‌اند، خیلی مهم است.

آنچه که زمینه اجرای یک فرآیندی مدیریتی را فراهم می‌کند تحت عنوان "بستر" (Context) شناخته می‌شود. این موضوعی است که در بحث مشکلات و بحران آبی در کشور کمتر به آن توجه شده است. مولفه‌های مختلفی بستر مدیریت آب را تشکیل می‌دهند. از جمله این مولفه‌ها می‌توان به ساختارهای اقتصادی، بافت اجتماعی و فرهنگی، روابط و مناسبات سیاسی اشاره کرد. مجموعه عوامل شکل‌دهنده بستر مدیریت آب را می‌توان در "نظام حکمرانی آب"

خلاصه کرد. در نظام حکمرانی آب به چگونگی تصمیم‌گیری و اجرای تصمیمات در یک سیستم منابع آب پرداخته می‌شود. این موضوع تعیین‌کننده‌ی چگونگی شکل‌گیری و اصلاح رفتارها در قبال مدیریت مصرف آب خواهد بود (باقری، ۱۳۹۴). شرایط زمینه‌ای در این پژوهش شامل سه مؤلفه اصلی ساختارهای اقتصادی، بافت فرهنگی و اجتماعی، روابط و مناسبات سیاسی می‌باشد. شرایط مذکور به شرح جدول (۳) است.

جدول ۳- زمینه و بستر پژوهش

ابعاد پژوهش	مقوله	مفهوم (شاخص)
زمینه و بستر	اقتصادی	میزان درآمد سرانه خانوارها
		قیمت فروش آب
		هزینه سرمایه‌ای جهت بهبود شبکه توزیع آب
بافت فرهنگی و اجتماعی	بافت فرهنگی و اجتماعی	مسئولیت‌پذیری اجتماعی آحاد جامعه در صرفه‌جویی آب
		تعداد خانوارها
		سطح سواد زنان خانه‌دار
روابط و مناسبات سیاسی	روابط و مناسبات سیاسی	سطح آگاهی جامعه نسبت به کمبود آب
		سرمایه فرهنگی
		اعتماد مردم به مسئولین سازمان آب
روابط و مناسبات سیاسی	روابط و مناسبات سیاسی	توانایی ارتباطی مسئولین سازمان آب با مشترکین آب
		پذیرش سیاست‌های مسئولین در خصوص مدیریت آب توسط مردم
		پتانسیل و توانایی ارتباطی کارکنان صنعت آب با جامعه
روابط و مناسبات سیاسی	روابط و مناسبات سیاسی	میزان توجه مدیریت صنعت آب نسبت به استراتژی‌های صرفه‌جویی آب
		تشکیل ستاد مشترک سازمان آب با سازمان‌ها و ارگان‌های ذی‌ربط

عموم مردم از وضعیت وخیم منابع آبی کشور اطلاعات مناسب و کاملی ندارند و این نقیصه دلیلی بر اهمیت ندادن مردم به سیاست‌های صرفه‌جویی آب است و این موضوع در مقاومت مردم در تغییر و اصلاح الگوی مصرفی آب تأثیر خواهد داشت. یکی دیگر از موانع و محدودیت‌های اجرای سیاست‌های صرفه‌جویی آب به نقش مدیران برمی‌گردد. شرح مختصری از علل ناکامی مدیریت آب در ایران به صورت موارد ذیل عنوان شده است:

- ۱- امروزه اظهارنظر و ارائه پیشنهادات و سیاستگذاری در حوزه آب، بدون داده و اطلاعات رایج شده است.
 - ۲- در فضای تصمیم‌گیری افراد غیرمتخصص و غیرذینفع به حوزه‌های تخصصی ورود نموده‌اند (انصاری، ۱۳۹۶).
 - ۳- انتخاب مدیران غیرمتخصص و ظاهراً متعهد از دیگر دلایل ناکامی است (انصاری، ۱۳۹۶).
- یکی دیگر از موانع اجرای سیاست‌های صرفه‌جویی، قیمت

پایین فروش آب شرب می‌باشد. به طوریکه قیمت تمام‌شده هر مترمکعب آب در صورتهای مالی شرکت آب و فاضلاب بیشتر از قیمت فروش همان میزان می‌باشد و این شرکت اختلاف قیمت فروش و قیمت تمام شده را از دولت به عنوان یارانه دریافت می‌کنند. شرکت آب و فاضلاب می‌تواند از افزایش درآمد فروش آب، بسیاری از هزینه‌های آبرسانی و تصفیه را تأمین کند و حتی به ارتقاء سیستم‌های آبرسانی، لوله‌کشی و تصفیه‌خانه‌ها بپردازد، اما با نرخ‌گذاری آب که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفت و حتی با جود اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، هنوز دولت نتوانسته به نرخ واحدی درباره آن دست یابد، زیرا این امر تحت تأثیر ملاحظات سیاسی-اجتماعی قرار دارد.

شرایط مداخله‌گر (میانجی) کلی و وسیع هستند که بر چگونگی کنش متقابل اثر می‌گذارند. در پژوهش حاضر و براساس تحلیل محتوای مصاحبه‌ها، ۴ مقوله به عنوان شرایط مداخله‌گر به شرح جدول (۴) شناسایی شد.

جدول ۴- شرایط مداخله‌گر

ابعاد پژوهش	مفهوم (شاخص)
اطلاعات نامناسب و ضعیف	اطلاعات نامناسب مردم از وضعیت ذخایر منابع آب کمبود اطلاعات مردم در مورد منابع آبی کشور اطلاعات نامناسب و ضعیف باعث نقص اطلاعات مردم در خصوص صرفه‌جویی آب شرب می‌شود.
مقاومت در برابر نحوه و میزان آب مصرفی	مقاومت مردم در خصوص تغییر الگوی آب مصرفی تردید مردم در برابر عواقب تغییر الگوی آب مصرفی عادت مردم نسبت به مصرف زیاد آب
شرایط مداخله‌گر	ضعف عملکرد مدیران حوزه صنعت آب و فاضلاب در ترغیب مردم جهت صرفه‌جویی ناکارآمدی توانایی مدیران صنعت آب و فاضلاب در ارتقاء آگاهی مصرف‌کنندگان آب ضعف مهارت مدیران صنعت آب و فاضلاب در انتقال اهمیت صرفه‌جویی آب به مصرف‌کنندگان مدیران صنعت آب و فاضلاب دوره‌های آموزشی تکنیک‌های صرفه‌جویی آب را طی نکرده‌اند
پایین بودن قیمت آب	پایین بودن قیمت باعث عدم رعایت صرفه‌جویی آب توسط مشترکین آب می‌شود سازمان آب جهت رعایت صرفه‌جویی باید بدنبال تدابیری جهت افزایش قیمت آب باشد پارانه پرداختی دولت به شرکت آب و فاضلاب کشور عاملی است که مانع بالابردن قیمت فروش آب شده است.

هستند. اثر ارتباطات بر روی رفتار، برپایه اینکه چطور ارتباطات توسعه یافته‌اند، می‌توان بطور شگرفی متفاوت باشند (کاتلر و همکاران، ۱۳۹۲).

راهبردها مبتنی بر کنش و واکنش‌هایی برای کنترل، اداره و برخورد با پدیده موردنظر هستند. بر این اساس و با تحلیل محتوای مصاحبه‌ها، ۳ مؤلفه به‌عنوان راهبردها به شرح جدول (۵) شناسایی شد.

پیامدها نتایج حاصل از کنش و واکنش‌ها هستند. در این پژوهش پیامدها شامل ۷ مقوله اصلی می‌باشد و در جدول (۶) مشخص شدند.

گانه آموزش را مجموعه‌ای از رویدادهای "به عمد ترتیب داده شده" می‌دانند که برای حمایت از فرآیندهای درونی یادگیری، طراحی شده است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۴). یکی دیگر از راهبردهای این پژوهش، یادآوری‌کننده‌ها می‌باشد. در تعریف یادآوری‌کننده‌ها می‌توان بیان کرد: بیشتر رفتارهایی که از پایداری حمایت می‌کنند، نسبت به انسانی‌ترین خصلت حساس هستند. بنابراین تمام اطلاعاتی که یک شخص برای اتخاذ یک عمل صحیح نیاز دارد باید در یادآوری‌کننده‌ها گنجانده شود (کاتلر و همکاران، ۱۳۹۲).

اکثر برنامه‌های ترویج رفتار پایدار، دربرگیرنده یک بخش ارتباط

ابعاد پژوهش	مفهوم (شاخص)
آموزش	بالا بردن سطح آگاهی و آموزش همگانی جهت کاهش مصرف آب
	آموزش زنان خانه‌دار در مورد استفاده بهینه از آب با شرکت در جشنواره‌ها و نمایشگاه‌ها در زمینه صرفه‌جویی در مصرف آب
راهبردها	آموزش غیرحضوری از طریق ارسال کتابچه و بروشورهای آموزشی به مشترکین
	تدوین مطالب آموزشی مصرف بهینه آب در کتب درسی و برنامه‌های آموزشی و پرورشی مدارس
گسترش ارتباطات	برگزاری کلاس و دوره‌های توجیهی در شهرها
	آموزش بهینه‌سازی مصرف آب در مدارس و خانواده‌ها و اقشار مختلف مردم از مهدکودک تا دانشگاه‌ها
یادآوری‌کننده‌ها	برگزاری نمایشگاه‌های صنعت آب و فاضلاب و ارائه مراحل تولید تا توزیع آب
	میزگردهای مطبوعاتی در خصوص نحوه صحیح مصرف آب در رسانه‌ها
	نصب پوستر و عکس در سطح شهرها در خصوص چگونگی مصرف صحیح آب
	پخش فیلم و پیام در صداوسیما و خبرهای مربوط به وضعیت منابع آب کشور، استان‌ها و شهرستان‌ها
	چاپ شعارهای مختلف صرفه‌جویی و مصرف بهینه آب بر روی قبوض مشترکین
	تبلیغات از طریق رسانه‌ها (تلویزیون و رادیو) و پخش کتابچه راهنما و بروشور در خصوص مصرف صحیح آب
	نصب تراکت‌هایی با مفهوم صرفه‌جویی آب در اماکن عمومی
	اعزام افراد یادآوری‌کننده به منازل در سطح شهر جهت یادآوری صرفه‌جویی در مصرف آب

جدول ۶- پیامدهای پژوهش

ابعاد پژوهش	مقوله	مفهوم (شاخص)
پیامدها	حفاظت	صرفه‌جویی در مصرف آب شرب در حفاظت از منابع آب کشور نقش دارد
	از ذخایر	کاهش و کنترل میزان آب مصرفی در حفظ ذخایر زیرزمینی آب نقش دارد
	منابع آبی	کاهش و کنترل میزان آب مصرفی در ذخیره‌سازی آب سدها موثر است
	کاهش	هزینه‌های کمتری را در احداث چاه‌های جدید پرداخت می‌کند
	هزینه‌های	هزینه‌های کمتری را در ایجاد و ساخت ابنیه و تأسیسات آب پرداخت می‌کند
	دولت	هزینه‌های کمتری در بخش تأمین نیروی انسانی پرداخت می‌کند
	کاهش	با صرفه‌جویی در مصرف آب، خانوارها بخش کمتری از درآمد خود را صرف پرداخت هزینه آب می‌کنند.
	هزینه‌های	خانوارها بخش بیشتری از درآمد خود را صرف پس‌انداز و سایر نیازهای اساسی خود تخصیص دهند.
	خانوارها	با صرفه‌جویی در مصرف آب، دسترسی عموم افراد جامعه را به آب شرب امکان‌پذیر می‌کند.
	برقراری عدالت	با کاهش و کنترل آب مصرفی، آب در سراسر شبکه توزیع به میزان مطلوب جریان خواهد داشت.
	اجتماعی	با صرفه‌جویی در مصرف آب از جیره بندی آب جلوگیری می‌گردد.
	ممانعت از کاهش رفاه جامعه	نتیجه حاصل از صرفه‌جویی باعث رفاه عموم جامعه در بخش تأمین آب شرب خواهد شد.
	ایجاد	صرفه‌جویی در مصرف آب از هدررفت امکانات و سرمایه‌های ملی جلوگیری می‌کند.
	بستر رشد و توسعه کشور	صرفه‌جویی منابع مالی و مادی دولت در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف آب، در سرمایه‌گذاری دولت در بخش‌های دیگر اقتصادی موثر است.
	جلوگیری از خروج ارز	صرفه‌جویی در مصرف آب، بر روی کاهش خرید تجهیزات فنی و تخصصی از خارج از کشور نقش دارد.
		دولت نیاز به خرید آب شرب از کشورهای همسایه نخواهد داشت.

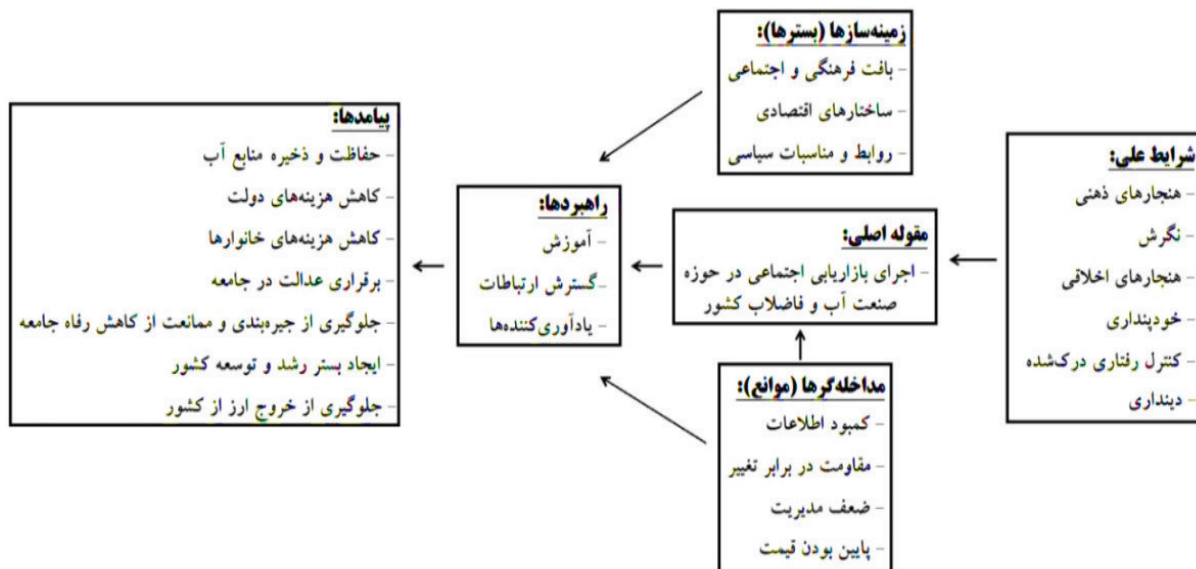
با توجه به بررسی تحقیقات انجام شده در داخل و خارج از کشور و نتایج حاصل از آنها، می‌توان بیان کرد، توجه به مسئله مدیریت مصرف آب امری مهم و حیاتی می‌باشد. استفاده از رویکرد بازاریابی اجتماعی در مدیریت مصرف، رویکردی مؤثر و نسبتاً کم‌هزینه خواهد بود (ملک‌محمدی و مظفری، ۱۳۹۷). به همین دلیل در این تحقیق به بحث مدیریت مصرف آب پرداخته شد و جنبه نوآوری تحقیق حاضر نسبت به تحقیقات قبلی در این پژوهش به ضرورت ارتباط صنعت و دانشگاه تأکید شده و تأثیر بازاریابی اجتماعی بر مدیریت مصرف آب تأیید شده است (اخروی و رعیت، ۱۳۹۸). اما در تحقیق حاضر پس از بررسی ادبیات موضوع و بهره‌جویی از رویکرد داده‌بنیاد و با نظر خبرگان اقدام به طراحی مدل بازاریابی اجتماعی در چارچوب مدل پارادایمی استراوسی شد و طی آن ابعاد و مؤلفه‌های بازاریابی اجتماعی شناسایی شد. همچنین در این تحقیق برای اولین بار، مدلی از بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب کشور ارائه شد.

در سایر تحقیقات به ضرورت اجرای بازاریابی اجتماعی در حوزه‌های مختلف اشاره شده است. به‌عنوان نمونه در یک تحقیق بیان شده تاکنون شرکت‌های آب و فاضلاب در سطح کشور برای کاهش مصرف آب راهکارهای مختلفی را با توجه به تجربیات خود انتخاب می‌کردند. با توجه به اینکه مطالعات خاصی در زمینه مدیریت مصرف آب صورت نمی‌گرفت و با وجود کاهش مصرف آب پس از اجرای آن طرح‌ها، هیچ‌گونه اطمینانی از بهینه بودن این طرح‌ها و صرفه اقتصادی آنها وجود نداشت (تابش و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین در تحقیق حاضر با مطالعه دقیق ابعاد و مؤلفه‌های بازاریابی اجتماعی و با هدف مدیریت بهینه مصرف و کاهش هر چه بیشتر مصرف آب و با در نظر گرفتن راهبردهای مؤثر می‌توان الگوی مناسبی را برای صرفه‌جویی در حوزه آب ارائه داد.

در بررسی، تجزیه و تحلیل مصاحبه‌های انجام شده مشخص

شد، جهت اجرای بازاریابی اجتماعی، موانع و محدودیت‌هایی از جمله اطلاعات نامناسب و ضعف آگاهی مصرف‌کنندگان، مقاومت در برابر تغییر الگوی مصرف، ضعف مدیریت و پایین بودن بهای آب شرب شناسایی شدند. همچنین جهت اجرای پروژه بازاریابی اجتماعی باید زمینه‌ها و بسترهای اقتصادی، فرهنگی، اجتماعی و روابط و مناسبات سیاسی مهیا باشد. همچنین نگرش مصرف‌کنندگان، خودپنداری و کنترل رفتاری ادراک‌شده مصرف‌کنندگان، اعتقادات دینی و مذهبی، هنجارهای ذهنی و اخلاقی به عنوان شرایط علی شناسایی شدند. آموزه‌های دین اسلام در خصوص اهمیت آب و صرفه‌جویی، استفاده از رسانه‌های جمعی در تغییر الگوی مصرف، همکاری و مشارکت همه حوزه‌های مرتبط اعم از سازمان‌های دولتی و خصوصی در راستای اجرای بازاریابی اجتماعی و آموزش همگانی و همچنین ارتباطات گسترده، راهکاری اساسی در جهت تغییر رفتار مصرفی آب خواهد بود. البته این تکنیک‌ها با هدف ایجاد نگرش و هنجاری مناسب رفتاری به کار گرفته می‌شود که به‌عنوان شرایط پیش‌نیاز دیگر فعالیت‌های مدیریت مصرف آب است. همچنین تلاش‌های حاصل از اجرای مدل بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب منتج به پیامدهایی از جمله؛ حفاظت از ذخایر منابع آبی کشور، کاهش هزینه‌های دولت و خانوارها، جلوگیری از جیره‌بندی و ممانعت از کاهش رفاه جامعه، جلوگیری از خروج ارز از کشور، ایجاد بستر رشد و توسعه کشور و در نهایت عدالت اجتماعی خواهد بود.

روابط بین مقوله‌های شکل گرفته در داده‌ها نشان داد، مدل شکل گرفته با شکل اصلی مدل پارادایمی (مدل الگویی یا سرمشق) (Strauss و Corbin، ۱۹۹۰) تطابق دارد، به‌طوری‌که پدیده‌محوری متأثر از شرایط علی بوده و بر راهبردها تأثیرگذار است. راهبردها تحت تأثیر شرایط زمینه‌ای و مداخله‌گر، پیامدهای مرتبط با پدیده مورد بررسی را شکل می‌دهند. مدل ترسیمی^{۱۳} ارائه شده برای بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب به‌صورت شکل (۳) است.



شکل ۳- مدل ترسیمی بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب کشور

قدردانی

این مقاله منتج از رساله دکتری با عنوان "طراحی مدل بازاریابی اجتماعی در حوزه صنعت آب و فاضلاب کشور" است که در مرحله پیش‌دفاع قرار گرفته است. نویسندگان مقاله در مراحل کیفی (داده بنیاد) از کلیه مصاحبه‌شوندگان اعم از اساتید محترم دانشگاهی و متخصصین و پژوهشگران محترم حوزه صنعت آب و فاضلاب که در اجرای پژوهش همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی به‌عمل آورند.

پی‌نوشت

- 1- Open Coding
- 2- Segmentation
- 3- Axial Coding
- 4- Casual condition
- 5- Contextual Condition
- 6- Intervening Condition
- 7- Consequences
- 8- Selective Coding
- 9- Systematic
- 10- Purposeful Sampling
- 11- Theoretical Sampling
- 12- Michael Patton
- 13- Visual Model

منابع

- احمدی، س. و زارعی، ق. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر دینداری بر گرایش صرفه‌جویی در مصرف آب. فصلنامه توسعه اجتماعی، ۱۱(۳): ۲۱۰-۱۹۵.
- اخروی، ا. و رعیت، م. ۱۳۹۸. شناسایی عوامل موثر بر جلب مشارکت مردم در مصرف بهینه آب با رویکرد بازاریابی اجتماعی و انتخاب بهترین سناریو». مدیریت سرمایه اجتماعی، ۶(۳): ۳۹۵-۴۱۹.
- اسراری، ا. و خراباتی، س. ۱۳۹۳. بررسی عوامل مؤثر بر کاهش مصرف آب خانگی در شهر سمنان. دومین همایش ملی بیابان با رویکرد مدیریت مناطق خشک و کویری. دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان، مرکز بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران، سمنان.
- انصاری، ح. ۱۳۹۶. فضای موهوم مدیریت آب. نشریه آب و توسعه پایدار، ۴(۲): ۱۷۷.
- باقری، ع. ۱۳۹۴. نیم‌نگاهی به بستر شکل‌گیری رخدادهای آبی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۱(۳): الف-ب.
- بشیریان، س.، حاجی‌زاده، ا.، حیدرنیا، ع. واله‌وردی‌پور، ح. ۱۳۹۱. کاربرد تئوری رفتار برنامه‌ریزی شده در پیش‌بینی فاکتورهای مؤثر بر سوء مصرف مواد در نوجوانان. مجله دانشگاه علوم پزشکی فسا، ۲(۳): ۱۶۲-۱۵۶.
- تابش، م.، علی‌بریانی، ا.، متولیان، س.س.، روزبهرانی، ع. و بیگی، س. ۱۳۹۶. رتبه‌بندی راهبردهای مدیریت مصرف آب در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از روش تصمیم‌گیری

چند شاخصه تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP). نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۴۹(۱): ۴۷-۵۵.

تیموری آغچه، م. ۱۳۹۲. تحلیل تأثیر آمیخته بازاریابی اجتماعی بر قصد جایگزینی وسایط نقلیه عمومی شهری به جای خودروهای تک‌سرنشین در راستای کاهش آلودگی هوا با استفاده از مدل TPB مورد مطالعه: کارکنان دانشگاه‌های دولتی شهر اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور-دانشگاه پیام نور استان تهران.

حاتمی‌نژاد، ح.؛ پوراحمد، ا.، قالیباف، م.، رهنمایی، م. و حسینی، س.ع. ۱۳۹۳. توسعه ابعاد شهرنشینی با رویکرد مکتب بازاریابی اجتماعی. فصلنامه اقتصاد و مدیریت شهری، ۸(۲): ۷۹-۹۶.

حسن‌زاده، ر.، حسینی، س.ح. و مرادی، ذ. ۱۳۸۴. بررسی رابطه بین خودپنداری کلی دانش‌آموزان و عملکرد تحصیلی آنها. فصلنامه دانش و پژوهش در روان‌شناسی، ۷(۲۴): ۱۸-۱.

خزاعی، م. ۱۳۸۸. واکاوی اندیشه اصلاح الگوی مصرف. روزنامه رسالت، ۱۹(۶۷۹۵): ۱۹.

دانایی‌فرد، ح. و امامی، س.م. ۱۳۸۶. استراتژی‌های پژوهش کیفی: تأملی بر نظریه‌پردازی داده‌بنیاد. فصلنامه اندیشه مدیریت راهبردی، ۱(۲): ۶۹-۹۷.

زمانی، غ.، منتی‌زاده، م. و غلامرضایی، س. ۱۳۹۴. واکاوی هنجارهای اخلاقی زیست‌محیطی کشاورزان: مورد مطالعه کشاورزان شهرستان شیرا. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱۱(۲): ۴۹-۶۵.

ساغروانی، س.، مرتضوی، س.، لگزیان، م. و رحیم‌نیا، ف. ۱۳۹۳. تحمیل نظریه به داده‌ها و یا ظهور نظریه از داده‌ها: نظریه‌پردازی در علوم انسانی و اجتماعی، با روش‌شناسی نظریه داده بنیاد. پژوهشنامه مبانی تعلیم و تربیت، ۴(۱): ۱۵۱-۱۷۰.

سرلک، م.، گلپایگانی، ز.ا. و یمانی، م. ۱۳۹۳. بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش دولت الکترونیک از سوی مراجعه‌کنندگان به دادگستری استان تهران بر اساس مدل DTPB (مطالعه موردی: نظام مدیریت پرونده قضایی مجتمع قضایی شهید بهشتی). مجله فرآیند مدیریت توسعه، ۲۷(۱): ۲۷-۵۴.

شیخ، م.، کرامت‌زاده، ع. و شیرانی بیدآبادی، ف. ۱۳۹۳. عوامل مؤثر بر الگوی مصرف آب شهری. کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و گردشگری. دبیرخانه دائمی کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها. تبریز، ایران.

طالع‌زاده، ج.، نظری، س. و پناهی کردلاغری، خ. ۱۳۹۳. تأثیر عوامل فرهنگی و نرخ‌گذاری پلکانی بر الگوی مصرف آب در شهر سی‌سخت. دومین همایش ملی بحران آب (تغییر

اقلیم، آب و محیط‌زیست). دانشگاه شهرکرد، شهرکرد.

عزیزی، ش. و احمدی، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی تمایل رفتاری اهدای خون بانوان با دو الگوی کنش معقول و رفتار برنامه‌ریزی شده و مقایسه آنها. فصلنامه پژوهشی خون، ۱۱(۳): ۶۳۳-۶۴۲.

فدایی، ق. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر آمیخته بازاریابی اجتماعی در کاهش مصرف آب در بخش خانگی با استفاده از مدل تئوری رفتار برنامه‌ریزی‌شده (مورد مطالعه: شهر شهرکرد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

کاتر، فیلیپ و همکاران ۱۳۹۲. بازاریابی اجتماعی برای حفاظت از محیط‌زیست». مترجمان: دکتر کامبیز حیدرزاده و حسینعلی سلطانی. انتشارات سیت. نوبت اول. تهران، ایران.

کفاش‌پور، آ. ۱۳۹۱. کاربرد فلسفه بازاریابی اجتماعی در تمایل به اهدای داوطلبانه خون با استفاده از تئوری رفتار برنامه‌ریزی شده. فصلنامه خون، دوره ۹(۱): ۴۴-۵۳.

محمدپور، ا. ۱۳۹۰. ضد روش، جلد اول، انتشارات جامعه‌شناسی. تهران.

مرادی، ر.، خزایی، ث.، کریمی، ر. و ولایتی، ا. ۱۳۹۴. تأثیر چندرسانه‌ای آموزشی مبتنی بر الگوی طراحی آموزشی گانیه بر یادگیری و یادداری دانش‌آموزان کم‌توان ذهنی. مجله فناوری آموزش و یادگیری، ۵(۴): ۴۷-۶۶.

ملک‌محمدی، م. و مظفری، م.م. ۱۳۹۷. کاربرد بازاریابی اجتماعی در مدیریت بهینه مصرف آب. مطالعات میان‌رشته‌ای در علوم انسانی، ۱۰(۴): ۱۹۷-۲۱۸.

Almeida A.J., Ribeiro A.P., Martins R.D., Ferreira M.R. and Proenca J. F. 2019. How to encourage the consumption of top water: A case study on Aguas do Porto case studies on social marketing. Springer, 123-132.

Charmaz C. 1990. Discovering Chronic Illness: Using Grounded Theory. Social Science and Medicine, 30(11): 1161-1172.

Creswell J. 2005. Educational research: Planning, conducting and evaluating quantitative and qualitative research. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press. UK.

Creswell J.W. 2007. Qualitative inquiry and research design, choosing among five approaches. 2nd Edition. California: Sage Publication. USA.

Creswell J.W. 2012. Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and quali-

- Community Based Social Marketing in University Residence Halls.
- Lee J. 2001. A grounded Theory: Integration and Internalization in ERP adoption and use, Unpublished Doctoral Dissertation, University of Nebraska, In Proquest UMI Database.
- Lowe B., Lynch D. and Lowe J. 2015.Reducing household water consumption: a social marketing approach. *Journal of marketing management*, 31(3-4): 378-408.
- Sharma P. Kaur L. Mittal R. Kaur S. and Kaur S. 2018. Social marketing approach to bring change in water use behavior of rural people of Panjab, India. *Journal of water and Climate Change*. In press. *Journal of Water and Climate Change*, 10(4): 968-976.
- Strauss A.L. and Corbin J. 1990. *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*. Sage Publications. USA.
- Strauss A.L. and Corbin J. 1998. *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. 2nd Ed. Sage. Sanjose State University. USA.
- tative research. 4th Edition. Boston: Pearson Publication. USA.
- Dann S. 2010. Redefining social marketing with contemporary commercial marketing definitions. *Journal of Business Research*, 63(2): 147-153.
- Fishbein M. and Ajzen.I. 1975. *Belief, attitude, intention and behavior: An introduction to theory and research* Addison-wesley. Publishing company. USA.
- Ghebreorgis F. and Mehreteab H.T. 2019. The influence of social, Marketing and Personal Factors on Bottled Water Drinking Behaviour in Eritrea. *Sumerianz Journal of Business Management and Marketing*, 2(1): 1-5.
- Glaser Barney G. 1992. *Emergence vs. Forcing: Basics of Grounded Theory Analysis*. Sociology Press.
- Johnson B. and Christensen L. 2008. *Educational research: Quantitative, qualitative and mixed approaches*. 3rd Edition.: Sage Publication. Los Angeles. USA.
- Kantler S. Gulick M. Hoffman B. Bittmann M. and fisher A. 2018. Reducing Hot Water Consumption: Testing the Effectiveness of Citizen Science and

Article Type: Technical paper/Case Study

نوع مقاله: فنی و ترویجی/ مطالعه موردی

Investigating the Pattern of Water Consumption in Public Places (Case Study: Sistan and Baluchestan University)

F. Narooei Marand^{1*}, S. Safari², M. Givehchi³

1,2,3- MSc Student, Ph.D Student of water and hydraulic structures and Assistant Professor, Sistan and Baluchestan University, Iran.

*(Corresponding Author Email: farahnaz.narooei@gmail.com)

Received: 26-07-2020

Accepted: 07-11-2020

بررسی الگوی مصرف آب در مکان عمومی (مطالعه موردی: دانشگاه سیستان و بلوچستان)

فرحناز نارویی مرند^{۱*}، سکینه صفری^۲، محمد گیوه چی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشجوی دکتری آب و سازه های هیدرولیکی و استادیار، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران.

*(نویسنده ی مسئول، E-Mail: farahnaz.narooei@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۵/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۱۷

Abstract

Sistan and Baluchestan province is one of the water-scarce regions of Iran with hot, dry climate and very little rainfall, and water shortage is one of the most common problems in this province. Sistan and Baluchestan University is one of the water consumers in the region, which spends a lot of money annually to water consumption. In this regard, a study was conducted to investigate water supply facilities and water consumption in the dormitories of Sistan and Baluchestan University. As an example, dormitory No. 5 was selected from the Efaf and Hejab Dormitory Complex of Sistan and Baluchestan University and field studies and objective observations were performed. The results of the observations indicate problems such as broken and old valves and their connections, old heads, improper siphons, improper use of water by people living in dormitories and improper irrigation of green space. The above are important factors in wasting a large volume of water. In this study, replacing dormitory valves with lever valves was suggested as the main solution. In order to investigate the effect of the proposed solution, the dormitory water supply network with two types of normal and lever valves was simulated with WaterGEMS software. The simulation results showed that the use of lever valves reduces water consumption by about 23% and can have a significant impact on reducing water consumption and water costs. Therefore, it can be concluded that replacing lever valves, while being practical and economical will significantly reduce water consumption.

Keywords: Water Consumption Pattern, WaterGEMS, Sistan and Baluchestan University Dormitory, Lever Valves.

چکیده

استان سیستان و بلوچستان یکی از مناطق کم آب ایران با آب و هوای گرم و خشک و بارندگی بسیار کم می باشد و کم آبی یکی از شایع ترین مشکلات این استان است. دانشگاه سیستان و بلوچستان یکی از مصرف کنندگان آب منطقه می باشد، که سالانه مبلغ زیادی جهت مصرف آب هزینه می کند. در این راستا، مطالعه ای برای بررسی تأسیسات آبرسانی و مصرف آب در خوابگاه های دانشگاه سیستان و بلوچستان انجام شد. به عنوان نمونه خوابگاه شماره ۵ از مجتمع خوابگاهی عفاف و حجاب دانشگاه سیستان و بلوچستان، انتخاب شد و بررسی ها به صورت میدانی و مشاهدات عینی انجام شد. نتایج مشاهدات بیانگر مشکلاتی از جمله، خراب و قدیمی بودن شیرآلات و اتصالات آن ها، قدیمی بودن سردوش ها، نامناسب بودن سیفون ها، استفاده نادرست از آب توسط افراد ساکن در خوابگاه ها و آبیاری نادرست فضای سبز می باشد، موارد ذکر شده از عوامل مهم هدررفت حجم بالایی از آب می باشد. در این پژوهش تعویض شیرآلات خوابگاه با شیرآلات اهرمی به عنوان راهکار اصلی پیشنهاد شد. به منظور بررسی تأثیر راهکار پیشنهادی، شبکه آبرسانی خوابگاه با دو نوع شیر معمولی و اهرمی با نرم افزار WaterGEMS شبیه سازی شد. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد، استفاده از شیرآلات اهرمی به طور متوسط حدود ۲۳ درصد کاهش مصرف آب را در پی دارد و می تواند تأثیر به سزایی در کاهش مصرف آب و هزینه آب بها داشته باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت، جایگزینی شیرآلات اهرمی در عین عملی و اقتصادی بودن، مقدار قابل توجهی مصرف آب را کاهش خواهد داد.

واژه های کلیدی: الگوی مصرف آب، WaterGEMS، خوابگاه دانشگاه سیستان و بلوچستان، شیرآلات اهرمی.

(مطالعه موردی: مناطق روستایی شهرستان بوشهر) را ارزیابی کردند. روش انجام این پژوهش به صورت توصیفی-تحلیلی بود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، مهمترین عوامل جداسازی آب شرب و بهداشتی، تبلیغات و اطلاع رسانی، آموزش و تکنولوژی می باشد. ریاحی سامانی (۱۳۹۵) تاثیر روش های نوین کاهش مصرف بر مصرف خانگی را ارزیابی کرد. یکی از این روش های نوین، استفاده از دوش های کم مصرف می باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، دوش های مذکور مصرف آب بین ۲۰ تا ۹۰ درصد کاهش می دهند.

Lepinski Golin و همکاران (۲۰۱۹) به تجزیه و تحلیل مصرف آب توالت های ساختمان یک دانشگاه را به کمک نمودارهای کنترل ترکیبی EWMA، SHEWHART، SHEWHART- EWMA ارزیابی کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، با تعویض فلاش تانک های معمولی با فلاش تانک های کم مصرف حدود ۲۱/۷۲ درصد کاهش را در پی داشته است. Englart و همکاران (۲۰۱۹) استفاده مختلف از آب با استفاده از شیبور خاموشی و میکسر ها در مصرف آب در ساختمان ها را ارزیابی کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد، آب مصرفی حدود ۵۰ درصد کاهش مصرف داشته است.

باتوجه به خشکسالی های پی در پی و افت منابع آبی در استان سیستان و بلوچستان، مشکل کم آبی در این استان به یک بحران تبدیل شده و این بحران نیاز به مدیریت علمی پیدا کرده است. بنابراین باید جهت بهینه شدن و کاهش مصرف آب تمهیداتی اندیشیده شود. در این تحقیق با جمع آوری اطلاعات و بررسی راهکارها تلاش می شود، روش های عملی برای مدیریت مصرف آب در خوابگاه های دانشگاه سیستان و بلوچستان ارائه شود.

مواد و روش ها

این تحقیق با هدف بررسی مصرف آب در خوابگاه های دانشگاه سیستان و بلوچستان انجام شد. این بررسی ها به صورت میدانی و مشاهدات عینی توسط محقق انجام شد. برای انجام این بررسی ابتدا باتوجه به مشاهدات و بررسی های محقق یک خوابگاه از بین تمام خوابگاه های دانشگاه به عنوان خوابگاه نمونه برای این هدف انتخاب شد. سپس سرویس های بهداشتی، سینک ظرفشویی آشپزخانه و تمامی تجهیزات آن ها اعم از نوع شیرآلات سرویس های بهداشتی، نوع شیرآلات سینک ظرفشویی آشپزخانه و اتصالات آن ها (به عبارتی درگیر تمام بخش های مرتبط با آب) بررسی شد. در نهایت تأثیر استفاده از شیرآلات اهرمی با استفاده از نرم افزار water gems پرداخته شد. در ادامه نرم افزار معرفی و به مراحل شبیه سازی آن پرداخته شد. و همچنین در این تحقیق به بررسی اقتصادی جایگزین کردن شیرآلات خوابگاه با شیرآلات اهرمی اشاره شد.

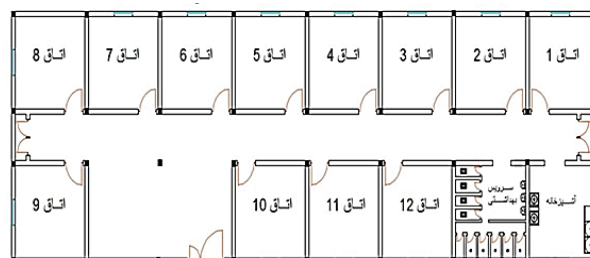
آب همواره یک ضرورت انکارناپذیر برای توسعه اجتماعی، اقتصادی و بقای اکو سامانه های حیاتی در سطح کره زمین بوده است. امروزه رشد جمعیت و توسعه اقتصادی سبب افزایش مصرف آب شده است، که پیامدهای آن مشکلات بی شماری از قبیل افزایش تقاضا، کاهش عرضه، خشکسالی، سیل، آلودگی منابع آب و غیره را برای انسان به وجود آورده است و هر روز بر بحران کمبود آب بیشتر دامن می زند. همچنین بهره برداری بهینه و مدیریت صحیح منابع امری حیاتی است که امروزه بر اثر نبود آب کافی در تمامی نقاط به خصوص در نواحی خشک و کم بارش از جمله استان سیستان و بلوچستان اهمیت ویژه ای دارد. مصرف بهینه یا صرفه جویی امری ضروری است و باید همگان به آن عمل کنند. این امر به شیوه های مختلفی انجام می گیرد تا از هدررفت آب جلوگیری شود. سالیانه مبلغ زیادی جهت مصرف آب در دانشگاه سیستان و بلوچستان هزینه می شود، بخش مهمی از آب شرب استفاده شده مربوط به مجتمع های خوابگاهی می شود. باتوجه به اهمیت موضوع، تحقیقی با هدف بررسی چگونگی مصرف آب در خوابگاه و ارائه راهکار جهت صرفه جویی در آب انجام شد. در این تحقیق به عنوان یک جامعه نمونه متمرکز و قابل دسترس خوابگاه های دخترانه دانشگاه سیستان و بلوچستان جهت جمع آوری اطلاعات و ارائه راهکار برای بهینه سازی مصرف آب مطالعه شد.

شریف واقفی و همکاران (۱۳۸۵) به مدیریت مصرف آب و نقش آن در مدیریت انرژی پرداختند. آنها در این تحقیق راهکارهای مدیریت مصرف را اعمال کردند. نتایج این تحقیق کاهش ۱۹ درصدی مصرف آب را نشان داد. ملکی نسب و همکاران (۱۳۸۶- الف) صرفه جویی مصرف آب خانگی به واسطه استفاده از قطعات کاهنده مصرف در سطح شهر کاشان را ارزیابی کردند. براساس نتایج به دست آمده، نصب این قطعات حدود ۲۲ درصد مصرف آب را کاهش می دهد. ملکی نسب و همکاران (۱۳۸۶- ب) کاهش مصرف آب خانگی به واسطه نصب تجهیزات و شیرآلات کم مصرف (اهرمی) را در سطح شهر شاندیز ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، نصب شیرآلات و تجهیزات کم مصرف به طور متوسط باعث کاهش ۲۶ درصدی مصرف آب می شود. خواجهی (۱۳۹۲) روش های بهینه سازی مصرف آب در ساختمان های مسکونی را بررسی کرد و راهکارهایی جهت صرفه جویی و استفاده بهینه از این عنصر حیاتی را ارائه داد.

طالع زاده (۱۳۹۳) صرفه جویی مصرف آب خانگی به واسطه نصب تجهیزات کاهنده آب در شهر سی سخت را ارزیابی کرد. نتایج نشان داد، نصب این تجهیزات کاهش ۱۴/۴ درصدی در پی داشته است. جمالی و زمانی (۱۳۹۴) عوامل موثر بر الگوی مصرف آب و بهینه سازی آن در بخش خانگی مناطق روستایی

- معرفی خوابگاه نمونه:

در این پژوهش بین خوابگاه‌های دانشگاه سیستان و بلوچستان، خوابگاه ۵ از مجتمع خوابگاهی عفاف و حجاب به عنوان گزینه مورد مطالعه انتخاب شد. این خوابگاه، شامل سه طبقه، ۳۰ اتاق و ۱۲۹ نفر جمعیت و هر طبقه شامل یک سرویس بهداشتی (دارای ۴ توالت، ۴ روشویی و ۵ حمام) و یک آشپزخانه با دو سینک ظرفشویی می‌باشد. شکل (۱) نمایی از پلان داخلی خوابگاه مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه داخلی ساختمان خوابگاه مورد نظر

- ارزش، اهمیت و تحلیل اقتصادی:

در ادامه به بررسی اقتصادی نتایج حاصل از تحقیق پرداخته شد. ارزش و اهمیت آب می‌تواند قیمت تمام شده یک لیتر آب باشد. که با توجه به ضوابط تعیین می‌شود. تعیین این هزینه برای یک دوره با توجه به هزینه تأمین، تصفیه، انتقال، ذخیره و نگهداری و توزیع آن انجام می‌شود و قیمت تمام شده آب محاسبه می‌شود. ارزش و اهمیت اقتصادی آب شامل ارزش ذاتی آن در هر منطقه متناسب با شرایط طبیعی و اقلیمی دسترسی به آب می‌باشد (تابش و بیگی ۱۳۹۵). در این بخش به محاسبه هزینه آب بها (جدول ۱) برای خوابگاه پرداخته شد.

جدول ۱- محاسبات تحلیل اقتصادی (تمام اعداد به تومان هستند).

هزینه هر لیتر آب برای مشترکین ساکن در خوابگاه	۷۴۷۰
میزان مصرف برای هر نفر ساکن در خوابگاه	۳۳۴ لیتر بر ثانیه
برای یک ساعت مصرفی	$۳۳۴ \times ۱۲۹ \times ۷۴۷۰ \times ۱/۱ = ۳۵۴۰۳۷۶۶۲$

- آشنایی با نرم افزار water gems

در این تحقیق از نرم افزار water gems استفاده شد، این نرم افزار جهت طراحی و احداث شبکه‌های آبرسانی استفاده می‌شود و از قابلیت‌های این نرم افزار می‌توان به تحلیل کیفیت آب، تحلیل شرایط بحرانی، زمان بندی و همچنین محاسبه، گزارش هزینه‌های اجرایی و کاهش مصرف اشاره کرد (امیری، ۱۳۹۵).

برای شبیه سازی با نرم افزار ذکر شده، ابتدا پلان ساختمانی را در اتوکد رسم کرده و سپس به نرم افزار انتقال داده می‌شود. بعد از

رسم پلان تمامی گره‌ها (هر گره یک شیر تعریف می‌شود) و لوله‌ها، محل مخزن مشخص و اطلاعات هر گره و لوله وارد می‌شود.

نتایج و بحث

بررسی‌های انجام شده بیانگر وجود مشکلاتی در تأسیسات خوابگاهی و الگوی مصرف می‌باشد، که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

الف- چکه کردن شیرآلات، اتصالات آن‌ها و سردوش‌ها

چکه کردن شیر آب یکی از مهمترین مشکل ناشی از خرابی شیرآلات است. این مسئله به دلایلی مختلفی از جمله زنگ زدگی، خوردگی و یا جمع شدن مواد معدنی در بدنه شیر، رخ می‌دهد. در این مجموعه خوابگاهی مشکل چکه کردن شیرآلات به وضوح مشاهده می‌شود، در شکل (۲) نمونه‌ای از این مشکل نشان داده شد. برای بررسی علمی این مشکل، در یک آزمایش ساده اندازه گیری حجم آب حاصل از چکه شیرآلات در زمان مشخص صورت پذیرفت. نتیجه این بررسی نشان داد حجم آب هدر رفته در تأسیسات به طور میانگین ۵۲ لیتر بر دقیقه می‌باشد.



شکل ۲- تصاویری از خرابی شیرآلات و اتصالات سرویس بهداشتی خوابگاه

ب- نبود شیرآلات مناسب

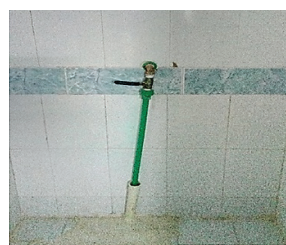
شیرآلات برای مهار کردن جریان و فشار سیالات به کار می‌روند. در این مجموعه خوابگاهی با توجه به قدیمی و خراب بودن این شیرآلات مشاهده شد، عملکرد درستی ندارند، شکل (۳) نمایانگر این مشکل است.



شکل ۳- تصاویری از خرابی شیرآلات و اتصالات سرویس بهداشتی خوابگاه

ج- نبود سیفون مناسب

سیفون‌ها هم به نوبه خود می‌توانند در هدر رفت آب نقش داشته باشند. سیفون‌های پر حجم و معیوب در توالت‌ها می‌توانند روزانه ۴۰ تا ۱۰۰ لیتر آب را هدر دهند و همچنین سیفون‌های معمولی ۱۳ تا ۲۰ لیتر در هر بار استفاده آب را هدر می‌دهند (کیارفرد و همکاران ۱۳۹۹). سیفون‌های موجود در این مجموعه خوابگاهی عملکرد نامناسبی دارند و به‌طوری‌که مقداری نشتی به داخل فاضلاب وارد می‌شود. این سیفون‌ها جز سیفون‌های پر حجم قرار می‌گیرند، شکل (۴) نمونه‌ای از شیر مستقیم که در این خوابگاه به‌عنوان سیفون استفاده شده، نشان داده می‌شود.



شکل ۴- تصویری از نامناسب بودن سیفون‌ها در خوابگاه

د- شیوه آبیاری نامناسب

در این مجموعه خوابگاهی، از آب آشامیدنی برای آبیاری فضای سبز استفاده می‌شود و همچنین آبیاری به روش سنتی انجام می‌گیرد، که میزان بالایی از مصرف آب را به خود اختصاص می‌دهد.

ه- ارائه راهکار:

هدف از این پژوهش، ارائه راهکار بهینه برای کاهش مصرف آب در خوابگاه دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد و باتوجه به اینکه امکان اعمال راهکارهای زیر بنایی و تاسیساتی در این خوابگاه وجود ندارد، باید راهکار عملی و کم‌هزینه انتخاب شود. با این هدف استفاده از شیرآلات اهرمی به‌عنوان راهکار اصلی پیشنهاد شد. دلیل این انتخاب هزینه مناسب و اجرای راحت آن است. در ادامه تفاوت میزان مصرف در شیرآلات خوابگاه (شیرآلات معمولی) و شیرآلات اهرمی (شیرآلات جدید) بررسی می‌شود.

نتایج

باتوجه به اینکه تولیدکنندگان ادعا می‌کنند شیرآلات اهرمی باعث کاهش مصرف آب می‌شود، شیرآلات معمولی و شیرآلات اهرمی با نرم‌افزار شبیه‌سازی شد. در این بخش نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌شود.

بعد از انجام مراحل شبیه‌سازی یک گره از هر طبقه که در مجموع سه گره (j-9, j-72, j-37) و یک لوله از هر طبقه که در

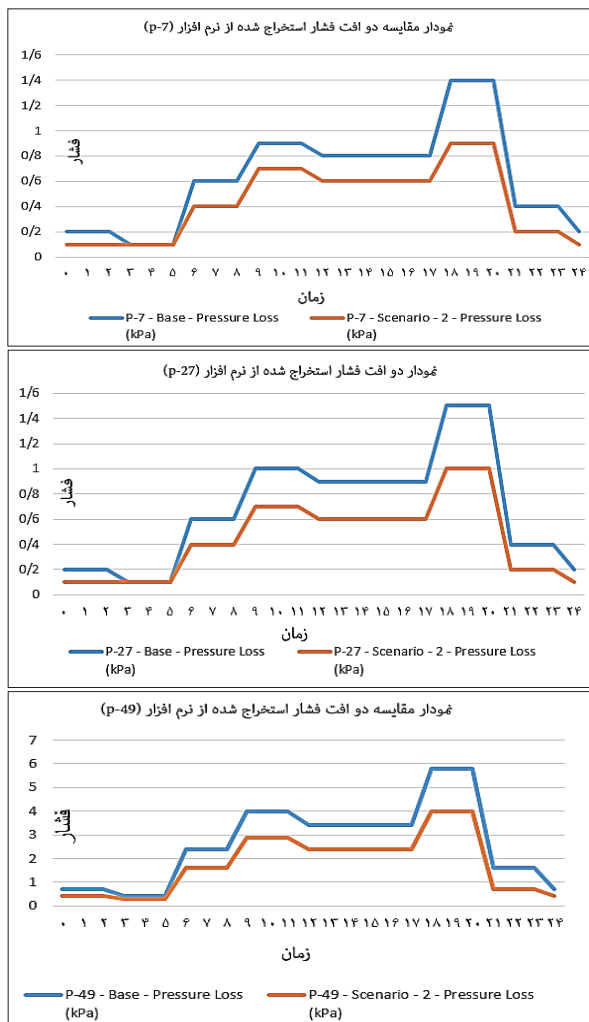
مجموع سه لوله (p-7, p-27, p-49) در نظر گرفته شد، نتایج به‌صورت نمودار استخراج شد.

در شکل ۵، تصویر نمودارهای مقایسه دو دبی جدید استخراج شده در سه گره j-9, j-37, j-72، که نمودار آبی بیانگر دبی شیرآلات معمولی و نمودار نارنجی بیانگر دبی شیرآلات اهرمی می‌باشد، نشان داده شد. این شکل بیان می‌کند، در هر بازه زمانی اختلاف دبی وجود دارد. به خصوص در پرمصرف‌ترین بازه زمانی (ساعت ۱۷ تا ۲۰) این اختلاف و کاهش بیشتر مشاهده می‌شود و این اختلاف و کاهش در هر طبقه حدود ۲۳ درصد می‌باشد.



شکل ۵- نمودارهای مقایسه دو دبی جدید استخراج شده از نرم‌افزار در سه گره مختلف

در ادامه افت فشار دو شیر معمولی و اهرمی مقایسه شد. در شکل (۶) تصویر نمودارهای مقایسه دو افت فشار استخراج شده از نرم‌افزار در سه لوله p-7, p-27, p-49، مشاهده می‌شود، در هر لوله در هر بازه زمانی تا حدود ۵ درصد افت فشار وجود دارد. به خصوص در بازه پرمصرف (ساعت ۱۷ الی ۲۰) این مسئله



شکل ۶- مقایسه نمودارهای دو افت فشار استخراج شده از نرم افزار در سه لوله مختلف

بیشتر مشاهده می شود. همچنین استفاده از شیرآلات اهرمی باعث کاهش افت فشار در شبکه آبرسانی می شود. لازم به ذکر است، کاهش افت از پدیده ضربه قوچ در شبکه آبرسانی جلوگیری می نماید. نتایج شبیه سازی های انجام شده نشان داد استفاده از شیرآلات اهرمی در خوابگاه مورد نظر به طور متوسط حدود ۲۳ درصد مصرف آب را کاهش می دهد. در جدول (۲) خلاصه نتایج شبیه سازی استفاده از شیرآلات اهرمی با نرم افزار water gems ارائه شده است.

جدول ۲- خلاصه نتایج به دست آمده از شبیه سازی

ردیف	تعداد طبقات	مقدار درصد کاهش مصرف	مقدار درصد کاهش مصرف
		دبی در هر طبقه	هر طبقه
۱	طبقه اول	۲۳	۵
۲	طبقه دوم	۲۲/۵۰	۴/۵
۳	طبقه سوم	۲۲/۳۰	۴
۴	میانگین	۲۲/۶۰=۲۳	۴/۵=۵

باتوجه به محاسبات انجام شده در بخش قبل سرانه مصرف برای هر نفر، ۳۳۴ لیتر بر ثانیه می باشد، هزینه آب بها با استفاده از شیرآلات معمولی در یک ساعت حدود ۳۵۴۰۳۷۶۶۲ تومان می باشد، اما در صورت استفاده از شیرآلات اهرمی با کاهش ۲۳ درصد، این هزینه به ۲۷۲۶۰۸۹۹۹ تومان، کاهش پیدا می کند. در جدول (۳) خلاصه ای از مقایسه این تحقیق با تحقیقات گذشته ارائه شده است.

جدول ۳- جدول مقایسه نتایج

ردیف	نویسنده (گان)	سال	هدف	روش	نتیجه
۱	شریف واقفی و همکاران	۱۳۸۵	مدیریت مصرف آب و نقش آن در کاهش مصرف آب و فاضلاب	اعمال راهکارهای مدیریت مصرف مانند نصب شیرآلات و ادوات کاهنده	کاهش ۱۹ درصد
۲	ملکی نسب و همکاران	۱۳۸۶، الف	ارزیابی صرفه جویی در مصرف آب خانگی به واسطه استفاده از قطعاعات کاهنده (شهرستان کاشان)	نصب تجهیزات بهداشتی و قطعاعات کاهنده مصرف	کاهش ۲۲ درصد
۳	ملکی نسب و همکاران	۱۳۸۶، ب	بررسی کاهش مصرف آب خانگی به واسطه نصب تجهیزات و شیرآلات کم مصرف	نصب شیرآلات اهرمی و تجهیزات کم مصرف	کاهش ۲۶ درصد
۴	طالع زاده و همکاران	۱۳۹۳	ارزیابی صرفه جویی آب خانگی به واسطه نصب تجهیزات کاهنده مصرف آب در شهر سی سخت	نصب شیرآلات و قطعاعات کاهنده مصرف	کاهش ۱۴/۴ درصد
۵	نارویی مرند و همکاران	۱۳۹۸	بهینه سازی مصرف آب در خوابگاه های دختران دانشگاه سیستان و بلوچستان	شبیه سازی استفاده از شیرآلات اهرمی در نرم افزار water gems	کاهش ۲۳ درصد

باتوجه به کمبود آب در بیشتر نقاط ایران، توجه به آب و استفاده بهینه از آن، حائز اهمیت است. در این پژوهش الگوی مصرف و تأسیسات آبرسانی در مجموعه خوابگاهی دانشگاه سیستان و بلوچستان به عنوان نمونه‌ای از یک مکان عمومی بررسی شد. بررسی‌ها نشان داد، مشکلاتی از قبیل قدیمی و خراب بودن شیرآلات و اتصالات آن‌ها در سرویس‌های بهداشتی، قدیمی بودن سردوش‌ها، نامناسب بودن سیفون‌ها، الگوی مصرفی نادرست توسط افراد ساکن در خوابگاه‌ها و همچنین آبیاری نادرست فضای سبز در این مجموعه وجود دارد. این مسائل بیانگر هدررفت حجم زیادی از آب است. برای کاهش هدررفت آب، تعویض شیرآلات با شیرآلات اهرمی به عنوان راهکار اصلی این تحقیق، بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی شیرآلات اهرمی در نرم‌افزار watergems نشان داد، استفاده از شیرآلات اهرمی به عنوان یکی از راهکارهای کاهش مصرف آب، به تنهایی باعث کاهش ۲۳ درصدی مصرف آب می‌شود. در نهایت استفاده از شیرآلات اهرمی باعث کاهش مصرف آب در خوابگاه نمونه و کاهش آب بهای کل دانشگاه در درازمدت خواهد شد. استفاده برخی از راهکارهایی مانند تعویض تمامی شیرآلات با شیرآلات اهرمی، تعویض سردوش‌های قدیمی با سردوش‌های جدید و کم‌مصرف، استفاده از کاهنده‌های جریان در سردوش‌ها و شیرآلات، تعویض سیفون‌های قدیمی و خراب با سیفون‌های جدید و کم مصرف و استفاده از شیوه‌های صحیح آبیاری در کنار راهکار اصلی پیشنهاد شد.

منابع

- امیری، م. ۱۳۹۵. طراحی و بهره برداری شبکه آب با water gems. انتشارات کیان. نوبت اول. تهران، ایران.
- تابش، م. و بیگی، س. ۱۳۹۵. بررسی نقش قیمت آب در توجیه اقتصادی طرح‌های کاهش آب بدون درآمد. مجله آب و فاضلاب، ۱: ۱۱۳-۱۲۵.
- جمالی، غ. و زمانی، س. ۱۳۹۴. عوامل موثر بر الگوی مصرف آب و بهینه‌سازی آن در بخش خانگی مناطق روستایی (مطالعه موردی: مناطق روستایی شهرستان بوشهر). نشریه آب و توسعه پایدار، ۲(۱): ۸۱-۸۶.
- خواجوی، م. ۱۳۹۲. بررسی روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب در ساختمان‌های مسکونی. دومین همایش ملی انرژی‌های نو و

پاک، دانشکده شهید مفتاح همدان. همدان، ایران.

ریاحی سامانی، م. ۱۳۹۵. مروری بر روش‌های نوین کاهش سرانه مصرف آب خانگی به منظور حفظ آب شرب. اولین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشت، چالش‌ها و راهکارها. دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان، ایران.

شریف واقفی، ح.، زمانی، س. و شریف واقفی، م. ۱۳۸۵. مدیریت مصرف آب و نقش آن در مدیریت انرژی. شرکت. کنفرانس سراسری بهینه‌سازی مصرف انرژی انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران. مشهد، ایران.

طالع‌زاده، ج. ۱۳۹۳. ارزیابی صرفه‌جویی آب خانگی به واسطه نصب تجهیزات کاهنده آب در شهر سی سخت دومین همایش ملی بحران آب دانشگاه شهرکرد. شهرکرد، ایران.

ملکی نسب، ا.، ابریشم‌چی، ا. و تجریشی، م. ۱۳۸۶-الف. ارزیابی صرفه‌جویی در مصرف آب خانگی به واسطه استفاده از قطعات کاهنده مصرف. مجله آب و فاضلاب، ۶۲(۱۸): ۲-۱۱.

ملکی نسب، ا. و قالیباف سرشوری، م. ۱۳۸۶-ب. بررسی کاهش مصرف آب خانگی به واسطه نصب تجهیزات و شیرآلات کم مصرف (شهر شاندیز). اولین همایش سازگاری با کم آبی. ماهنامه مهرآب، تهران.

نارویی مرند، ف.، صفری، س. و گیوه چی، م. ۱۳۹۸. بررسی هدررفت آب در مکان عمومی (مطالعه موردی دانشگاه سیستان و بلوچستان). سومین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران. تهران، ایران.

کبارفرد، م.، شعاری، ف. و کراری، ز. ۱۳۹۹. کاهش مصارف آب در دانشگاه تبریز با مدل‌سازی شبکه. استفاده از ادوات اندازه‌گیری مصارف و شناسایی هدر رفت‌های ظاهری و واقعی. طرح پژوهشی پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه تبریز. تبریز، ایران.

Englart S. and Jedlikowski A. 2019. The influence of different water efficiency rating of taps and mixers on energy and water consumption in buildings. sn applied sciences a springer nature journal, 1(525): 94-104.

Lepinski Golin Freitas L., Henning E., Kalbusch A., Konarth C.A. and formigoni Carvalho walter O.M. 2019. Analysis of water consumption in toilets employing SHEWHART, EWMA, SHEWHART-EWMA, combined control charts. journal of cleaner production, 233:1146-1157.

Article Type: Applied

نوع مقاله: کاربردی

Comparison of the Performance of MISDc and HBV Hydrological Models in Runoff Simulation of Kakareza Basin in Lorestan Province

A. Amiri^{1*}, H. Salimi¹

1- MSc of Watershed Management Engineering, Lorestan University, Iran.

*(Corresponding Author Email: aamiri1670@gmail.com)

Received: 23-05-2020

Accepted: 22-08-2020

مقایسه عملکرد دو مدل هیدرولوژی MISDc و HBV در شبیه سازی رواناب حوضه آبخیز کاکارضا

عاطفه امیری^۱، حیات سلیمی^۱

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه لرستان، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: aamiri1670@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۰۳

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۱

Abstract

Hydrological models are useful tools in hydrological researches, testing research hypotheses and understanding hydrological processes, designing, evaluating and allocating water resources (flood plain assessment and ecosystem conservation). Hydrology models are simplified representations of the actual hydrology system and help to study the function of the basin in response to various inputs and to better understand hydrological processes. Due to the variety of hydrological models, it is difficult to choose a model. Therefore, comparative evaluation of models is needed to determine the capability of models in the study area. In this study, MISDc and HBV semi distributed models are used to simulate the flow of Kakareza watershed. For this instance a 9 year simulation period (2002-2010) was selected. The accuracy of model performance was evaluated using Nash-Sutcliffe (NS) and the coefficient of determination (R2) criterion. The Nash-Sutcliffe values and coefficient of determination for MISDc model were 0.83 and 0.84, for HBV model, 0.79 and 0.80 for 2002-2008 calibration period respectively and for MISDc model, it was 0.88 and 0.89, and for the HBV model, it is 0.72 and 0.73, for the 2009-2010 validation period, which indicates the better performance of the MISDc model in daily flow simulation in the study area. The results show that the MISDc model has performed better than the HBV model and it is suggested to use this model in hydrological studies of the region.

Keywords: Lorestan, Rainfall-Runoff Model, Calibration and Validation, MISDc, HBV.

چکیده

مدل‌های هیدرولوژی ابزار مفیدی در تحقیقات هیدرولوژی، آزمایش فرضیه‌های تحقیق و درک فرآیندهای هیدرولوژی، طراحی و ارزیابی و تخصیص منابع آب (ارزیابی سیلاب دشت‌ها و حفاظت اکوسیستم‌ها) به‌شمار می‌روند. مدل‌های هیدرولوژی نمایش ساده شده سیستم واقعی هیدرولوژی هستند و به مطالعه کارکرد حوضه در واکنش به ورودی‌های گوناگون و فهم بهتر از فرآیندهای هیدرولوژی کمک می‌کنند. باتوجه به تنوع مدل‌های هیدرولوژی انتخاب هر مدل برای هر کار دشوار است. بنابراین نیاز است، ارزیابی مقایسه‌ای بین مدل‌ها برای مشخص کردن توانایی و قابلیت هر مدل در منطقه مطالعاتی انجام گیرد. در این مقاله از دو مدل نیمه توزیعی MISDc و HBV برای شبیه‌سازی جریان حوضه آبخیز کاکارضا استفاده شده است. دوره مشترک شبیه‌سازی این دو مدل در بازه زمانی ۹ ساله (۲۰۰۲-۲۰۱۰) انتخاب شد. دقت نتایج حاصل از مدل‌ها با استفاده از معیارهای نش-ساتکلیف و ضریب تعیین ارزیابی شد. مقادیر به‌دست آمده نش-ساتکلیف و ضریب تعیین برای مدل MISDc به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۸۴ و برای مدل HBV به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۸۰ برای دوره واسنجی ۲۰۰۲-۲۰۰۸ و برای مدل MISDc به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۸۹، برای مدل HBV به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۷۳ برای دوره اعتبارسنجی ۲۰۰۹-۲۰۱۰ می‌باشد، که بیانگر عملکرد بهتر مدل MISDc در شبیه‌سازی جریان روزانه در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج حاصل نشان می‌دهد مدل MISDc بهتر از مدل HBV عمل کرده است و پیشنهاد می‌شود در مطالعات هیدرولوژی منطقه از این مدل استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: لرستان، مدل بارش-رواناب، واسنجی و اعتبارسنجی، MISDc، HBV.

قرار گرفتند. نتایج ارزیابی با چهار شاخص ارزیابی مختلف نشان داد، مدل SMAR کارایی و عملکرد بهتری نسبت به مدل HMS دارد، اما مدل HMS برای شبیه سازی مقادیر پیک کارایی بهتری دارد. Brocca و همکاران (۲۰۱۳) نسخه دوم مدل MISDc را برای شبیه سازی رواناب در مقیاس روزانه در حوضه آبخیز رودخانه Tibere بررسی کردند. در این پژوهش از ضریب نش-ساتکلیف برای ارزیابی کارایی مدل استفاده شد، نتایج حاصل از این ضریب توانایی بالای مدل در شبیه سازی جریان را بیان می کند. Smith و همکاران (۲۰۱۵) شاخص رطوبت خاک (SWI) حاصل از سنسور پیشرفته (ASCAT) روی ماهواره Metop در حوضه رودخانه تیر ایتالیا را بررسی کردند. SWI در ابتدا با الگوی زمانی رطوبت خاک حاصل از مدل بارش-رواناب پیوسته (MISDc) برای ارزیابی ارتباط آن با داده های مدل شده مقایسه شد و عملکرد مدل در برآورد سیل تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد SWI مشتق شده از حسگر ASCAT به منظور بهبود پیش بینی رواناب در منطقه مورد مطالعه، در صورتی که شرایط رطوبت خاک اولیه ناشناخته باشد، SWI مشتق شده از حسگر ASCAT، می تواند استفاده شود. Barbetta و همکاران (۲۰۱۷) به منظور بررسی رویکرد چند منظوره/چند مدله پیش بینی عدم قطعیت سیل در زمان واقعی، در رودخانه تیر ایتالیا از روش پردازنده شرطی مدل در مدل های STAFOM-RCM و MISDc استفاده کردند. به این منظور از داده های ساعتی ۳۴ سیل که در ۶ سال اتفاق افتاده بود استفاده کردند، نتایج نشان داد عملکرد مدل ها در پیش بینی مناسب است و میانگین خطا در مرحله اوج به ترتیب در مدل MISDc و STAFOM-RCM کاهش می یابد. Camici و همکاران (۲۰۱۸) به منظور بررسی عملکرد داده های SRPs در شبیه سازی سیل به جای داده های اندازه گیری در ۱۵ حوضه در مدیترانه از مدل MISDc استفاده کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد عملکرد نسبتاً ضعیف داده های SRPs در شبیه سازی سیل در مقایسه با داده های اندازه گیری است. Alessio و همکاران (۲۰۱۹) به منظور بررسی سیلاب و منابع آب منطقه پو در غرب ایتالیا از مدل MISDc استفاده کردند و پارامترهای بهینه مدل با استفاده از استراتژی های مختلف منطقه بندی شدند. عملکرد مدل از طریق چندین شاخص تجزیه و تحلیل رژیم هیدرولوژیکی، شرایط جریان بالا و منحنی طول مدت جریان (FDC) بررسی شد. نتایج این تحقیق بیانگر عملکرد مناسب مدل برای پیش بینی سیلاب منطقه است. امیری و همکاران (۱۳۹۷) به منظور شبیه سازی رواناب حوضه کشکان افرینه از مدل MISDc استفاده کردند. نتایج حاصل از معیارهای ارزیابی بیانگر توانایی بالای مدل در شبیه سازی جریان و به ویژه در مقادیر دبی پیک حوضه می باشد. طبق نتایج ارائه شده از دو مدل در نقاط مختلف دنیا می توان بیان کرد

بارش مهمترین و موثرترین منبع آب یک حوضه آبخیز است. در دسترس بودن اطلاعات پیوسته بارش که می تواند برای پیش بینی مقدار رواناب استفاده شود شروع خوبی برای شبیه سازی پدیده بارش-رواناب به شمار می رود (Sechi و Lorrai، ۱۹۹۵). مدل های بارش-رواناب برای توضیح فرآیندهای غیرخطی، پیش بینی حوادث و ارزیابی تأثیرات پتانسیل در اقلیم آینده و کاربری اراضی استفاده شدند (HBIB و Aghakoucha، ۲۰۱۲). ارزیابی و تخمین اثرات هیدرولوژی در تغییر پوشش و مدیریت زمین از کاربردهای مدل های هیدرولوژیکی است (Schneider و همکاران، ۲۰۰۰). مدل های بارش-رواناب قابلیت درون یابی و برون یابی جریان را متناسب با داده های ورودی به مدل دارند (Mengistu، ۲۰۰۹). انتخاب یک مدل مناسب وابسته به فاکتورهایی از قبیل شبیه سازی متغیرهای طراحی (رواناب سطحی، آب های زیرزمینی، بار رسوب و غیره)، دقت داده های در دسترس و مقیاس مکانی و زمانی است (Linde، ۲۰۰۸).

در زمینه مدل سازی هیدرولوژیکی پژوهشگران داخل و خارج کشور تحقیقاتی انجام دادند. Normand و همکاران (۲۰۱۰) برای شبیه سازی هیدرولوژیکی در حوضه نیال شرقی مدل HBV را به کار بردند. نتایج نشان داد به استثنای دبی های حداقل و حداکثر که مشکلاتی در رابطه با شبیه سازی آن ها بود در بقیه موارد به خوبی فرآیندهای شبیه سازی را انجام داد. Klaus و همکاران (۲۰۱۸) عملکرد مدل HBV در پنج حوضه نروژ که تحت سیل های فصلی پاییزه و بهار قرار دارند را بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد این مدل برای بررسی سیل های با رژیم بارش و رژیم برف منطقی عمل می کند. Hashlm Isam و همکاران (۲۰۲۰) به منظور بررسی مقایسه مدل های مفهومی و توزیعی برای ارزیابی تأثیر تغییرات آب و هوا بر رواناب آینده در حوضه رودخانه هاروی در استرالیا غربی از مدل HBV برای شبیه سازی رفتار هیدرولوژیکی حوضه استفاده کردند. سیگنال های آب و هوای آینده از یک مجموعه چند مدل از هشت مدل جهانی آب و هوای جهانی (GCM) استخراج شد. نتایج حاصل نشان داد، کاهش میانگین جریان سالانه در همه سناریوها وجود داشت. Brocca و همکاران (۲۰۱۱) از مدل بارش رواناب نیمه توزیعی پیوسته به نام MISDc برای شبیه سازی سیلاب در رودخانه Tibere استفاده نمودند، نتایج به دست آمده بیانگر قابلیت اطمینان مدل برای شبیه سازی سیلاب و بهره وری محاسباتی آن و بیان کننده دقت مدل در تولید هیدروگراف خروجی بود. Bashar (۲۰۱۲) برای شبیه سازی هیدرولوژیکی Blue Nile، مدل های HMS و SMAR را به کار برد، هر دو مدل به منظور شبیه سازی روابط بارش، رواناب، ذخیره، تبخیر و تعرق و هدر رفت خاک مورد استفاده

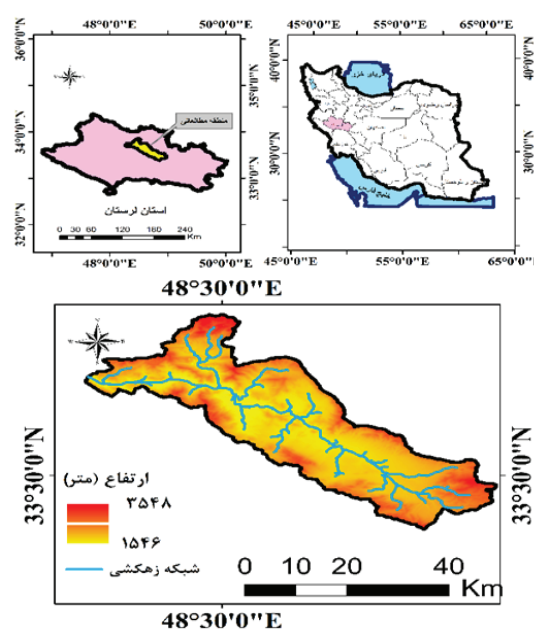
هر دو مدل باتوجه به داده‌های مورد استفاده توانایی خوبی در برآورد رواناب دارند. انتخاب یک مدل از بین مدل‌های پیچیده که نیاز به ورودی‌های زیادی دارند و کارکردن با آن‌ها سخت است و یا مدل‌های ساده که کارکردن با آن‌ها آسان است، برای برنامه‌ریزان منابع آب امری مهم تلقی می‌شود. همچنین آگاهی از میزان دقت مدل‌ها در فرآیند شبیه‌سازی امر مهمی است که باید بررسی شود. در راستای این هدف در این تحقیق دو مدل

MISDc و HBV برای شبیه‌سازی رواناب حوضه کاکارضا برای اولین بار واسنجی و اعتبارسنجی شدند و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد. باتوجه به نوع مدل‌ها و نتایج به‌دست آمده از اجرای آن‌ها در نقاط مختلف انتظار می‌رود هر دو مدل شبیه‌سازی را در حد قابل قبولی انجام دهند، ولی با توجه به دقت مدل MISDc انتظار می‌رود، این مدل با دقت بیشتری شبیه‌سازی را انجام دهد.

مواد و روش‌ها

• منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز کاکارضا با مساحتی بالغ بر ۱۱۳۳/۳ کیلومتر مربع در استان لرستان، با موقعیت جغرافیایی عرض ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و در طول ۳۳ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی واقع شده است. این حوضه با ارتفاع حداکثر ۳۵۴۸ و حداقل ۱۵۴۶ متر و متوسط بارش ۵۳۰/۶ میلی‌متر یکی از زیرحوضه‌های کرخه می‌باشد. این حوضه دارای رودخانه کاکارضا که از رودخانه‌های دائمی استان لرستان و از کوه‌های جنوب شرقی شهرستان الشتر و بخش چغلوندی (هرو) سرچشمه گرفته و در محدوده شهرستان الشتر به نام کاکارضا معروف است. در منطقه مطالعاتی ۹ نوع وضعیت سنگ‌شناسی وجود دارد که بیشترین سطح منطقه با آهک خاکستری ضخیم پوشیده شده است. موقعیت حوضه آبخیز کاکارضا در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت حوضه کاکارضا در استان لرستان و کشور

• معرفی مدل‌ها

-مدل MISDc

MISDc یک مدل بارش و رواناب نیمه توزیعی است که اولین بار به‌منظور پیش‌بینی وقایع سیلاب در حوضه رودخانه Tever در مرکز ایتالیا توسعه پیدا کرد (Brocca و همکاران، ۲۰۱۱). ورودی‌های این مدل را داده‌های روزانه بارندگی و دمای هوا در سطح حوضه تشکیل می‌دهند و تغییرات تدریجی آب موجود در خاک را به دو حالت مستقل W1 و W2 شبیه‌سازی می‌کند. آب از لایه اول توسط تبخیر و تعرق خارج می‌شود که از طریق تابع خطی بین تبخیر پتانسیل (برآورد شده از رابطه بلانی و کریدلی اصلاح شده به‌وسیله Doorenbos و Pruitt (۱۹۹۷) و اشباع خاک محاسبه می‌شود. نفوذ از سطح خاک به ناحیه ریشه از رابطه غیرخطی پیشنهاد شده توسط Famiglietti و Wood (۱۹۹۴) محاسبه می‌شود (امیری و همکاران، ۱۳۹۷).

سه مولفه مختلف رواناب سطحی، مازاد اشباع از لایه سطحی و لایه دوم و مولفه رواناب زیرسطحی باعث تولید رواناب می‌شوند. دو مورد اول به‌وسیله ی هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومرفولوژی (GIUH) جمع شده و تا خروجی روندیابی می‌شوند، درحالی‌که رواناب زیرزمینی به‌وسیله یک روش مخزن خطی به بخش خروجی منتقل می‌شود. برای هر دو حالت، زمان تأخیر توسط رابطه پیشنهاد شده توسط Melone و همکاران (۲۰۰۱) ارزیابی می‌شود (امیری و همکاران، ۱۳۹۷).

MISDc شامل دو جزء اصلی است: ۱- یک ماژول برای شبیه‌سازی الگوی زمانی رطوبت خاک (مدل SWB) و ۲- یک مدل بارش رواناب (RR) رویدادی نیمه توزیعی (MISD) برای شبیه‌سازی سیل. با ترکیب این دو مدل از طریق یک رابطه تجربی، ساختار مدل بارش رواناب پیوسته شکل می‌گیرد. تحلیل تأثیر وضعیت رطوبت پیشین (AWC) بر پاسخ هیدرولوژیک حوضه در منطقه مورد مطالعه، علت اصلی انتخاب، این نوع ساختار مدل بود (Brocca و همکاران، ۲۰۰۸؛ ۲۰۰۹؛ Melon و همکاران، ۲۰۰۱؛ امیری و همکاران، ۱۳۹۷).

- مدل بیلان آب خاک

لایه سطح خاک به عنوان یک سیستم مکانی یکپارچه فرض می شود که موازنه آب آن از طریق رابطه زیر برقرار می شود:

$$\begin{cases} \frac{dW(t)}{dt} = f(t) - e(t) - g(t) & \text{if } W(t) \leq W_{max} \\ W(t) = W_{max} \end{cases} \quad (1)$$

که در آن t زمان، $W(t)$ مقدار آب در لایه خاک مورد بررسی، $f(t)$ کسری از باران در حال نفوذ به خاک، $e(t)$ نرخ تبخیر و تعرق، $g(t)$ نرخ زهکشی به دلیل جریان بینابینی و یا نفوذ عمیق و W_{max} حداکثر ظرفیت آب لایه خاک است. نسبت $W(t)/W_{max}$ نشان دهنده درجه اشباع است. نرخ نفوذ $f(t)$ با استفاده از معادله گرین آمپت برآورد شده است.

$$\begin{cases} f(t) = K_s [1 - \psi(W_{max} - W_i)/F(t)L] & \text{if } f(t) \leq r(t) \\ f(t) = r(t) \end{cases} \quad (2)$$

که در آن، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع، ψ جبهه مرطوب مکش خاک، W_i مقدار آب در آغاز رویداد بارندگی، L ضخامت لایه خاک، $F(t)$ عمق نفوذ تجمعی از زمان بارندگی، و $r(t)$ نرخ بارندگی است. برای مولفه زهکشی، رابطه زیر مورد استفاده قرار می گیرد (Famiglietti و Wood، ۱۹۹۴):

$$g(t) = K_s [W(t)/W_{max}]^{3+2/\lambda} \quad (3)$$

که در آن، λ شاخص توزیع اندازه منافذ ذرات مربوط به ساختار لایه خاک است. تبخیر و تعرق واقعی، که عمدتاً آلوهای زمان رطوبت خاک را در دوره های بدون بارندگی کنترل می کند، با یک رابطه خطی وابسته به تبخیر و تعرق پتانسیل $ET_p(t)$ و اشباع خاک نشان داده می شود (رابطه ۴):

$$e(t) = ET_p(t) W(t)/W_{max} \quad (4)$$

تبخیر و تعرق پتانسیل از طریق رابطه تجربی بلانی و کیدلی که توسط Doorenbos و Pruitt (۱۹۹۷) اصلاح شده است محاسبه می شود (رابطه ۵):

$$ET_p(t) = -2 + b[\xi(0.46T_a(t) + 8.13)] \quad (5)$$

که در آن، $T_a(t)$ دمای هوا بر حسب درجه سانتی گراد، ξ درصد کل ساعت های روزانه برای دوره مورد استفاده (روزانه یا ماهانه) از کل ساعت های روزانه سال (365×24) و b پارامتری است که واسنجی می شود (امیری و همکاران، ۱۳۹۷).

- مدل بارش رواناب نیمه توزیع شده

مدل MISD، مدل نیمه توزیعی مبتنی بر رویداد بارش رواناب است که ابتدا توسط Corradini و همکاران (۱۹۹۵) طراحی شده است. این مدل بر اساس شبکه زهکشی و ویژگی های زمین شناسی، خاک، کاربری اراضی، یک حوزه آبریز مشخص به Nb جزء تقسیم می شود. هر کدام از آنها یک زیرحوضه با خروجی در امتداد کانال اصلی یا یک منطقه زهکشی که مستقیماً به کانال اصلی تخلیه می شود، می باشد (امیری و همکاران، ۱۳۹۷).

نسخه MISD مورد استفاده، از روش شماره منحنی (Curve Number) برای بررسی تلفات استفاده می کند. هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومرفولوژی (IUH) و مخزن خطی IUH به ترتیب برای روندیابی بارش موجود در زیرحوضه ها و مناطقی که به طور مستقیم به آبراهه اصلی تخلیه می شود به کار می روند. در نهایت، روندیابی در امتداد آبراهه اصلی از طریق یک رویکرد خطی بخشی تخمین زده می شود. بنابراین، مقدار بارندگی، $E_j(t)$ ، برای جزء j ($j=1, \dots, N_b$) است که توسط فرمول شناخته شده SCS-CN برآورد می شود (Chow و همکاران، ۱۹۹۸؛ امیری و همکاران، ۱۳۹۷):

$$\begin{cases} E_j(t) = \frac{[r_j(t)(R_j(t) - \lambda_j S_j)(R_j(t) + (2 - \lambda_1)S_j)]}{(R_j(t) + (1 - \lambda_1)S_j)^2} \\ E_j(t) = 0 & R_j(t) \geq \lambda_1 S_j \end{cases} \quad (6)$$

$R_j(t)$ عمق بارندگی از آغاز سیلاب است، S_j حداکثر پتانسیل نگهداشت خاک در ابتدای سیلاب و λ_1 پارامتر مربوط به تلفات اولیه است و برای همه اجزاء ثابت فرض می شود. هیدروگراف رواناب مستقیم، $Y(t)$ ، $E(t)$ و هیدروگراف واحد لحظه ای، $h(t)$ ، به صورت زیر است:

$$Y(t) = A \int_0^t E(\tau) h(t - \tau) d\tau \quad (7)$$

که در آن، τ متغیر کمکی برای زمان و A مساحت است. IUH نشأت گرفته از رویکردهای ژئومورفولوژی که برای زیرحوضه ها و از طریق روش ذخیره سازی خطی برای اجزاء دیگر است و توسط Gupta و همکارانش (۱۹۸۰) بیان شده است. پارامتر دینامیک زمان تاخیر، L یک رابطه تجربی تاخیر-مساحت و توسط Corradini و همکاران (۲۰۰۲) ارائه شده است، محاسبه می شود:

$$L = \eta 1.19A^{0.33} \quad (8)$$

که در آن، L بر حسب ساعت، A بر حسب کیلومتر مربع بیان می شود و η پارامتری است که واسنجی می شود.

پارامترهای واسنجی مدل MISDc در جدول (۱) ارائه شده است (امیری و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۱- پارامترهای مدل MISDc

پارامتر	توضیح	واحد	محدوده
W_{max}	حداکثر ظرفیت آب در لایه خاک	mm	۵۰-۷۰۰
K_s	هدایت هیدرولیکی اشباع	mm/h	۰/۳-۲۰
ψ/L	رطوبت بخش بالایی خاک تقسیم بر ضخامت لایه خاک	—	(ثابت) ۰/۲۲-
λ	شاخص توزیع اندازه ذرات خاک	—	۰/۰۵-۰/۵
b	فاکتور تصحیح برای تبخیر-تعرق	—	۰/۷-۲
η	پارامتر مناطق تأخیر	—	۰/۵-۲
c	سرعت	Km/h	۱-۵
D	توزیع پذیری	h/Km^2	(ثابت) ۴
α	پارامتر خطی از روابط مدل SWB و MISD	—	۱-۵

محاسبه رطوبت خاک و تولید رواناب است، در نهایت به کمک تابع وزنی ساده مثلثی، رواناب ایجاد شده را روندیابی می‌کند (Siebert و Vis، ۲۰۱۲)

۱) **روال برف:** انباشت بارش هنگامی که دما کمتر از TT (آستانه دما) باشد، به صورت برف خواهد بود. ذوب برف وقتی شروع می‌شود که دما بیشتر از TT باشد و از روش ساده درجه-روز (روابط (۱۰) و (۱۱)) برای محاسبه آن استفاده می‌شود.

$$Melt = CFMAX (T(t) - TT) \quad (10)$$

$$Melt\ water = CFMAX (T - TT) \text{ (mm day}^{-1}\text{)} \quad (11)$$

$CFMAX$ فاکتور درجه-روز، TT آستانه دما، $T(t)$ میانگین دمای روزانه، CFR ضریب تصحیح انجماد آب ذوب شده برف است.

۲) **روال خاک:** در این قسمت تغذیه آب زیرزمینی و تبخیر واقعی به صورت تابعی از ذخیره واقعی آب شبیه‌سازی می‌شود. این قسمت مهمترین بخش کنترل شکل‌گیری رواناب است و ۳ پارامتر در رابطه (۱۲) دارد:

$$Recharge/(P(t)) = (SM/FC) \quad (12)$$

$BETA$ پارامتری که سهم نسبی در رواناب (تابع عکس العمل یا افزایش رطوبت خاک) از هر میلی‌متر بارش یا ذوب برف را کنترل می‌کند، FC حداکثر ظرفیت ذخیره رطوبت در خاک، LP پارامتر نشانگر محدوده پتانسیل تبخیر است. LP مقدار رطوبت خاک

هیدروگراف رواناب مستقیم، $Q(t)$ ، در خروجی آبخیز با یک روش خطی پخشی تخمین زده می‌شود (Karlinger و Troutman، ۱۹۸۵):

$$Q(t) = \sum \int_0^t Y(\tau) p(t - \tau) d\tau \quad (9)$$

$p(t)$ تابع روندیابی است که به صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$p(t) = \frac{L_c}{2(\pi D_j t^3)^{1/2}} \exp\left(-\frac{(ct-L_c)^2}{4Dt}\right) \quad (10)$$

که در آن، L_c فاصله بین هر جزء تا خروجی حوضه، C سرعت و D پارامتر پخشیدگی است (امیری و همکاران، ۱۳۹۷).

تخمین مقادیر پارامترها:

برای این مدل بارش-رواناب، باید نه پارامتر برآورد شوند که شامل حداکثر ظرفیت آب لایه خاک W_{max} ، هدایت هیدرولیکی اشباع K_s ، نسبت بین رطوبت بخش بالایی خاک و ضخامت لایه خاک ψ/L ، شاخص توزیع اندازه ذرات λ ، ضریب اصلاح برای تبخیر-تعرق پتانسیل b ، سرعت c ، پخشیدگی D ، و پارامتر a که رابطه S و Wt می‌باشد. شایان ذکر است، پارامتر مولفه نفوذ ψ/L و D برای مسیریابی آبراهه، دارای تأثیر بسیار کم بر نتایج مدل هستند و از این رو ثابت در نظر گرفته می‌شوند. دامنه

- مدل HBV^۲

مدل HBV در موسسه هواشناسی و هیدرولوژیکی سوئد در اوایل دهه هفتاد توسعه داده شد (Bergstrom، ۱۹۷۶). امکان استفاده از این مدل برای طیف وسیعی از حوضه‌ها با شرایط اقلیمی گوناگون وجود دارد. این مدل برای پیش‌بینی سیلاب در کشورهای اسکاندیناوی و بسیاری اهداف دیگر مانند طراحی سرریز، شبیه سازی سیلاب و ارزیابی منابع آب به کار می‌رود. این مدل يك مدل مفهومی و شامل محاسبات مفهومی برای فرایندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه است. این مدل می‌تواند در حکم مدلی نیمه‌توزیعی با تقسیم حوضه به چندین زیرحوضه اجرا شود. هر زیرحوضه باتوجه به ارتفاع، دریاچه، یخچال‌های طبیعی و پوشش گیاهی به چندین ناحیه تقسیم می‌شود. نسخه استفاده شده در این تحقیق HBV-Light توسعه یافته مدل سیلبرت در سال ۲۰۰۲ است. این مدل به دلایل زیر استفاده می‌شود: ساختار ساده ولی انعطاف‌پذیر آن که قابلیت تقسیم‌بندی به ناحیه‌های گوناگون ارتفاعی و گیاهی را دارد، به اطلاعات زیادی نیاز ندارد و داده های ورودی آن در دسترس است، در شرایط آب و هوایی متفاوت، قابلیت استفاده دارد (یعقوبی و بوانی، ۱۳۹۳).

مدل شامل روال‌هایی (Routine) برای انباشت و ذوب برف،

است که بالاتر از آن تبخیر و تعرق به مقدار پتانسیل می‌رسد. این پارامتر به صورت درصدی از FC است. همچنین $SM(t)$ ذخیره واقعی خاک و $P(t)$ مجموع بارش و برف روزانه است.

۳) تابع عکس العمل: در این بخش رواناب محاسبه شده تبدیل به دبی در خروجی زیرحوضه می‌شود. با در نظر گرفتن دو لایه خاک، بارش ورودی باتوجه به رابطه (۱۳) در حالت‌های زیر از آن خارج می‌شود: خروج از لایه اول با ضریب ذخیره سریع K_1 ، نفوذ به لایه زیرین خاک با نرخ ثابت نفوذ PERC، اگر آستانه UZL (پارامتر آستانه) از حالت ذخیره تجاوز کند مازاد آن با ضریب ذخیره K_0 خارج می‌شود و در نهایت آب از لایه زیرزمینی با ضریب ذخیره آهسته K_2 خارج می‌شود.

$$Q(t) = K_1 K_2 SUZ + K_2 SLZ + K_0 \max(SUZ - UZL, 0) \quad (13)$$

که در این رابطه $Q(t)$ خروجی دو مخزن است. ۴) روال روندیابی این رواناب در نهایت از تابع وزنی مثلثی با پارامتر MAXBAS برای روندیابی جریان محاسبه شده در خروجی حوضه استفاده می‌نماید (یعقوبی و بوانی، ۱۳۹۳).

• داده‌ها

در این تحقیق داده‌های پایه مورد استفاده شامل داده‌های مشاهداتی دما، بارش، دبی و تبخیر و تعرق در دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰ میلادی از ۶ ایستگاه منتخب منطقه و اطراف آن می‌باشد (جدول شماره ۲). اطلاعات مورد نیاز مدل MISDc عبارتند از: داده‌های روزانه بارش، دما و دبی و داده‌های مورد نیاز HBV شامل داده‌های روزانه بارش، دما، دبی و تبخیر و تعرق ماهانه می‌باشد. فلوچارت روش تحقیق به کار گرفته شده در این مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است.

• ارزیابی کارایی مدل

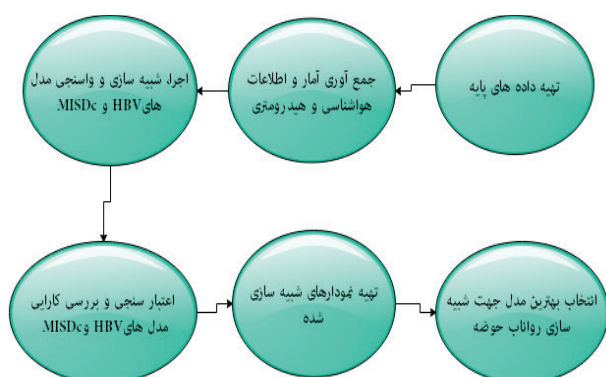
فرایند ارزیابی کارایی مدل نه تنها در جریان توسعه مدل و فرایند واسنجی، بلکه در زمان ارائه نتایج به سایر محققین

اهمیت اساسی دارد (Gupta و Schaefli، ۲۰۰۷).

شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی مدل‌ها ارائه شده و استفاده می‌شود. در این خصوص استانداردهای روشی برای ارزیابی پیش‌بینی مدل‌ها با استفاده از روش‌های آماری مشخص نشده است، بنابراین در این پژوهش نتایج شبیه‌سازی دبی‌های حوضه و زیرحوضه‌های آن در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها با ضریب تعیین (R^2)، شاخص‌های ناش-ساتکلیف (NS)، ارزیابی شد.

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	مختصات		ارتفاع (متر)
		X	Y	
۱	خرم آباد	۴۸/۲۸۳	۳۳/۴۳۳	۱۱۴۷
۲	بروجرد	۴۸/۷۵	۳۳/۹۱۶	۱۶۲۹
۳	کاکارضا	۴۸/۲۶	۳۳/۷۱	۱۵۵۰
۴	رحیم آباد	۴۸/۸۶	۳۳/۷۳	۱۴۹۶
۵	دهنو	۴۸/۷۶	۳۳/۵۱	۱۸۰۰
۶	دورود	۴۹/۰۶	۳۳/۴۸	۱۴۰۲



شکل ۲- فلوچارت روش تحقیق به کار گرفته شده در شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز کاکارضا

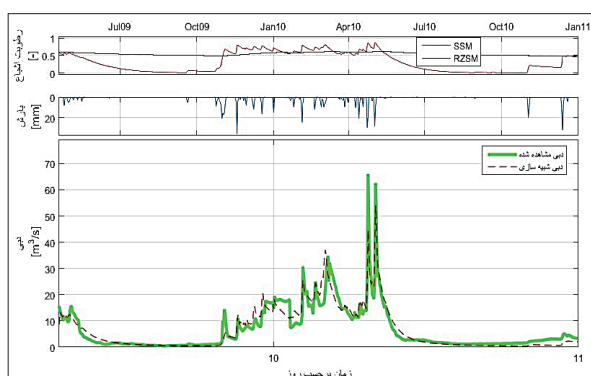
۷ سال (۲۰۰۲-۲۰۰۸) و دوره اعتبارسنجی به مدت ۲ سال (۲۰۰۹-۲۰۱۰) استفاده شد. باتوجه به نتایج به دست آمده، مقادیر معیارهای ارزیابی ناش-ساتکلیف و ضریب تعیین برای مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۸۴ محاسبه شد. همچنین نتایج حاصل از مقایسه هیدروگراف دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی در شکل (۲) نمایش داده شده است. بنابراین نتایج معیارهای ارزیابی در دوره واسنجی و همچنین مقایسه هیدروگراف‌ها، بیان می‌کند، مدل توانسته روند تغییرات دبی مشاهداتی حوضه را به خوبی به خصوص در نقاط اوج شبیه‌سازی کند. همچنین از مطالعه نمودارهای

نتایج و بحث

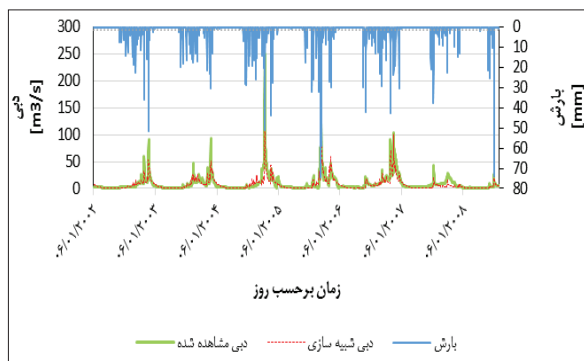
• شبیه‌سازی رواناب توسط مدل MISDc

بعد از تهیه داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل، با وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار متلب، شبیه‌سازی در بازه زمانی مورد نظر انجام گرفت. پس از ورود داده‌ها به نرم‌افزار به منظور شبیه‌سازی، پارامترهای مدل به صورت دستی تغییر می‌یابند و مرحله واسنجی انجام می‌شود. در این پژوهش از آمار ۹ سال (۲۰۰۲-۲۰۱۰) برای اجرای مدل استفاده شده است. لذا از این ۹ سال آمار در نظر گرفته شده، دوره واسنجی به مدت

بیانگر افزایش دقت مدل در این مرحله و قابلیت بالای مدل برای شبیه‌سازی رواناب حوضه می‌باشد (شکل ۴). مطابق شکل (۴) در مرحله اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی دبی‌های اوج به خوبی مرحله واسنجی عمل نکرده است. می‌توان بیان کرد، علت آن مربوط به بارش‌های رگباری فصل بهار و ذوب شدن برف‌ها می‌باشد و مدل در شبیه‌سازی ذوب برف خیلی خوب عمل نمی‌کند. مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج سایر تحقیقات مشابه صورت گرفته در سطح جهان (Brocca و همکاران ۲۰۱۱؛ Brocca و همکاران ۲۰۱۳؛ Smith و همکاران ۲۰۱۵؛ امیری و همکاران ۱۳۹۷) نشان می‌دهد، دقت شبیه‌سازی مدل قابل قبول و نزدیک به نتایج سایر محققین می‌باشد.



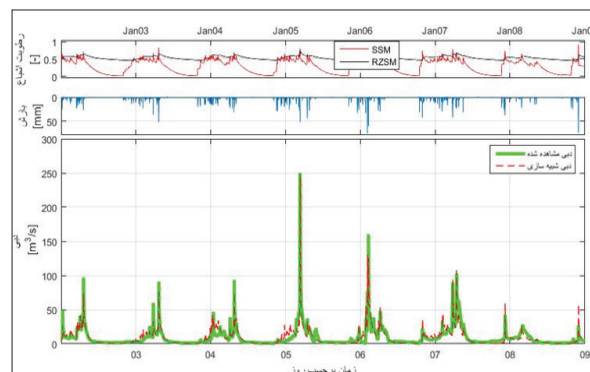
شکل ۴- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی با مدل MISDc



شکل ۵- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی با مدل HBV

برای اینکه نشان داده شود آیا مدل برای این منطقه قابلیت پیش‌بینی رواناب را برای دوره خارج از دوره واسنجی دارد یا خیر، دوره ۲۰۰۹/۰۴/۱۹-۲۰۱۰/۱۲/۳۱ برای اعتبارسنجی

مربوط به شکل (۳) که شامل رطوبت اشباع، بارش و دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی است می‌توان نتیجه گرفت، یک رابطه منطقی بین نمودارها وجود دارد به‌طوری‌که با افزایش بارش و دبی، رطوبت اشباع خاک افزایش پیدا کرده است.



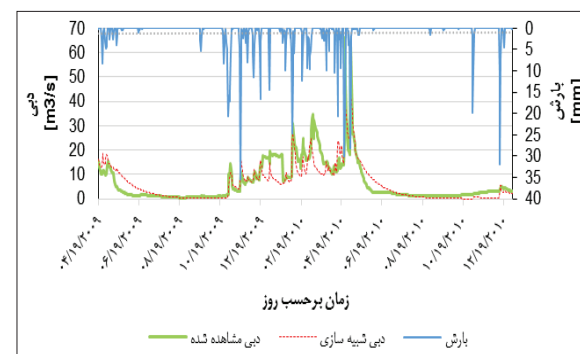
شکل ۳- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی با مدل MISDc

در مرحله اعتبارسنجی، به منظور بررسی عملکرد مدل، اعتبارسنجی در دوره آماری ۲ سال (۲۰۰۹-۲۰۱۰) اجرا شد. در این مرحله با استفاده از مقادیر پارامترهای مدل در مرحله واسنجی، اعتبارسنجی انجام خواهد شد. نتایج به دست آمده از معیارهای ارزیابی نش-ساتکلیف و ضریب تعیین برای مرحله اعتبارسنجی ۰/۸۸ و ۰/۸۹ می‌باشد که مقایسه نتایج حاصل از اعتبارسنجی

• شبیه‌سازی رواناب توسط مدل HBV

به‌منظور شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل HBV داده‌های مورد نیاز مدل آماده و مدل اجرا شد. ابتدا یک دوره ۷ سال (۲۰۰۲/۰۶/۰۱-۲۰۰۸/۱۲/۳۱) برای واسنجی مدل انتخاب شد. قبل از واسنجی یک دوره ۱۵۰ روزه (۲۰۰۲/۰۵/۳۱-۲۰۰۲/۰۱/۰۱) برای دوره آماده‌سازی (Warm up) لحاظ شد. در ادامه پارامترهای مدل به‌صورت دستی تغییر پیدا می‌کند تا مقادیر مناسب انتخاب شوند. با توجه به نتایج به دست آمده، مقادیر معیارهای ارزیابی نش-ساتکلیف و ضریب تعیین برای مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۷۹ و ۰/۸۰ محاسبه شد. همچنین نتایج حاصل از مقایسه هیدروگراف دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی در شکل (۵) نمایش داده شده است. نتایج معیارهای ارزیابی در دوره واسنجی و همچنین مقایسه هیدروگراف‌ها، بیان می‌کند، مدل روند تغییرات دبی مشاهداتی حوضه را توانسته به خوبی شبیه‌سازی کند.

مدل استفاده شد. در ادامه باتوجه به مقادیر به دست آمده از پارامترهای مدل در مرحله واسنجی، اعتبارسنجی مدل انجام شد. نتایج به دست آمده از معیارهای ارزیابی نش-ساتکلیف و ضریب تعیین برای مرحله اعتبارسنجی ۰/۷۲ و ۰/۷۳ می باشد. مقایسه گرافیکی نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان داد، این مرحله امکان شبیه سازی دقیق دبی های اوج با مجموعه پارامترهای مرحله واسنجی را نمی دهد یعنی در برخی موارد دبی را کمتر از مقدار مشاهداتی شبیه سازی کرده است، این به علت ساختار نسبتاً ساده و مفهومی مدل است که با یک لایه زیرزمینی رواناب تولید می کند (شکل ۶). مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج سایر تحقیقات مشابه صورت گرفته در سطح جهان (Normand و همکاران ۲۰۱۰؛ Abebe و همکاران ۲۰۱۰؛ هاونگی و مساح بوانی ۱۳۹۳؛ یعقوبی و مساح بوانی ۱۳۹۳) نشان می دهد، دقت شبیه سازی مدل قابل قبول و نزدیک به نتایج سایر محققین به دست آمده است.



شکل ۶- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه سازی شده در مرحله اعتبارسنجی با مدل HBV

نتیجه گیری

باتوجه به تنوع مدل های هیدرولوژی انتخاب هر مدل برای شبیه سازی هیدرولوژیکی دشوار است، بنابراین نیاز به ارزیابی مقایسه ای بین مدل ها برای مشخص کردن توانایی و قابلیت هر مدل در منطقه مطالعاتی است. در این مقاله از مدل MISDc و HBV در دو حالت نیمه توزیعی و یکپارچه استفاده شده است. براساس شاخص های آماری و نموداری به کار رفته در این مطالعه هم مدل MISDc و هم مدل HBV در دوره واسنجی نتایج شبیه سازی قابل قبولی داشتند (ضریب نش بالای ۰/۶ و ضریب تعیین بالای ۰/۷). همچنین در دوره واسنجی و اعتبارسنجی مدل MISDc بهتر از مدل HBV عمل کرده است. در دوره واسنجی هر دو مدل جریان کمتری را نسبت به دوره مشاهداتی پیش بینی کردند که باز هم عملکرد مدل MISDc مناسب تر بود.

همچنین در دوره واسنجی مدل MISDc در شبیه سازی دبی های پیک بسیار مناسب تر از مدل HBV عمل کرد. در مدل MISDc هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی مقادیر پیش بینی شده و مشاهداتی به هم نزدیک می باشند. در مجموع می توان بیان کرد، مدل MISDc (ضریب نش ۰/۸۳ در واسنجی و ضریب نش ۰/۸۸ برای اعتبارسنجی) برای شبیه سازی جریان روزانه حوضه کاکارضا مناسب تر است و پیشنهاد می شود در مطالعات هیدرولوژی این منطقه استفاده شود. استفاده از مدل HBV هم، بستگی به نوع مطالعه و دقت مورد نظر دارد. در این حوضه مشاهده شد، حالت یکپارچه مدل دقت قابل قبولی در شبیه سازی جریان دارد. نتایج ارزیابی دو مدل MISDc و HBV نشان می دهد مدل MISDc دبی ها را به خصوص در مقادیر پیک به خوبی شبیه سازی می کند و مدل HBV دبی ها را کمتر از مقادیر مشاهداتی شبیه سازی کرده است.

سپاسگزاری

به این وسیله از جناب آقای دکتر Luca Brocca توسعه دهنده مدل MISDc، برای راهنمایی های ارزنده شان قدردانی می شود.

پی نوشت

- 1- Modello Idrologico Semi-Distribuito in continuo
- 2- Hydrologiska Byrans Vattenavdelning

منابع

- امیری، ع.، زینی وند، ح.، طهماسبی پور ن. و حقی زاده. ع. ۱۳۹۷. بررسی کارایی مدل MISDc در شبیه سازی رواناب حوضه آبخیز کشکان افرینه. نشریه سامانه های سطوح آبیگیر باران، ۶(۱۹): ۵۳-۶۲
- هاونگی، م. و مساح بوانی. ع. ر. ۱۳۹۳. مقایسه عملکرد دو مدل هیدرولوژی IHACRES و HBV light در شبیه سازی حوضه دز. دهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری (آبخیزداری پایدار). دانشگاه بیرجند، بیرجند
- یعقوبی، م. و مساح بوانی. ع. ر. ۱۳۹۳. تحلیل حساسیت و مقایسه عملکرد سه مدل مفهومی HBV، IHACRCE و HEC-HNS در شبیه سازی بارش-رواناب پیوسته در حوضه های نیمه خشک (بررسی موردی: حوضه اعظم هرات-یزد). مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۰(۲): ۱۵۳-۱۷۲.
- Abebe N., Ogden F.L. and Pradhan N.R. 2010. Sensitivity and uncertainty analysis of the conceptual HBV rain-

- How reliable are satellite precipitation estimates for driving hydrological models: a verification study over the mediterranean area, *Journal of Hydrology*, 563: 950-961.
- Chow V.T, Maidment D.R. and Mays L.W. 1988. *Applied hydrology*, McGrawHill. New York.
- Corradini C. Melone F. and Ubertini L. 1995. A semi-distributed model for direct runoff estimate. In *Applied Simulation and Modelling*, Hamza MH (ed). IASTED ACTA Press: Anahheim (CA): 541- 545
- Corradini C., Morbidelli R., Saltalippi C. and Melone F. 2002. An adaptive model for flood forecasting on medium size basins. In *Applied Simulation and Modelling*, Ubertini L (ed). IASTE Acta Press: Anaheim (CA): 555-559.
- Doorenbos J. and Pruitt W.O. 1997. Background and development of methods to predict reference crop evapotranspiration (ET_o). In *FAO-ID-24, Appendix II*.
- Famiglietti J.S. and Wood E.F. 1994. Multiscale modeling of spatially variable water and energy balance processes. *Water Resour. Res*, 11: 3061-3078.
- Gupta V.K., Waymire E. and Wang C.T. 1980. A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology. *J. Water Resources Manage*, 16(5): 855-862.
- Hashim Isam J., Hamideh K. and Ranjan S. 2020. Comparative study of conceptual versus distributed hydrologic modelling to evaluate the impact of climate change on future runoff in unregulated catchments, *Journal of Water and Climate Change*, 11(2): 341-366.
- Karlinger M.R. and Troutman B.M. 1985. An assessment of the instantaneous unit hydrograph derived from the theory of topologically random networks. *Water Resour. Res*, 21: 1693-1702.
- Lorrai, M. and H.M. Sechi. 1995. Neural Nets for Modeling Rainfall- Runoff Transformation. *Water Resources Management*, 9: 299-313.
- Melone F, Neri N., Morbidelli R. and Saltalippi C. 2001. A conceptual model for flood prediction in basins of moderate size. In *Applied Simulation and Modelling*, Hamza MH (ed). IASTED Acta Press: Anaheim, fall-runoff model: Implications for parameter estimation, *Journal of Hydrology*, 389: 301-310.
- Agha kouchak N. and HBIB E. 2012. An educational model for ensemble streamflow simulation and uncertainty analysis. *hydrology and Earth system sciences*, 17: 445-452
- Alessio C., Daniele M., Christian M., Stefania C. and Brocca L. 2019. Combining a rainfall-runoff model and a regionalization approach for flood and water resource assessment in the western Po Valley, Italy, *Hydrological Sciences Journal*, 65(3): 348-370.
- Barbetta S., Coccia G. Moramarco T. Brocca L. and Todini E. 2017. The multi temporal/multi-model approach to predictive uncertainty assessment in real-time flood forecasting, *Journal of Hydrology*, 551: 555-576.
- Bashar K. 2012. Comparative Performance of Soil Moisture Accounting Approach in Continuous Hydrologic Simulation of the Blue Nile. *Nile Basin Water Science & Engineering Journal*, 5: 2-10.
- Bergstrom S. 1976. Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments, Publisher Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology, University of Lund.
- Brocca L, Melone F, Moramarco T. 2008. On the estimation of antecedent wetness conditions in rainfall-runoff modelling. *Hydrological Processes*, 22(5): 629-642.
- Brocca L. Melone F. Moramarco T. Singh VP. 2009. Assimilation of observed soil moisture data in storm rainfall-runoff data. *Journal of Hydrologic Engineering ASCE*, 14(2): 153-165.
- Brocca L., Camici S. Tarpanelli A. Melone F. and Moramarco. T. 2011. Analysis of climate change effects on floods frequency through a continuous hydrological modelling. In: *Climate Change and its Effects on Water Resources*. Springer, Dordrecht, the Netherlands.
- Brocca., L. Melone F. Moramarco T. Penna D. Borga M. Matgen P. Gumuzzio A. Martinez-Fernández J. and Wagner W. 2013 Detecting threshold hydrological response through satellite soil moisture data. *Die Bodenkultur*, 64 (3-4): 7-12.
- Camici S., Ciabatta L., Massari C. and Brocca L. 2018.

- modeling with a userfriendly catchment runoff-model software package, *Earth Syst. Sci*, 16: 3315-3325.
- Smith D.R., King K.W., Johnson L., Francesconi W., Richards P., Baker D., Sharpley A.N. 2015. Surface runoff and tile drainage transport of phosphorus in the midwestern united st. Schreider sy ,smith DI and Jokeman AJ. 2000. climate change impacts on urban flooding. *Climate change. Jornal of Environmental Quality*, 47: 91-115.
- Klaus V. Maik H. Axel B. and Deborah L. 2018. Hydrological model parameter (in) stability-“crash testing” the HBV model under contrasting flood seasonality conditions. *Journal Hydrological Sciences Journal*, 63(7): 1-17.
- (CA): 461-466.
- Mengistu K.T. 2009. Watershed hydrological response to change in land use and land cover and management practices at hare watershed ,Ethiopia.
- Normand S., Konz M. and Merz J. 2010 . Anapplication of the HBV model to the Tamor Basin in Eastern Nepal. *Journal of Hydrology and meteorology*, 7(1): 49-58.
- Schaefli B. and Gupta H.V. 2007. Do Nash values have value? *Hydrological Processes*, 21(15): 2075-2080
- Schreider sy ,smith DI and Jokeman AJ. 2000. climate change impacts on urban flooding. *Climate change*, 47: 91-115.
- Siebert J. and Vis M. J. P. 2012. Teachinghydrological

Review on Soil Moisture Remote Sensing Techniques and Spatial Resolution Downscaling Methods

E. Ghafari^{1*}, A.R. Faridhosseini²

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

*(Corresponding Author Email: ghafarielaheh84@gmail.com)

Received: 15-06-2020

Accepted: 15-09-2020

مروری بر تکنیک‌های سنجش‌ازدور رطوبت خاک و روش‌های ریزمقیاس‌سازی مکانی

الیه غفاری^{۱*}، علیرضا فریدحسینی^۲

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

*(نویسنده مسئول، E-Mail: ghafarielaheh84@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۲۵

Abstract

Soil moisture is a valuable parameter for water cycle over lands, controlling water fluxes between the atmosphere, land surface and subsurface, through evaporation and plant transpiration. Measurement and recording of soil moisture observations as in-situ data cannot meet human needs. The availability of global soil moisture maps which is possible using remote sensing sensors, will benefit many application, including precipitation forecasting, flood prediction, drought monitoring and agricultural related applications. These maps must be provided at suitable scale. This is done by spatially downscaling of the soil moisture observations. Spatial downscaling of soil moisture measured by satellites should provide two purposes in order to use this parameter in hydrological, meteorological and agricultural applications: 1- Achieving to medium resolution (approximately 10 km), 2- Sufficient retrieval accuracy. It is evident that fulfilling both purposes using a single sensor is difficult. Therefore, complementary downscaling using a range of observation types has been proposed as an approach to overcome these scale and accuracy issues, by combining the merits from different sensors. In this paper, the soil moisture remote sensing techniques and as well, two basic available downscaling approaches which have the potential to fulfil the stated requirements on resolution and accuracy are introduced and their pros and cons are investigated.

Keywords: Remote Sensing of Soil Moisture, Downscaling Algorithms, Spatial Resolution.

چکیده

رطوبت خاک یک پارامتر با ارزش برای چرخه آب بر روی اراضی، کنترل جریان آب بین اتمسفر، سطح زمین و زیر زمین، از طریق تبخیر-تعرق گیاه می‌باشد. اندازه‌گیری و ثبت مشاهدات رطوبت خاک به صورت داده‌های زمینی نمی‌تواند جوابگوی نیاز بشر باشد. دسترسی به نقشه‌های رطوبت خاک جهانی که با استفاده از سنسورهای سنجش از دور امکان پذیر است، کاربردهای بسیاری از جمله پیش‌بینی بارش، پیش‌بینی سیلاب، نظارت بر خشکسالی و برنامه‌های مرتبط با کشاورزی خواهد داشت. این نقشه‌ها باید در مقیاس مکانی مناسب فراهم شوند. این امر از طریق ریزمقیاس‌سازی مکانی مشاهدات رطوبت خاک انجام می‌شود. ریزمقیاس‌سازی مکانی رطوبت خاک اندازه‌گیری شده توسط ماهواره‌ها دو هدف را به منظور استفاده این پارامتر در کاربردهای هیدرولوژی، هواشناسی و کشاورزی باید تأمین کند: ۱- دستیابی به وضوح مکانی متوسط رطوبت خاک (تقریباً ۱۰ کیلومتری)، ۲- دقت بازیابی مناسب. تحقق هر دو هدف با استفاده از یک سنسور مفرد، مشکل می‌باشد. بنابراین، ریزمقیاس‌سازی مکمل با استفاده از طیف وسیعی از انواع مشاهدات توسط ترکیب سنسورهای مختلف، به عنوان یک روش برای غلبه بر مقیاس مکانی درشت و بهبود دقت بازیابی رطوبت خاک، پیشنهاد شده است. در این مقاله، تکنیک‌های سنجش از دور رطوبت خاک و دو روش اصلی ریزمقیاس‌سازی موجود که پتانسیل تحقق الزامات بیان شده در توان تفکیک‌پذیری مکانی و صحت ریزمقیاس‌سازی را دارند، معرفی می‌شوند و مزایا و معایب آنها بررسی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور رطوبت خاک، الگوریتم‌های ریزمقیاس‌سازی، توان تفکیک‌پذیری مکانی.

به دلیل اینکه رطوبت خاک، نقش اصلی در کنترل آب، انرژی و شار کربن بین سطح زمین و اتمسفر دارد، یک پارامتر اساسی در کشاورزی، هیدرولوژی و هواشناسی محسوب می‌شود (Wagner و همکاران، ۲۰۰۳؛ Seneviratne و همکاران، ۲۰۱۰؛ Falloon و همکاران، ۲۰۱۱ و McColl و همکاران، ۲۰۱۷). در مدل‌های بازایی رطوبت خاک و همچنین کمبود داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی، وجود خطا مانعی در ثبت تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک می‌باشد. با وجود در دسترس بودن داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی، پراکندگی زمانی و مکانی این داده‌ها می‌تواند به عنوان مانعی برای استفاده دقیق آنها در مطالعات مرتبط با رطوبت خاک باشد (Hain و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین، عدم امکان تجهیز شبکه‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک زمینی و همچنین محدودیت‌های تخمین رطوبت خاک با استفاده از مدل‌های عددی، بازایی رطوبت خاک بر پایه داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ها را توسعه داد. با توسعه تکنولوژی سنجش از دور (Jackson و همکاران، ۲۰۰۲)، نقشه‌های جهانی رطوبت خاک تهیه شده توسط ماهواره‌ها می‌توانند به عنوان یک منبع داده ارزشمورد استفاده قرارگیرند (Entekhabi و همکاران، ۲۰۱۰؛ Hain و همکاران، ۲۰۱۱ و Kerr و همکاران، ۲۰۱۲). این نقشه‌ها باید در مقیاس مکانی مناسب فراهم شوند تا بتوانند در علوم مرتبط با کشاورزی، هیدرولوژی و هواشناسی مفید واقع شوند.

سنجش از دور رطوبت خاک

از آنجایی که ثبت دقیق رطوبت خاک به صورت جهانی از طریق اندازه‌گیری‌های زمینی توسط شبکه‌های بزرگ نظارت رطوبت خاک زمینی و به دلیل مشکلات ناشی از درشت مقیاس کردن داده رطوبت خاک از اندازه‌گیری‌های مقیاس نقطه‌ای، پیچیده است، تحقیقات گسترده‌ای در جهت بازایی رطوبت خاک با استفاده از روش‌های سنجش از دور خصوصاً از سکوی مدار پایین زمین^۱ که توانایی فراهم کردن پوشش جهانی و زمان بازگشت مکرر^۲ مورد نیاز برای کاربردهای هیدرولوژی و هواشناسی را دارد (Entekhabi و همکاران، ۲۰۱۰؛ Kerr و همکاران، ۲۰۱۲)، انجام شده‌اند (Entekhabi و همکاران، ۲۰۱۰؛ Hain و همکاران، ۲۰۱۱).

۱) روش‌های سنجش از دور مایکروویو غیرفعال^۳

تحقیقات تجربی و نظری نشان دادند، سنجش از دور مایکروویو غیرفعال در باند L، امیدبخش‌ترین روش بازایی رطوبت خاک به دلایل قابلیت اجرای آن در تمامی شرایط آب‌وهوایی، ارتباط قوی و مستقیم بین انتشار خاک^۴ در طول موج‌های مایکروویو با

مقدار آب خاک و حداقل تأثیر پوشش گیاهی و زبری سطح بر انتشار خاک می‌باشد (Njoku و همکاران، ۲۰۰۲). سنسورهای مایکروویو غیرفعال، شدت انتشار مایکروویو^۵ از خاک، که به مقدار رطوبت خاک از طریق تفاوت عمده ثابت دی‌الکتریک خاک خشک (تقریباً ۳/۵) و آب (تقریباً ۸۰) مرتبط است، اندازه‌گیری می‌کنند (Schmugge و همکاران، ۱۹۷۴). انتشار مایکروویو، متناسب با دمای سطح و انتشار سطح^۶ می‌باشد و به طور معمول به عنوان دمای روشنایی^۷ معرفی می‌شود. ارتباط بین رطوبت خاک و دمای روشنایی براساس تفاوت‌های موجود در زبری سطح، شرایط گیاهی، و بافت خاک، تغییر می‌کند. در دهه‌های گذشته، روش‌های بازایی رطوبت خاک با استفاده از مشاهدات غیرفعال، توسعه یافته است و با آزمایشات میدانی انجام شده و داده‌های زمینی، دستگاه‌های ماهواره و هواپرد ارزیابی شده‌اند (Owe و همکاران، ۲۰۰۱؛ Njoku و همکاران، ۲۰۰۳؛ Panciera و همکاران، ۲۰۰۹؛ Rudiger و همکاران، ۲۰۰۹). نتایج این مطالعات مدل‌های انتقال تابشی مایکروویو^۸ متفاوت را توسعه داده است، این مدل‌ها به منظور بازایی رطوبت خاک با استفاده از دمای روشنایی مایکروویو غیرفعال طراحی شده‌اند. سنجش از دور مایکروویو غیرفعال، پایه و اساس ماهواره‌های سنجش رطوبت خاک می‌باشد. به عنوان نمونه، اندازه‌گیری‌های جهانی رطوبت خاک با استفاده از سنجش از دور مایکروویو غیرفعال با استفاده از ماهواره رطوبت خاک و شوری اقیانوس SMOS^۹، ماهواره رطوبت خاک فعال-غیرفعال^{۱۰} SMAP، ماهواره رادیومتر اسکن‌کننده مایکروویو پیشرفته برای سیستم مشاهده‌کننده زمین^{۱۱} AMSR-E، سنسور ویژه مایکروویو تصویرگر^{۱۲} (SSM/I) در دسترس هستند. SMOS توسط آژانس فضایی اروپا^{۱۳} در نوامبر ۲۰۰۹، به عنوان اولین ماهواره اختصاصی اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از اندازه‌گیری‌های مایکروویو غیرفعال باند L راه‌اندازی شد. SMOS به منظور نظارت بر رطوبت خاک، بایومس گیاهی و دمای سطح خاک با استفاده از اندازه‌گیری‌های رادیومتر در باند L (۱/۴ گیگاهرتز) در قطبش^{۱۴} v و h (حالت افقی و v حالت عمودی را نشان می‌دهند)، اختصاص یافته است، و رطوبت خاک را در توان تفکیک‌پذیری مکانی تقریباً ۴۰ کیلومتر فراهم می‌کند. ماهواره SMAP برای تهیه نقشه‌های جهانی رطوبت خاک و چشم‌انداز حالت انجماد/ذوب شدن طراحی شده است. این ماهواره از باند L رادیومتر (۱/۴ گیگاهرتز) در قطبش^{۱۵} v و h و باند L رادار (۱/۲۶ گیگاهرتز) در قطبش‌های دوگانه hh ، vh ، hv و vh استفاده می‌کند. AMSR-E رطوبت خاک و تخمین‌های مرتبط با آب گیاه و دمای سطح را در باند C و باند X در توان تفکیک‌پذیری مکانی تقریباً ۵۶ کیلومتر فراهم می‌کند. باندهای فرکانس بالاتر به وسیله سنسور SSM/I اعمال می‌شوند که دمای روشنایی را در باند Ka و باند Ku اندازه‌گیری می‌کند مطالعات سنجش از دور رطوبت خاک با استفاده از تکنیک‌های مایکروویو غیرفعال انجام شده در

چندین دهه اخیر، برتری سنسورهای فرکانس پایین را نسبت به سایر تکنیک‌های سنجش از دور نشان می‌دهند (Schmugge) و همکاران، ۱۹۷۴؛ Jackson و همکاران، ۱۹۹۳؛ Paloscia و همکاران، ۲۰۰۱). اگرچه سنسورهای مایکروویو غیرفعال در باند L، برای بازیابی رطوبت خاک به صورت جهانی بهترین هستند، اما توان تفکیک‌پذیری مکانی که از مشاهدات مایکروویو غیرفعال می‌توان به دست آورد، به دلیل رابطه معکوس بین طول موج و اندازه آنتن و با در نظر گرفتن محدودیت‌های فناوری استقرار آنتن بزرگ در فضا، به طور ذاتی از نظر مکانی درشت‌مقیاس می‌باشد (در حدود تقریباً ۴۰ کیلومتر). در نتیجه، تکنیک سنجش از دور مایکروویو غیرفعال در باند L به تنهایی داده‌های رطوبت خاک تخمین زده شده مورد نیاز در رزولوشن مکانی متوسط (حدود ۱۰ کیلومتر) برای کاربردهای هیدرولوژی و هواشناسی نظیر پیش‌بینی بارندگی و تخمین سیلاب و خشکسالی را فراهم نمی‌کند. اندازه آنتن رادیومتر، تنها فاکتوری است که می‌توان برای بهبود توان تفکیک‌پذیری مکانی، تغییر داد. لازم به ذکر است، افزایش اندازه آنتن، مشکلات مهندسی بسیار دشواری دارد که با تکنولوژی‌های مرسوم، قابل حل شدن نیستند. هدف از جستجوی روش‌های خلاقانه که بتوانند مشاهدات دقیق با توان تفکیک‌پذیری مکانی بالا فراهم کنند، این موضوع می‌باشد (Jackson و همکاران، ۱۹۹۹).

۲) روش‌های سنجش‌ازدور مایکروویو فعال^{۱۵}

از آنجایی که سنجش‌ازدور مایکروویو غیرفعال به دلیل وضوح مکانی کم، محدود شده است، بعضی دیگر از تکنیک‌های سنجش‌ازدور به منظور فراهم کردن مشاهدات در توان تفکیک‌پذیری بیشتر، پیشنهاد شده است. به عنوان نمونه، تکنیک‌های سنجش‌ازدور مایکروویو فعال می‌توانند برای بازیابی اطلاعات رطوبت خاک از تفکیک‌پذیری ۱۰ متر تا ۳ کیلومتر، استفاده شوند. در حال حاضر، دو نوع رادار برای بازیابی رطوبت خاک در حال استفاده هستند: ۱- رادار روزنه مصنوعی^{۱۶} (SAR) و ۲- پراکندگی سنج^{۱۷}. SAR یک سامانه راداری منسجم نصب شده بر روی یک سکوی متحرک مانند ماهواره یا هواپیمای هوابرد است که تصاویر دوبعدی با وضوح مکانی بالا و مستقل از نور (ثبت داده در روز و شب) و شرایط آب‌وهوایی را از سیگنال‌های پس‌پراکندگی^{۱۸} دریافتی ایجاد می‌کند. به این صورت، وضوح مکانی بالا در واحد متر به دست خواهد آمد. قطبش‌های مورد استفاده در SAR بسته به جهت ارسال و دریافت موج الکترومغناطیسی شامل قطبش‌های دوگانه hh ، vv ، hv و vh می‌شوند. به عنوان نمونه، آژانس فضایی اروپا (ESA) از ماهواره‌های سنجش از دور زمین ۱ و ۲^{۱۹} (ERS-1، ERS-2) برای سنجش از دور رطوبت خاک با استفاده از مشاهدات SAR در باند C استفاده کرده است (Wagner و همکاران، ۲۰۰۳؛ Wagner و همکاران، ۲۰۰۷). مشاهدات SAR موجود دیگر سنسورها عبارتند از: باند C

سنسور ENVISAT ASAR (Desnos و همکاران، ۲۰۰۰)، باند C سنسور RADARSAT-1/2 (Nolin و همکاران، ۲۰۱۲؛ Cable و همکاران، ۲۰۱۴)، باند L سنسور PALSAR (Shimada و همکاران، ۲۰۰۹؛ Carreiras و همکاران، ۲۰۱۲)، باند X سنسور TerraSAR (Werninghaus، ۲۰۰۴)، و باند X سنسور COSMO-SkyMed (F.Covello و همکاران، ۲۰۱۰). سنسور رادار ماهواره SMAP نیز داده‌های SAR را در باند L و وضوح مکانی ۳ کیلومتر، اندازه‌گیری کرده است (Entekhabi و همکاران، ۲۰۱۰). در برابر سنسورهای SAR، پراکندگی سنج‌ها سنسورهای رادار مایکروویوی هستند که پس‌پراکندگی سطح را با استفاده از روزنه واقعی^{۲۰}، اندازه‌گیری می‌کنند (Dubois و همکاران، ۱۹۹۵). سنسورهای پراکندگی سنج برای مطالعات بادهای نزدیک سطح اقیانوس‌ها، یخ‌های قطبی، پوشش گیاهی، و اندازه‌گیری‌های مقدار رطوبت خاک استفاده می‌شوند. سنسورهای پراکندگی سنج متنوعی بر روی ماهواره‌ها راه‌اندازی شده‌اند. از جمله این سنسورها، سنسور پراکندگی سنج ناسا^{۲۱} و سنسور پراکندگی سنج پیشرفته^{۲۲} بر روی ماهواره عملیاتی هواشناسی ESA^{۲۳} (MetOp-A) راه‌اندازی شده در سال ۲۰۰۶ می‌باشند (Wagner و همکاران، ۲۰۰۳؛ Wagner و همکاران، ۲۰۰۷). در سنجش از دور مایکروویو فعال، مقادیر سیگنال (ضریب پس‌پراکندگی) از طریق تضاد ثابت دی‌الکتریک آب و خاک با رطوبت خاک در ارتباط است. اگرچه در مشاهدات رادار، سیگنال خاک به شدت تحت تأثیر زبری سطح و پراکندگی مستقیم از پوشش گیاهی، قرار دارد. بنابراین، در مقابل سنجش‌ازدور مایکروویو غیرفعال، صحت رطوبت خاک بازیابی شده به صورت فعال، بسیار تحت تأثیر شرایط سطحی خاک قرار می‌گیرد.

۳) روش‌های سنجش‌ازدور نوری و حرارتی^{۲۴}

در روش‌های سنجش‌ازدور نوری، سنسورهای نوری (مرئی/مادون قرمز نزدیک/مادون قرمز طول موج کوتاه/مادون قرمز حرارتی) می‌توانند انعکاس سطح از خورشید یا انتشار حرارتی را در توان تفکیک‌پذیری مکانی بالا (وضوح بالا)، اندازه‌گیری کنند (Pu و همکاران، ۲۰۰۳). از آنجایی که سیگنال نوری تنها قادر به نفوذ به چند میلیمتر سطحی خاک یا پوشش گیاهی است، تفسیر آن مشکل می‌باشد. همچنین، این سیگنال‌ها در توانایی نفوذ به ابر و پوشش گیاهی محدودیت دارد و به دلیل وجود اتمسفر، ضعیف عمل کرده و به اصلاحات اتمسفریک قابل توجه‌ای نیاز دارند. علاوه بر آن، اندازه‌گیری‌های انعکاس خاک به شدت تحت تأثیر ترکیب، ساختار فیزیکی و شرایط جذب خاک قرار می‌گیرد که منجر به پیش‌بینی ضعیف رطوبت خاک در نمونه‌های خاک ترکیبی می‌شود (Musick و Pelletier، ۱۹۸۸). بنابراین تخمین‌های رطوبت خاک از سنسورهای مرئی/مادون قرمز معمولاً به اطلاعات ریزمقیاس هواشناسی و اتمسفریک نیاز دارند که این اطلاعات به طور معمول

در دسترس نمی‌باشد (Zhang و Wegehenkel، ۲۰۰۶). به دلیل وجود این محدودیت‌ها، برقراری ارتباط مستقیم بین انعکاس و رطوبت خاک، تنها زمانی که مدل‌ها برای انواع خاصی از خاک در عدم وجود پوشش گیاهی سطح زمین متناسب شده باشند، موفق خواهد بود (Muller و Decamps، ۲۰۰۱). دلایل ذکر شده نشان‌دهنده محدودیت شدید قابلیت استفاده از این تکنیک‌ها برای بازیابی رطوبت خاک به صورت جهانی می‌باشد. سنجش‌ازدور مادون قرمز حرارتی برپایه این اصل استوار است که دمای خاک به طور مستقیم، توسط رطوبت خاک با افزایش حرارت ویژه و هدایت حرارتی، تحت تاثیر قرار می‌گیرد. تخمین رطوبت خاک از طریق سنجش‌ازدور مادون قرمز حرارتی در درجه اول به استفاده از اندازه‌گیری‌های دمای خاک، به صورت مفرد یا در ترکیب با شاخص‌های گیاهی ارتباط دارد. برخی از مطالعات نشان دادند، تغییرات دمای خاک به شدت به تغییرات رطوبت خاک، وابسته می‌باشد (Friedl و Davis، ۱۹۹۴؛ Chehbouni و همکاران، ۲۰۰۱). ترکیب تصاویر حرارتی و شاخص‌های پوشش گیاهی، اصول ترمودینامیک موجود در مدل‌های تعادل انرژی سطح را به منظور تخمین میزان تبخیر-تعرق سطحی، اجرا می‌کنند و سپس تخمین رطوبت خاک را بهبود می‌بخشند. بعضی از این روش‌ها برپایه همبستگی منفی بین دمای خاک و شاخص‌های گیاهی نظیر شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی^{۲۵} (NDVI)، به منظور تخمین رطوبت خاک، می‌باشند (Carlson و همکاران، ۱۹۹۵؛ Goward و همکاران، ۲۰۰۲). اگرچه مانند تمام تکنیک‌های نوری، این روش‌ها به دلیل توانایی محدود در نفوذ به ابرها و پوشش گیاهی و تضعیف توسط اتمسفر زمین محدود می‌شوند. علاوه بر این، آن‌ها اغلب به صورت تجربی هستند و بنابراین در طول زمان و انواع مختلف پوشش سطحی زمین، تغییر می‌کنند (Czajkowski و همکاران، ۲۰۰۰).

ریزمقیاس‌سازی رطوبت خاک

صحت بازیابی رطوبت خاک سطحی با استفاده از سنجش‌ازدور مایکروویو غیرفعال، بهینه می‌باشد اما به وسیله توان تفکیک‌پذیری مکانی کم، محدود می‌شود. ترکیب داده‌های رادیومتریک در وضوح مکانی کم با داده‌های موجود در وضوح مکانی بالاتر از سنسورهای دیگر، یک راه حل بالقوه به منظور تجزیه یا تفکیک پیکسل‌های بزرگ به پیکسل‌های کوچک می‌باشد. همچنین، اطلاعات اضافی فاکتورهای کنترل‌کننده رطوبت خاک، نظیر ویژگی‌های خاک، ویژگی‌های گیاهی، یا مشاهدات هواشناسی، می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند تا مشاهدات جمع‌آوری شده از وضوح پایین مایکروویو غیرفعال را با اعمال مدل‌های فیزیکی یا روابط تجربی مناسب، ریزمقیاس‌سازی کنند. بنابراین، در

طی چند دهه گذشته، روش و الگوریتم‌های مختلفی به منظور ریزمقیاس‌سازی مشاهدات مقیاس بزرگ مایکروویو غیرفعال با استفاده از مشاهدات وضوح بالا، پیشنهاد شده است (Merlin و همکاران، ۲۰۱۰؛ Piles و همکاران، ۲۰۱۶؛ Das و همکاران، ۲۰۱۸؛ He و همکاران، ۲۰۱۸؛ Ye و همکاران، ۲۰۱۹). دو روش کلی پرکاربرد و مناسب برای ریزمقیاس‌سازی رطوبت خاک شامل استفاده از الگوریتم‌های ریزمقیاس‌سازی ترکیبی غیرفعال و نوری^{۲۶} و الگوریتم‌های ریزمقیاس‌سازی ترکیبی غیرفعال و فعال^{۲۷} می‌باشند. در ادامه به شرح بیشتر این روش‌ها، بیان مزایا و معایب آن‌ها و همچنین نمونه‌های کاربردی الگوریتم‌های ریزمقیاس‌سازی ارائه شده توسط محققان پرداخته شده است.

۱) الگوریتم‌های ریزمقیاس‌سازی ترکیبی غیرفعال و نوری-حرارتی ارتباط بین دمای سطح خاک و پارامترهای گیاهی با رطوبت خاک (Nemani و همکاران، ۱۹۹۳)، پایه و اساس ریزمقیاس‌سازی نوری را فراهم می‌کند. مفهوم مثلث جهانی^{۲۸} که پارامترهای مرئی/مادون قرمز نظیر NDVI و دمای سطح خاک را به رطوبت خاک مربوط می‌کند، اولین بار توسط Carlson و همکاران (۱۹۹۴) و Moran و همکاران (۱۹۹۴) معرفی شد. حساسیت تغییر دمای سطحی در پاسخ به رطوبت خاک، بسته به شرایط سطحی (نوع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی و ...)، متفاوت خواهد بود. این ارتباط، یک مجموعه از نقاط پراکنده شاخص پوشش گیاهی-دمای سطحی در شکل یک مثلث (یا یک چهارضلعی در مواردی که لبه‌های تر و خشک از بیشترین مقدار شاخص گیاهی انتخابی عبور کنند) را تشکیل می‌دهد. به گونه‌ای که مرزهای این شکل شرایط خشک و تر را نشان می‌دهند. بعضی از محققان از مفهوم مثلث به عنوان روشی برای بهبود مقیاس مکانی رطوبت خاک مایکروویو غیرفعال، با استفاده از دمای سطح خاک و پارامترهای گیاهی استخراج شده از مشاهدات نوری در وضوح بالا، استفاده کردند (Piles و همکاران، ۲۰۱۱؛ Merlin و همکاران، ۲۰۱۳؛ Fang و همکاران، ۲۰۱۳). روش‌های ریزمقیاس‌سازی نوری، مشاهدات رادیومتریک با ویژگی صحت زیاد و مشاهدات نوری با ویژگی وضوح بالا را با یکدیگر ترکیب می‌کنند. با این حال، مشاهدات نوری در وضوح بالا، به دلیل تاثیر زیاد پوشش ابر و گیاه بر این مشاهدات، کاربرد محدودی دارند. به منظور مقایسه و درک بهتر روش ریزمقیاس‌سازی رطوبت خاک حاصل از ترکیب پارامترهای سنسورهای غیرفعال و نوری-حرارتی، نمونه‌های کاربردی الگوریتم‌های معرفی شده توسط محققان، داده‌های ورودی، شرح مختصری از روش‌های مورد استفاده در این الگوریتم‌ها و همچنین صحت آن‌ها در جدول (۱) آورده شده است. لازم به ذکر است که شرح کامل این الگوریتم‌ها، مفاهیم مفصلی دارد که با توجه به هدف این مقاله در اینجا ذکر نگردیده و در منابع ذکر شده موجود می‌باشند.

جدول ۱- صحت الگوریتم‌های ریزمقیاس‌سازی رطوبت خاک با استفاده از ترکیب پارامترهای ماهواره‌های غیرفعال و نوری-حرارتی

منبع	داده‌های ورودی الگوریتم	شرح روش-صحت ریزمقیاس‌سازی (RMSE ($m^3 m^{-3}$))
Merlin و همکاران (۲۰۰۸a)	داده‌های رادیومتریک باند L سنسور هوایرد Monsson ۹۰ PMBR داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک و NDVI	روش بر پایه جزء تبخیر - ۰/۰۳ روش بر پایه تبخیرتغرق واقعی- ۰/۰۲
Merlin و همکاران (۲۰۰۸b)	داده‌های رادیومتریک باند L سنسور هوایرد NAFE ۰۶ داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک و NDVI	روش رطوبت خاک یکنواخت - ۰/۰۱۷ روش رطوبت خاک غیریکنواخت - ۰/۰۱۵۳
Merlin و همکاران (۲۰۱۲)	داده‌های سطح ۲ رطوبت خاک SMOS داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک و NDVI	روش انجام شده در تابستان استرالیا - ۰/۰۵۷ روش انجام شده در زمستان استرالیا - ۰/۱۳۸
Merlin و همکاران (۲۰۱۳)	داده‌های سطح ۲ رطوبت خاک SMOS داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک و NDVI داده‌های سنجنده ASTER شامل دمای سطح خاک و NDVI داده‌های سنجنده Landsat شامل دمای سطح خاک و NDVI	رطوبت خاک ریزمقیاس شده به مقیاس مکانی ۳ کیلومتر بااستفاده از MODIS - ۰/۱۱ رطوبت خاک ریزمقیاس شده به مقیاس مکانی ۱۰۰ متر بااستفاده از ASTER - ۰/۰۸۱۵ رطوبت خاک ریزمقیاس شده به مقیاس مکانی ۱۰۰ متر بااستفاده از Landsat - ۰/۱
Djamai و همکاران (۲۰۱۵)	داده‌های سطح ۲ رطوبت خاک SMOS داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک و NDVI	مقایسه رطوبت خاک ریزمقیاس شده با داده‌های زمینی - ۰/۰۳
Fan و همکاران (۲۰۱۵)	داده‌های رطوبت خاک ۷۰۰ متر سیستم هوایرد PLMR داده‌های سنجنده ASTER شامل دمای سطح خاک و NDVI در مقیاس مکانی ۱۰۰ متر	۰/۰۴۸
Mallbeteau و همکاران (۲۰۱۶)	داده‌های رطوبت خاک سطح ۳ ماهواره AMSR-E داده‌های رطوبت خاک سطح ۳ ماهواره SMOS داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک و NDVI داده‌های DEM موجود در ۳۰gtopo	عبور ماهواره AMSR-E به صورت صعودی- ۰/۰۷۶ عبور ماهواره AMSR-E به صورت نزولی- ۰/۰۹۲ عبور ماهواره SMOS به صورت صعودی- ۰/۰۷۹ عبور ماهواره SMOS به صورت نزولی- ۰/۰۶۸
Djamai و همکاران (۲۰۱۶)	داده‌های رطوبت خاک سطح ۲ SMOS داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک و NDVI داده‌های ژئوفیزیکی OURANOS داده‌های اتمسفریک NARR	روش خطی-صعودی ماهواره - ۰/۰۶ روش خطی-نزولی ماهواره - ۰/۰۵ روش غیرخطی-صعودی ماهواره - ۰/۰۶ روش غیرخطی-نزولی ماهواره - ۰/۰۶
Chen و همکاران (۲۰۱۷)	داده‌های رطوبت خاک رادیومتر SMAP داده‌های انعکاس سطح خاک MODIS	روش NRSD در ماه May - ۰/۰۴ روش DisPATCH در ماه May - ۰/۰۷ روش NRSD در ماه September - ۰/۱۲ روش DisPATCH در ماه September - ۰/۱۷
Hogue و Kim (۲۰۱۲)	داده‌های رطوبت خاک سطح ۳ ماهواره AMSR-E داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک و NDVI	۰/۰۵۱

ادامه جدول ۱- صحت الگوریتم‌های ریزمقیاس‌سازی رطوبت خاک با استفاده از ترکیب پارامترهای ماهواره‌های غیرفعال و نوری-حرارتی

منبع	داده‌های ورودی الگوریتم	شرح روش-صحت ریزمقیاس‌سازی (RMSE ($m^3 m^{-3}$))
Zhou و همکاران (۲۰۱۵)	داده‌های رطوبت خاک سطح ۳ ماهواره AMSR۲ داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک و NDVI	روش (Merlin و همکاران، ۲۰۰۸) - ۰/۰۳۲ روش (Kim و Hogue، ۲۰۱۲) - ۰/۰۳۸
Peng و همکاران (۲۰۱۵)	داده‌های رطوبت خاک ESA CCI داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک و NDVI	روش استفاده از داده‌های MODIS - ۰/۰۷۶
Peng و همکاران (۲۰۱۶)	داده‌های MSG SEVIRI داده‌های رطوبت خاک ESA CCI داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک، EVI و NDVI	روش LST/NDVI - ۰/۰۹۹ روش LST/EVI - ۰/۱۰۳
Lakshmi و Fang (۲۰۱۴)	داده‌های رطوبت خاک ماهواره AMSR-E داده‌های رطوبت خاک سطح ۳ ماهواره SMOS داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک و NDVI	استفاده از داده‌های SMOS - ۰/۰۴۲ استفاده از داده‌های AMSR-E - ۰/۰۳۸۵
Mallick و همکاران (۲۰۰۹)	مجموعه داده‌های نوری سنجنده‌های MODIS و ASTER داده‌های رادیومتریک باند C ماهواره AMSR-E	پوشش گیاهی کم - ۰/۰۲۷ پوشش گیاهی زیاد - ۰/۰۰۶
Chauhan و همکاران (۲۰۰۳)	داده‌های رادیومتریک باند K سنجنده SSM/I داده‌های سنجنده AVHRR شامل دمای سطح خاک و NDVI	۰/۰۰۵
Hur و Choi (۲۰۱۲)	داده‌های رطوبت خاک ماهواره AMSR-E داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک، ضریب آلودگی و NDVI	۰/۰۱۲
Piles و همکاران (۲۰۱۱)	داده‌های سطح ۲ رطوبت خاک SMOS داده‌های سنجنده MODIS شامل دمای سطح خاک و NDVI	رطوبت خاک ریزمقیاس‌شده به مقیاس مکانی ۱ کیلومتر - ۰/۱۳ رطوبت خاک ریزمقیاس‌شده به مقیاس مکانی ۱۰ کیلومتر - ۰/۰۹
غفاری و همکاران (۱۳۹۹)	داده‌های رطوبت خاک رادیومتر SMAP داده‌های دمای سطح خاک MODIS داده‌های انعکاس سطح خاک MODIS داده‌های NDVI MODIS	رطوبت خاک ریزمقیاس‌شده به مقیاس مکانی ۱ کیلومتر - ۰/۰۳
متکان و همکاران (۱۳۹۷)	داده‌های رطوبت خاک ESA CCI داده‌های ماهواره NOAA شامل دمای سطح خاک، NDVI و آلودگی	منطقه مطالعاتی استرالیا - ۰/۰۴۹ منطقه مطالعاتی اول پارس آباد مغان ایران - ۰/۰۷۳ منطقه مطالعاتی دوم پارس آباد مغان ایران - ۰/۰۵۵

۲) الگوریتم‌های ریزمقیاس‌سازی ترکیبی غیرفعال و فعال

به دلیل کمبودهای موجود در روش‌های نوری، روش‌های ریزمقیاس‌سازی بازتابی رطوبت خاک از طریق ترکیب مشاهدات فعال (رادار) و غیرفعال (رادیومتر) در حال توسعه هستند، و این تکنیک، پایه مأموریت ماهواره SMAP را شکل می‌دهد (Das و همکاران، ۲۰۱۱). هدف اصلی این ماهواره، فراهم کردن رطوبت خاک ریزمقیاس‌شده در توان تفکیک‌پذیری مکانی ۹ کیلومتر، از طریق ترکیب داده‌های رادار در مقیاس ۳

کیلومتر با مشاهدات رادیومتر در مقیاس ۳۶ کیلومتر می‌باشد. ترکیب مشاهدات مایکروویو فعال و غیرفعال، یک روش ارجح برای ریزمقیاس‌سازی می‌باشد، زیرا هر دو سنسورها به تغییر در ویژگی‌های دی‌الکتریک خاک پاسخ می‌دهند. مشابه جدول (۱)، جدول (۲) نمونه‌های کاربردی الگوریتم‌های ریزمقیاس‌سازی ترکیبی غیرفعال و فعال معرفی شده توسط محققان، داده‌های ورودی، شرح مختصری از روش‌های مورد استفاده در این الگوریتم‌ها و همچنین صحت آنها را نشان می‌دهد.

جدول ۲- صحت الگوریتم‌های ریزمقیاس‌سازی رطوبت خاک با استفاده از ترکیب پارامترهای ماهواره‌های غیرفعال و فعال

منبع	داده‌های ورودی الگوریتم	شرح روش-صحت ریزمقیاس‌سازی (RMSE (m ³ m ⁻³))
Chauhan و O'Neill (۱۹۹۲)	داده‌های باند L رادار هوابرد AIRSAR داده‌های باند L رادیومتر هوابرد PBMR	۰/۰۲۹
Narayan و همکاران (۲۰۰۶)	داده‌های باند L رادیومتر هوابرد ۰۲ SMEX PALS داده‌های باند L رادار هوابرد ۰۲ SMEX AIRSAR	استفاده از کل داده‌ها- ۰/۰۴۶ پس از حذف داده‌های پرت- ۰/۰۲۸
Lakshmi و Narayan (۲۰۰۸)	داده‌های باند C رادیومتر AMSR-E داده‌های دمای روشنایی باند X سنسور TMI داده‌های پس‌پراکندگی باند Ku سنسور TRMM-PR	روش ترکیب AMSR-E و TRMM-PR- ۰/۰۵۲ روش ترکیب TMI و TRMM-PR- ۰/۰۴۹
Barros و Bindlish (۲۰۰۲)	داده‌های باند L رادیومتر یک ESTAR داده‌های باند X، C و L سنسورهای SIR-C/X-SAR	۰/۰۲۸
Xiwu و همکاران (۲۰۰۶)	مجموعه داده‌های باند L سنسور آزمایشی OSSE	رطوبت خاک ریزمقیاس شده به مقیاس مکانی ۳ کیلومتر: (داده‌ها با نویز کم) - ۰/۰۲۸ و (داده‌ها با نویز زیاد) - ۰/۰۳۸ رطوبت خاک ریزمقیاس شده به مقیاس مکانی ۹ کیلومتر: (داده‌ها با نویز کم) - ۰/۰۲۷ و (داده‌ها با نویز زیاد) - ۰/۰۴۶
Wu و همکاران (۲۰۱۷)	مشاهدات باند L سنسورهای PLIS و PLMR سایت آزمایشی ۳-SMAPEX	رطوبت خاک ریزمقیاس شده به مقیاس مکانی ۱ کیلومتر - ۰/۰۲ رطوبت خاک ریزمقیاس شده به مقیاس مکانی ۳ کیلومتر - ۰/۰۱۷ رطوبت خاک ریزمقیاس شده به مقیاس مکانی ۹ کیلومتر - ۰/۰۱۳
Das و همکاران (۲۰۱۱)	داده‌های باند L رادیومتر هوابرد ۰۲ SMEX PALS مجموعه داده‌های باند L سنسور آزمایشی OSSE	پلاریزیشن افقی - ۰/۰۲۷ پلاریزیشن عمودی - ۰/۰۲۳
Das و همکاران (۲۰۱۴): Akbar و Moghaddam (۲۰۱۵)	داده‌های باند L رادیومتر هوابرد ۰۲ SMEX PALS داده‌های ComRad	داده‌ها با نویز کم - ۰/۰۳۹ داده‌ها با نویز زیاد - ۰/۰۴۷
Velde و همکاران (۲۰۱۵)	داده‌های رطوبت خاک باند C ماهواره AMSR-E داده‌های پس‌پراکندگی رادار باند L سنسور PALSAR	رطوبت خاک ریزمقیاس شده به مقیاس مکانی ۱ کیلومتر - ۰/۰۶۷ رطوبت خاک ریزمقیاس شده به مقیاس مکانی ۵ کیلومتر - ۰/۰۶۸ رطوبت خاک ریزمقیاس شده به مقیاس مکانی ۱۰ کیلومتر - ۰/۰۶۹
Rudiger و همکاران (۲۰۱۶)	مشاهدات هوابرد PLMR باند L سایت آزمایشی AACES داده‌های رادار باند C سنسور ASAR	۰/۰۶-۰/۱۲
کرمی و همکاران (۱۳۹۹)	داده‌های رطوبت خاک باند L ماهواره SMAP داده‌های پس‌پراکندگی رادار باند C ماهواره Sentinel-۱	۰/۰۴۳

بحث و نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از روش‌های سنجش از دور می‌تواند منجر به تهیه نقشه‌های جهانی رطوبت خاک در مقیاس زمانی مناسب باشد. مقاله حاضر به جمع‌بندی و معرفی کامل سه روش اصلی سنجش از دور رطوبت خاک و دو روش کلی پرکاربرد و مناسب

در اختیار داشتن نقشه‌های جهانی رطوبت خاک به دلیل کارایی آنها در علوم و توانایی در سودرسانی به جامعه بشری، ضروری هستند.

برای ریزمقیاس سازی رطوبت خاک، شامل استفاده از الگوریتم های ریزمقیاس سازی ترکیبی غیرفعال و نوری و الگوریتم های ریزمقیاس سازی ترکیبی غیرفعال و فعال می باشند، پرداخته است. در چند دهه گذشته، سنجش از دور مایکروویو غیرفعال به عنوان دقیق ترین روش سنجش از دور رطوبت خاک به دلیل توانایی ثبت داده در هر شرایط آب و هوایی، ارتباط مستقیم و قوی بین دمای روشنایی و رطوبت خاک نزدیک به سطح (تقریباً ۵ سانتی متر) و کاهش اثرات اتمسفر، پوشش گیاهی و زبری سطح، به صورت گسترده ای نسبت به سنجش از دور مایکروویو فعال (مشاهدات پس پراکندگی رادار) یا سنجش از دور حرارتی (مشاهدات دمای سطحی)، پذیرش شده است (Ulaby و همکاران، ۱۹۸۱؛ Kerr، ۲۰۰۷؛ Liu و همکاران، ۲۰۱۱). بهترین نتایج حاصل از سنجش از دور مایکروویو غیرفعال را در فرانکس کم (تقریباً ۱/۴ گیگاهرتز) به دلیل کاهش اثرات ناشی از اتمسفر، زبری سطح، پوشش گیاهی، افزایش عمق نفوذ (بیشتر از ۵ سانتی متر) می توان یافت. با وجود حساسیت زیاد روش رادیومتر مایکروویو غیرفعال به اندازه گیری رطوبت خاک سطحی زمین، این روش به دلیل بزرگ بودن مقیاس مکانی (در حدود ۳۶ کیلومتر)، برای کاربردهای منطقه ای نظیر پیش بینی بارندگی و تخمین سیلاب، مدل های هیدرولوژی و کاربردهای مرتبط با کشاورزی و هواشناسی که نیازمند مقیاس مکانی کوچک تر از ۱۰ کیلومتر هستند، محدودیت دارد (Leese و همکاران، ۲۰۰۱؛ Colliander و همکاران، ۲۰۱۷). دسترسی به مقیاس مکانی کوچک رطوبت خاک به ویژه در کاربردهای هواشناسی مانند پیش بینی بارندگی و برنامه های کاربردی در علوم هیدرولوژی و جوی، دارای اهمیت می باشد (Das و همکاران، ۲۰۱۱).

به منظور ریزمقیاس سازی داده های رادیومتر مایکروویو در مقیاس کوچک تر، الگوریتم های ریزمقیاس سازی که از داده های فرعی ماهواره ها، داده های راداری یا مشاهدات حرارتی/نوری استفاده می کنند، معرفی و توسعه یافته اند (Jian و همکاران، ۲۰۱۷). لازم به ذکر است، الگوریتم های ریزمقیاس سازی هر کدام به نوبه خود مزایا و معایبی دارند. تکنیک های ریزمقیاس سازی که برپایه داده های رادار عمل می کنند، توانایی ثبت داده در تمامی شرایط آب و هوایی را دارند. همچنین استفاده از این تکنیک ها مستقل از نیاز به اطلاعات هواشناسی و اطلاعات سطح زمین می باشد. از سوی دیگر، داده های رادار نسبت به مشاهدات سنسورهای نوری حساسیت بهتری به رطوبت خاک نشان می دهند. اما عدم توانایی ثبت داده های رادار و رادیومتر بر روی یک سنسور مشترک به طور همزمان و در تکرار زمانی یکسان، به عنوان ضعف اصلی تکنیک های ریزمقیاس سازی برپایه داده های رادار محسوب می شود. از سوی دیگر، پوشش زمانی کم از تصاویر راداری نیز منجر به کاهش دسترسی به این داده ها خواهد شد. همچنین قابل توجه است که مشاهدات مایکروویو فعال نسبت به پوشش های گیاهی و زبری سطح حساسیت زیادی از خود نشان می دهند. این امر می تواند دقت ریزمقیاس سازی را

تحت تاثیر قرار دهد. تکنیک های ریزمقیاس سازی که برپایه داده های سنسورهای نوری عمل می کنند، از مزیت برتر وضوح مکانی و زمانی بالای مشاهدات نوری بهره مند هستند. اما ضعف اصلی استفاده از مشاهدات ماهواره های نوری، عدم دسترسی به داده ها در شرایط آسمان ابری می باشد. همچنین تأثیر پوشش گیاهی بر مشاهدات نوری، ارتباط این مشاهدات با رطوبت خاک را دشوار می کند. از سوی دیگر، مشاهدات نوری با تغییرات رطوبت خاک به طور غیرمستقیم رابطه برقرار می کند. اما به طور کلی، می توان گفت هر دو این تکنیک ها می توانند به بازیابی رطوبت خاک از مقیاس مکانی بزرگ به مقیاس مکانی کوچک و با دقت مناسب، با استفاده از مشاهدات ماهواره ها بپردازند.

تقدیر و تشکر

مقاله حاضر بخشی از پایان نامه دکتری الهه غفاری انجام شده در دانشگاه فردوسی مشهد می باشد. بدین وسیله از دکتر کامران داوری به عنوان استاد راهنمای پایان نامه تقدیر و تشکر می شود. طبق آیین نامه نشریات و چاپ مقاله، نام ایشان به دلیل عضویت در هیئت تحریریه نشریه با تأیید و نظر مساعد ایشان از عنوان نویسندگان مقاله حذف شده است.

پی نوشت ها

- 1-Low-Earth orbit platforms
- 2-Frequent revisit time
- 3-Passive microwave remote sensing techniques
- 4-soil emissivity
- 5-Microwave emission
- 6-surface emissivity
- 7-Brightness temperature
- 8-Microwave radiative transfer models
- 9-Soil Moisture Ocean and Salinity (SMOS)
- 10-Soil Moisture Active Passive (SMAP)
- 11-Advanced Microwave Scanning Radiometer for Earth Observing System (AMSR-E)
- 12-Special Sensor Microwave Imager (SSM/I)
- 13-European Space Agency (ESA)
- 14-polarization
- 15-Active microwave remote sensing techniques
- 16-Synthetic Aperture Radar (SAR)
- 17-Scatterometer
- 18-Backscatter
- 19-Earth Remote Sensing (ERS-1, ERS-2)
- 20-Real aperture

- moisture estimation at high resolution: a microwave-optical/IR synergistic approach. *International Journal of Remote Sensing*, 24: 4599-4622.
- Chehbouni A., Nouvellon Y., Kerr Y.H., Moran M.S., Watts C.J., Prévot L., Goodrich D. and Rambal S. 2001. Directional effect on radiative surface temperature measurements over a semiarid grassland site. *Remote Sensing of Environment*, 76: 360-372.
- Chen N., He Y. and Zhang X. 2017. NIR-Red Spectra-Based Disaggregation of SMAP Soil Moisture to 250 m Resolution Based on OzNet in Southeastern Australia. *Remote Sensing*, 9(4): 1-21.
- Choi M. and Hur Y. 2012. A microwave-optical/infrared disaggregation for improving spatial representation of soil moisture using AMSR-E and MODIS products. *Remote Sensing of Environment*, 124: 259-269.
- Colliander A., Jackson T.J., Bindlish R., Chan S., Das N., Kim S.B., Cosh M.H., Dunbar R.S., Dang L., Pashaian L., Asanuma J., Aida K., Berg A., Rowlandson T., Bosch D., Caldwell T., Caylor K., Goodrich D., al Jassar H., Lopez-Baeza E., Martínez-Fernández J., González-Zamora A., Livingston S., McNairn H., Pacheco A., Moghaddam M., Montzka C., Notarnicola C., Niedrist G., Pellarin T., Prueger J., Pulliainen J., Rautiainen K., Ramos J., Seyfried M., Starks P., Su Z., Zeng Y., van der Velde R., Thibeault M., Dorigo W., Vreugdenhil M., Walker J.P., Wu X., Monerris A., O'Neill P.E., Entekhabi D., Njoku E.G. and Yueh S. 2017. Validation of SMAP surface soil moisture products with core validation sites. *Remote Sensing of Environment*, 191: 215-231.
- Czajkowski K.P., Goward S.N., Stadler S.J. and Walz A. 2000. Thermal Remote Sensing of Near Surface Environmental Variables: Application Over the Oklahoma Mesonet. *The Professional Geographer*, 52: 345-357.
- Das N., Entekhabi D. and Njoku E. 2011. An Algorithm for Merging SMAP Radiometer and Radar Data for High-Resolution Soil-Moisture Retrieval. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(5): 1504 - 1512
- Das N.N., Entekhabi D., Njoku E.G., Shi J.J.C., Johnson J.T. and Colliander A. 2014. Tests of the SMAP Combined Radar and Radiometer Algorithm Using Airborne Field Campaign Observations and Simulated Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52: 2018-2028.
- Das N.N., Entekhabi D., Dunbar R.S., Colliander A., Chen F., Crow W., Jackson T.J., Berg A., Bosch D.D., Caldwell T., Cosh M.H., Collins C.H., Lopez-Baeza E., Moghaddam M., Njoku E.G., O'Neill P.E., Prueger J., Pulliainen J., Rautiainen K., Ramos J., Seyfried M., Starks P., Su Z., Zeng Y., van der Velde R., Thibeault M., Dorigo W., Vreugdenhil M., Walker J.P., Wu X., Monerris A., Entekhabi D., Njoku E.G. and Yueh S. 2017. Validation of SMAP surface soil moisture products with core validation sites. *Remote Sensing of Environment*, 191: 215-231.
- 21-NASA SCATterometer (NSCAT)
- 22-Advanced SCATterometer (ASCAT)
- 23-ESA meteorological operational satellite (MetOp-A ESA)
- 24-Optical and Thermal remote sensing techniques
- 25-Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- 26-Optical and passive downscaling approaches
- 27-Active and passive downscaling algorithms
- 28-Global Triangle concept

منابع

- غفاری، ا.، داوری، ک. و فریدحسینی، ع. ۱۳۹۹. توسعه الگوریتم های بهبود یافته برای ریزمقیاس سازی رطوبت خاک سطحی ماهواره SMAP با استفاده از داده ماهواره های نوری/حرارتی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۲): ۶۶۰-۶۵۰.
- کرمی، ا.، مرادی، ح. و موسیوند، ع. ۱۳۹۹. بهبود وضوح مکانی داده های رطوبت خاک ماهواره SMAP با روش تلفیق رادار-مایکروویو در آبخیز فیروزآباد اردبیل. نشریه پژوهش های آبخیزداری. اصلاح شده برای چاپ. متکان، ع.، عاشورلو، د.، عقیقی، ح. و گل صفتان، غ. ۱۳۹۷. ریزمقیاس سازی داده رطوبت ESA با استفاده از تصاویر ماهواره NOAA. فصلنامه انجمن جغرافیای ایران، ۱۶(۵۷): ۱۵۷-۱۴۳.
- Akbar R. and Moghaddam M. 2015. A Combined Active-Passive Soil Moisture Estimation Algorithm With Adaptive Regularization in Support of SMAP. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53: 3312-3324.
- Bindlish R. and Barros A.P. 2002. Subpixel variability of remotely sensed soil moisture: an inter-comparison study of SAR and ESTAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40: 326-337.
- Cable J., Kovacs J., Shang J. and Jiao X. 2014. Multi-Temporal Polarimetric RADARSAT-2 for Land Cover Monitoring in Northeastern Ontario, Canada. *Remote Sensing*, 6: 2372-2392.
- Carlson T.N., Gillies R.R. and Perry E.M. 1994. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover. *Remote Sensing Reviews*, 9: 161-173.
- Carlson, T.N., Gillies R.R. and Schmugge T.J. 1995. An interpretation of methodologies for indirect measurement of soil water content. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77: 191-205.
- Carreiras, J.M.B., Vasconcelos, M.J. and Lucas, R.M. 2012. Understanding the relationship between aboveground biomass and ALOS PALSAR data in the forests of Guinea-Bissau (West Africa). *Remote Sensing of Environment*, 121: 426-442.
- Chauhan N.S., Miller S. and Ardanuy P. 2003. Spaceborne soil

- Ground Observations. *Remote Sensing*, 7(10): 13273-13297.
- Fang B., Lakshmi V., Bindlish R., Jackson T.J., Cosh M. and Basara J. 2013. Passive Microwave Soil Moisture Downscaling Using Vegetation Index and Skin Surface Temperature. *Vadose Zone Journal*, 12(4): 1-20.
- Fang B. and Lakshmi V. 2014. Soil moisture at watershed scale: Remote sensing techniques. *Journal of Hydrology*, 516: 258-272.
- Friedl M.A. and Davis F.W. 1994. Sources of variation in radiometric surface temperature over a tallgrass prairie. *Remote Sensing of Environment*, 48: 1-17.
- Goward S.N., Xue Y. and Czajkowski K.P. 2002. Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurements: An exploration with the simplified simple biosphere model. *Remote Sensing of Environment*, 79: 225-242.
- Hain C.R., Crow W.T., Mecikalski J.R., Anderson M.C. and Holmes T. 2011. An intercomparison of available soil moisture estimates from thermal infrared and passive microwave remote sensing and land surface modeling. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116, D15107: 1-18.
- He L., Hong Y., Wu X., Ye N., Walker J.P. and Chen X. 2018. Investigation of SMAP Active-Passive Downscaling Algorithms Using Combined Sentinel-1 SAR and SMAP Radiometer Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56: 4906-4918.
- Jackson T.J., Vine D.M.L., Hsu A.Y., Oldak A., Starks P.J., Swift C.T., Isham J.D. and Haken M. 1999. Soil moisture mapping at regional scales using microwave radiometry: the Southern Great Plains Hydrology Experiment. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37: 2136-2151.
- Jackson T.J., Hsu A.Y. and O'Neill P.E. 2002. Surface Soil Moisture Retrieval and Mapping Using High-Frequency Microwave Satellite Observations in the Southern Great Plains. *Journal of Hydrometeorology*, 3: 688-699.
- Jackson T.J., Vine D.M.L., Schiebe F.R. and Schmugge T.J. 1993. Large area mapping of soil moisture using passive microwave radiometry in the Washita'92 experiment. In, *Proceedings of IGARSS '93 - IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1003: 1009-1012.
- Jian P., Alexander L., Olivier M. and V.N.E C. 2017. A review of spatial downscaling of satellite remotely sensed soil moisture. *Reviews of Geophysics*, 55: 341-366.
- Kerr Y. 2007. Soil moisture from Space: Where are we? *Hydrogeology Journal*, 15: 117-120.
- am M., Rowlandson T., Starks P.J., Thibeault M., Walker J.P., Wu X., O'Neill P.E., Yueh S. and Njoku E.G. 2018. The SMAP mission combined active-passive soil moisture product at 9 km and 3 km spatial resolutions. *Remote Sensing of Environment*, 211: 204-217.
- Desnos Y.L., Buck C., Guizarro J., Levrini G., Suchail J.-L., Torres R., Laur H., Closa J. and Rosich B. 2000. The ENVISAT advanced synthetic aperture radar system. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3: 91-100.
- Djamai N., Magagi R., Goita K., Merlin O., Kerr Y. and Roy A. 2016. A combination of DISPATCH downscaling algorithm with CLASS land surface scheme for soil moisture estimation at fine scale during cloudy days. *Remote Sensing of Environment*, 184: 1-14.
- Djamai N., Magagi R., Goita K., Merlin O., Kerr Y. and Walker A. 2015. Disaggregation of SMOS soil moisture over the Canadian Prairies. *Remote Sensing of Environment*, 170: 255-268.
- Dubois P.C., Zyl J.v. and Engman T. 1995. Measuring soil moisture with imaging radars. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33: 915-926.
- Entekhabi D., Asrar G.R., Betts A.K., Beven K.J., Bras R.L., Duffy C.J., Dunne T., Koster R.D., Lettenmaier D.P., McLaughlin D.B., Shuttleworth W.J., Genuchten M.T.v., Wei M.-Y. and Wood E.F. 1999. An Agenda for Land Surface Hydrology Research and a Call for the Second International Hydrological Decade. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80: 2043-2058.
- Entekhabi D., G. Njoku E., E. O'Neill P., Kellogg K.H., Crow W., Edelstein W.N., Entin J., D. Goodman S., J. Jackson T., Johnson J., Kimball J., Piepmeier J., D. Koster R., Martin N., McDonald K., Moghaddam M., Moran S., Reichle R., Shi J. and van Zyl J. 2010. The Soil Moisture Active and Passive (SMAP) mission. *Proceedings of the IEEE*, 98(5): 704-716.
- Covello F., Battazza F., Coletta A., Lopinto E., Fiorentino C., Pietranera L., Valentini G. and Zoffoli S. 2010. COSMO-SkyMed an existing opportunity for observing the Earth. *Journal of Geodynamics*, 49: 171-180.
- Falloon P., Jones C.D., Ades M. and Paul K. 2011. Direct soil moisture controls of future global soil carbon changes: An important source of uncertainty. *Global Biogeochemical Cycles*, 25(3): 1-14.
- Fan L., Xiao Q., Wen J., Liu Q., Jin R., You D and Li X. 2015. Mapping High-Resolution Soil Moisture over Heterogeneous Cropland Using Multi-Resource Remote Sensing and

- Southeastern Australia. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50: 1556-1571.
- Merlin O., Escorihuela M.J., Mayoral M.A., Hagolle O., Al Bitar A. and Kerr, Y. 2013. Self-calibrated evaporation-based disaggregation of SMOS soil moisture: An evaluation study at 3km and 100m resolution in Catalunya, Spain. *Remote Sensing of Environment*, 130: 25-38.
- Moran M.S., Clarke T.R., Inoue Y. and Vidal A. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 49: 246-263.
- Muller E. and Décamps H. 2001. Modeling soil moisture-reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 76:173-180.
- Musick H.B. and Pelletier R.E. 1988. Response to soil moisture of spectral indexes derived from bidirectional reflectance in thematic mapper wavebands. *Remote Sensing of Environment*, 25: 167-184.
- Narayan U., Lakshmi V. and Jackson, T.J. 2006. High-resolution change estimation of soil moisture using L-band radiometer and Radar observations made during the SMEX02 experiments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44: 1545-1554.
- Narayan U. and Lakshmi V. 2008 . Characterizing subpixel variability of low resolution radiometer derived soil moisture using high resolution radar data. *Water Resources Research*, 44(6): 1-11.
- Nemani R., Pierce L., Running S. and Goward, S. 1993. Developing Satellite-derived Estimates of Surface Moisture Status. *Journal of Applied Meteorology*, 32: 548-557.
- Njoku E.G., Wilson W.J., Yueh S.H., Dinardo S.J., Li F.K., Jackson T.J., Lakshmi V. and Bolten J. 2002. Observations of soil moisture using a passive and active low-frequency microwave airborne sensor during SGP99. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40: 2659-2673.
- Njoku E.G., Jackson T.J., Lakshmi V., Chan T.K. and Nghiem S.V. 2003. Soil moisture retrieval from AMSR-E. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41: 215-229.
- Nolin M., Bernier M. Perron I. 2012. Digital Mapping of Soil Drainage Classes Using Multitemporal RADARSAT-1 and ASTER Images and Soil Survey Data. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012: 1-18.
- ONEili P. and Chauhan N. 1992. Synergistic Use Of Active And Passive Microwave In Soil Moisture Estimation. In, [Proceedings] IGARSS '92 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 492-494.
- Kerr Y.H., Waldteufel P., Richaume P., Wigneron J.P., Ferrazzoli P., Mahmoodi A., Bitar A.A., Cabot F., Gruhier C., Juglea S.E., Leroux D., Mialon A. and Delwart S. 2012. The SMOS Soil Moisture Retrieval Algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50: 1384-1403.
- Kim J. and Hogue T.S. 2012. Improving Spatial Soil Moisture Representation Through Integration of AMSR-E and MODIS Products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50: 446-460.
- Leese J., Jackson T., Pitman A. and Dirmeyer P. 2001. Meeting summary: GEWEX/BAHC International Workshop on Soil Moisture Monitoring, Analysis, and Prediction for Hydrometeorological and Hydroclimatological Applications.
- Liu Y.Y., Parinussa R., A. Dorigo W., de Jeu R., Wagner W., van Dijk A., McCabe M. and Evans J. 2011. Developing an improved soil moisture dataset by blending passive and active microwave satellite-based retrievals. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(2): 425-436.
- Malbêteau Y., Merlin O., Molero B., Rüdiger C. and Bacon S. 2016. DisPATCH as a tool to evaluate coarse-scale remotely sensed soil moisture using localized in situ measurements: Application to SMOS and AMSR-E data in Southeastern Australia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 45: 221-234.
- Mallick K., Bhattacharya B.K. and Patel N.K. 2009. Estimating volumetric surface moisture content for cropped soils using a soil wetness index based on surface temperature and NDVI. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149:1327-1342.
- McColl K.A., Alemohammad S.H., Akbar R., Konings A.G., Yueh S. and Entekhabi D. 2017. The global distribution and dynamics of surface soil moisture. *Nature Geoscience*, 10: 100-104.
- Merlin O., Chehbouni A., Walker J.P., Panciera R. and Kerr Y.H. 2008a. A Simple Method to Disaggregate Passive Microwave-Based Soil Moisture. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46: 786-796.
- Merlin O., Walker J.P., Chehbouni A. and Kerr Y. 2008b. Towards deterministic downscaling of SMOS soil moisture using MODIS derived soil evaporative efficiency. *Remote Sensing of Environment*, 112: 3935-3946.
- Merlin O., Al Bitar A., Walker J.P. and Kerr Y. 2010. An improved algorithm for disaggregating microwave-derived soil moisture based on red, near-infrared and thermal-infrared data. *Remote Sensing of Environment*, 114: 2305-2316.
- Merlin O., Rudiger C., Bitar A.A., Richaume P., Walker J.P. and Kerr Y.H. 2012. Disaggregation of SMOS Soil Moisture in

- Seneviratne S.I., Corti T., Davin E.L., Hirschi M., Jaeger E.B., Lehner I., Orlowsky B. and Teuling, A.J. 2010. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99: 125-161.
- Shimada M., Isoguchi O., Tadono T., & Isono K. 2009. PAL-SAR Radiometric and Geometric Calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47: 3915-3932.
- Ulaby, F.T., Moore, R.K., & Fung, A.K. 1981. *Microwave Remote Sensing: Active and Passive*. Artech House.
- Velde R.v.d., Salama M.S., Eweys O.A., Wen J., & Wang Q. (2015). Soil Moisture Mapping Using Combined Active/Passive Microwave Observations Over the East of the Netherlands. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8: 4355-4372.
- Wagner W., Blöschl, G., Pampaloni P., Calvet J.-C., Bizzarri B., Wigneron J.-P., & Kerr Y. 2007. Operational readiness of microwave remote sensing of soil moisture for hydrologic applications. *Hydrology Research*, 38: 1-20.
- Wagner W., Scipal K., Pathe C., Gerten D., Lucht W., & Rudolf B. 2003. Evaluation of the agreement between the first global remotely sensed soil moisture data with model and precipitation data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108.
- Werninghaus R. 2004. TerraSAR-X mission. SPIE.
- Wu X., Walker J.P., Rüdiger C., Panciera R., & Gao Y. 2017. Medium-Resolution Soil Moisture Retrieval Using the Bayesian Merging Method. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55: 6482-6493.
- Xiwu Z., Houser P.R., Walker J.P., & Crow W.T. 2006. A method for retrieving high-resolution surface soil moisture from hydros L-band radiometer and Radar observations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44: 1534-1544.
- Ye N., Walker J.P., Bindlish R., Chaubell J., Das N.N., Gevaert A.I., Jackson T.J., & Rüdiger C. 2019. Evaluation of SMAP downscaled brightness temperature using SMAPEX-4/5 airborne observations. *Remote Sensing of Environment*, 221: 363-372.
- Zhang Y., & Wegehenkel M. 2006. Integration of MODIS data into a simple model for the spatial distributed simulation of soil water content and evapotranspiration. *Remote Sensing of Environment*, 104: 393-408.
- Zhou Z., Zhao S., Chen Z., & Jiang L. 2015. Comparison of different downscaling methods of soil moisture in Luan he Watershed. In, 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) (pp. 1980-1983).
- Owe M., Jeu R.d. and Walker J. 2001. A methodology for surface soil moisture and vegetation optical depth retrieval using the microwave polarization difference index. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39: 1643-1654.
- Paloscia S., Macelloni G., Santi E. and Koike T. 2001. A multi-frequency algorithm for the retrieval of soil moisture on a large scale using microwave data from SMMR and SSM/I satellites. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39: 1655-1661.
- Panciera R., Walker J., Kalma J., Kim E., Saleh K. and Wigneron J.-P. 2009. Evaluation of the SMOS L-MEB passive microwave soil moisture retrieval algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 113: 435-444.
- Peng J., Niesel J. and Loew A. 2015. Evaluation of soil moisture downscaling using a simple thermal-based proxy – the REMEDHUS network (Spain) example. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19: 4765-4782.
- Peng J., Loew A., Zhang S., Wang J. and Niesel J. 2016. Spatial Downscaling of Satellite Soil Moisture Data Using a Vegetation Temperature Condition Index. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54: 558-566.
- Piles M., Camps A., Vall-llossera M., Corbella I., Panciera R., Rüdiger C., H. Kerr Y. and Walker J. 2011. Downscaling SMOS-derived soil moisture using MODIS Visible/Infrared data. 49(9): 3156-3166.
- Piles M., Petropoulos G.P., Sánchez N., González-Zamora Á. and Ireland G. 2016. Towards improved spatio-temporal resolution soil moisture retrievals from the synergy of SMOS and MSG SEVIRI spaceborne observations. *Remote Sensing of Environment*, 180: 403-417.
- Pu R., Ge S., Kelly N.M. and Gong P. 2003. Spectral absorption features as indicators of water status in coast live oak (*Quercus agrifolia*) leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 24: 1799-1810.
- Rüdiger C., Calvet J.-C., Gruhier C., Holmes T., de Jeu R. and Wagner W. 2009. An Intercomparison of ERS-Scat and AMSR-E Soil Moisture Observations with Model Simulations over France. *Journal of Hydrometeorology*, 10.
- Rüdiger C., Su C., Ryu D. and Wagner W. 2016. Disaggregation of Low-Resolution L-Band Radiometry Using C-Band Radar Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 13: 1425-1429.
- Schmugge T., Gloersen P., Wilheit T. and Geiger, F. 1974. Remote sensing of soil moisture with microwave radiometers. *Journal of Geophysical Research* (1896-1977), 79: 317-323.

Article Type: Applied

نوع مقاله: کاربردی

Laboratory Study of the Deflector Effect of Flow Pattern on Water Retention and Debris Retention Efficiency

E. Rostamzadeh^{1*}, M.M. Ahmadi², M. Rahimpour²

1, 2- MSc student of Water Structures and Associate Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

*(Corresponding Author Email: Rostamzadeh_Elham@agr.uk.ac.ir)

Received: 21-07-2020

Accepted: 10-10-2020

بررسی آزمایشگاهی تأثیر منحرف کننده الگوی جریان بر پسزدگی آب و راندمان نگهداشت واریزه

الهام رستمزاده^{۱*}، محمدمهدی احمدی^۲، مجید رحیمپور^۲

۱، ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی و دانشیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: Rostamzadeh_elham@agr.uk.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۱۹

Abstract

Accumulation of debris along with water flow in waterways causes irreparable problems every year. Structural methods are one of the most effective ways to reduce the risks of debris flow. In this study, the efficiency of the debris structure was investigated using flow pattern deflectors to increase the deposition retention efficiency and its effect on backwater and rapid collection of wood debris after the flood. To do this research, three different geometries of the rack, a debris mixture and three flow deflector sizes were used in the laboratory. According to the results, the best performance of the rack, despite the flow deflectors was related to the regular linear descaler with 97% efficiency and backwater was completely affected by the flow Froude Number. The V-shaped reverse rack had the lowest backwater rate of 2.55%, that is not significant. In this study, the length of the debris carpet and the maximum height of the middle mound produced for the rack geometry were investigated. The results showed that the deflector installation led to a change in the geometry of the deposited accumulation which also accelerates the debris collection operation after the flood.

Keywords: Rack, Water Structures, Flood, River Engineering.

چکیده

تجمع واریزه ها همراه جریان آب در آبراهه ها، سالانه مشکلات جبران ناپذیری ایجاد می کند. روش های سازه ای یکی از موثرترین شیوه ها برای کاهش خطرات ناشی از جریان واریزه ای، می باشد. در این تحقیق کارایی سازه آشغال گیر با استفاده از منحرف کننده های الگوی جریان برای افزایش راندمان نگهداشت واریزه و تأثیر آن بر پسزدگی آب و جمع آوری سریع واریزه های چوبی بعد از سیل بررسی شد. برای انجام این تحقیق از سه هندسه مختلف آشغال گیر، یک مخلوط واریزه ای و سه سایز منحرف کننده جریان به صورت آزمایشگاهی بهره گرفته شد. براساس نتایج به دست آمده بهترین عملکرد آشغال گیر با وجود منحرف کننده های جریان، مربوط به آشغال گیر خطی منظم با راندمان ۹۷٪ بوده و پسزدگی آب کاملاً تحت تأثیر عدد فرود جریان بود. آشغال گیر معکوس V شکل، کمترین میزان پسزدگی با مقدار ۲/۵۵٪ داشت، که قابل توجه نیست. در این پژوهش طول فرش واریزه ای و بیشترین ارتفاع کپه تولید شده میانی برای هندسه آشغال گیر بررسی شد، نتایج نشان داد نصب منحرف کننده منجر به تغییر هندسه تجمع واریزه شده به نحوی که عملیات جمع آوری واریزه بعد از سیل، تسهیل خواهد شد.

واژه های کلیدی: آشغال گیر، سازه های آبی، سیلاب، مهندسی رودخانه.

آسیب‌های ناشی از واریزه‌ها امکان‌پذیر نیست (Kaitna و Rickenmann, ۲۰۰۷) اما باید در راستای کاهش مخاطرات اقدام نمود (Mizuyama, ۲۰۰۸). یکی از این اقدامات استفاده از سازه‌های هیدرولیکی می‌باشد. به‌کارگیری سازه آشغال‌گیر (Rack) اقدامی مناسب جهت نگهداشت واریزه است. در تحقیقات گذشته پس‌زدگی آب بر اثر تجمع واریزه جلوی آشغال‌گیر گزارش شده است (Hager و Schmocker, ۲۰۱۳). بنابراین باید سعی در طراحی سازه آشغال‌گیر با عملکرد بالا جهت نگهداشت واریزه با حداقل پس‌زدگی و همچنین تسریع در جمع‌آوری واریزه‌ها بعد از عمل سیل داشت. ریمبوک در سال ۲۰۰۳ با تغییر مکان آشغال‌گیر سعی در بالا بردن عملکرد آشغال‌گیر داشت، در این راستا این محقق آشغال‌گیر را در محل پیچ رودخانه قرار داد و با این تغییر میزان کاهش پس‌زدگی آب را گزارش کرد (Rimböck, ۲۰۰۳). همچنین جهت کاهش پس‌زدگی شوماکر و ویبرخت در سال ۲۰۱۳ عملکرد آشغال‌گیر را با انحراف الگوی جریان به‌وسیله بای‌پس بررسی کردند که نصب آشغال‌گیر در یک بای‌پس منجر به کاهش پس‌زدگی آب شد (Schmocker و Weitbrecht, ۲۰۱۳).

تا به امروز آزمایشاتی در زمینه استفاده از سازه‌ی آشغال‌گیر انجام شده است اما در رابطه با منحرف‌کننده الگوی جریان در مسیری مستقیم با ایجاد زبری در دیواره‌های کانال، مطالعه انجام نشده است. افزایش موضعی زبری دیواره آبراهه منجر به شکل‌گیری الگوی جریان خاص به شکل نوک پیکان خواهد شد. بنابراین در این تحقیق با نصب آشغال‌گیر در کانالی مستقیم همزمان با ایجاد زبری موضعی در دیواره‌های کانال به‌عنوان منحرف‌کننده الگوی جریان با سه هندسه مختلف و سه سازه منحرف‌کننده الگوی جریان در شرایط جریان فوق بحرانی، بحرانی و زیر بحرانی آزمایشاتی انجام شد. راندمان آشغال‌گیر، هندسه فرش واریزه‌ها پشت سازه، میزان پس‌زدگی آب و بهبود جمع‌آوری واریزه پشت سازه بررسی شد و بهترین هندسه آشغال‌گیر با منحرف‌کننده پیشنهاد شد.

مواد و روش‌ها

آزمایشات در یک فلوم مستطیل شکل با طول ۷/۸۳ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۶ متر در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و سازه‌های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد، فلوم آزمایشی مطابق شکل (۲) دارای دیواره‌های جانبی از شیشه و کف از فلز است. سیستم تأمین آب چرخشی بوده و توسط دو شیر در مسیر پمپ‌ها جریان آب قابل تنظیم است.

سیل از جمله حوادث طبیعی می‌باشد که در حین وقوع، خسارات به بار می‌آورد. اگر در جریان‌های سیلابی، واریزه حمل شود، مشکلات و خسارات بیشتری را به همراه خواهد داشت. جریان آب همراه با واریزه، اصطلاحاً جریان واریزه‌ای^۱ نامیده می‌شود. جریان واریزه‌ای یک جریان گرانشی است و شامل سنگ‌ها، خاک، آب و ... می‌باشد. باین‌حال حمل تنه و شاخ و برگ درختان در رودخانه و آبراهه‌ها شایع‌ترین نوع جریان است (Mizuyama, ۲۰۰۸). حمل واریزه‌های چوبی همواره مشکلاتی به دنبال دارند، از جمله این مشکلات شامل موارد ذیل می‌باشد: واریزه‌ها در هنگام سیل، خطرات قابل توجهی را ایجاد می‌کنند، به‌طور مثال واریزه چتجمع واریزه‌های چوبی در مسیر آبراهه باعث کاهش سرعت عبور آب از مسیر می‌شوند (Gippel, ۱۹۹۵) و حرکت واریزه‌ها برای ساکنین حاشیه و سازه‌های پایین دست خطر آفرین می‌باشد (شکل ۱) (Mizuyama, ۲۰۰۸؛ Glade, ۲۰۰۵).

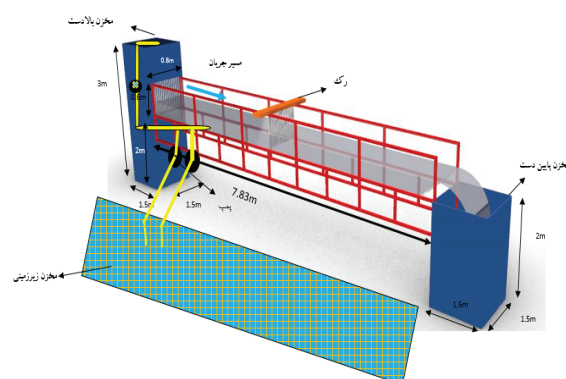
همچنین واریزه‌ها در سازه‌های رودخانه مانند پل‌ها یا بندها جمع می‌شوند و عبور جریان از مسیر را با دشواری می‌کند (Liu و Lei, ۲۰۰۳؛ Mizuyama, ۲۰۰۸). واریزه‌ها باعث انسداد ورودی سرریزها در مخازن سدها شده که مانع خروج آب از سرریزها می‌شوند و می‌تواند منجر به سرریز شدن آب از روی بدنه سد شود (نوری، ۱۳۹۱). همچنین تجمع واریزه منجر به بالا آمدن سطح آب در بالادست و در نتیجه آب‌گرفتگی مناطق اطراف می‌شود (Steeb و همکاران ۲۰۱۷؛ Schalko و همکاران، ۲۰۱۹؛ Hegg و Bezzola, ۲۰۰۷؛ Mazzorana و همکاران، ۲۰۱۱). علاوه‌بر خطرات ذکر شده جمع‌آوری واریزه‌ها بعد از سیل سالانه هزینه‌ی زیادی را به همراه دارد (نوری، ۱۳۹۱).



شکل ۱- تجمع واریزه‌های چوبی در سیل ۲۰۱۱ ایتالیا -a در Borghetto و -b در (Pignone, ۲۰۱۸) Schalko

با وجود موارد ذکر شده، در امان ماندن به‌طور کامل از

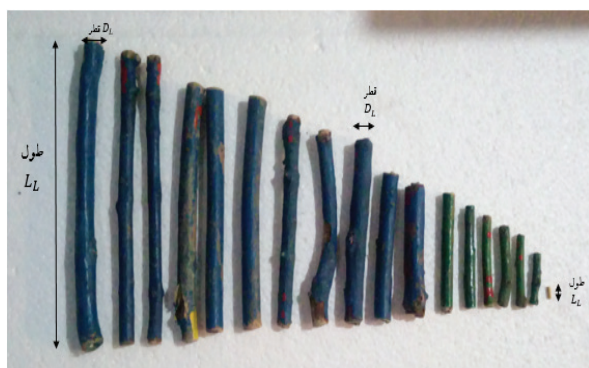
انجام شده واریزه‌های مورد استفاده بدون شاخه و برگ و شامل چوب‌های خشک و تازه بود که با استفاده از قطعات چوب طبیعی از شاخه‌های درختان ساخته شدند (Bocchiola و همکاران، ۲۰۰۵). از ترکیب این قطعات چوبی جهت شبیه‌سازی واریزه‌های چوبی استفاده شد. طول این واریزه‌ها (LL) بین ۰/۰۳ متر تا ۰/۲۰ متر بوده و قطر آنها (dL) بین ۰/۰۳ متر تا ۰/۰۲ متر متغیر بود (جدول ۱). شکل (۳) سایز واریزه‌های مدل شده در آزمایشگاه و جدول (۳) الگوی قرارگیری ستون‌های آشغال‌گیر در آزمایشگاه را نشان می‌دهند.



شکل ۲- شماتیک فلوم آزمایشگاه

جدول ۱- مشخصات واریزه‌های چوبی استفاده شده در تحقیق (Schmocker و Hager، ۲۰۱۳)

کلاس	L_L (mm)	d_L (mm)
بزرگ	۸-۲۰۰	۱۰-۲۰
متوسط	۳۰-۸۰	۳-۱۰
کوچک	۴/۷	۲



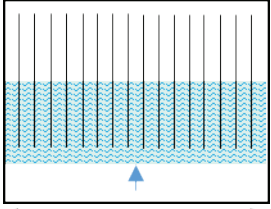
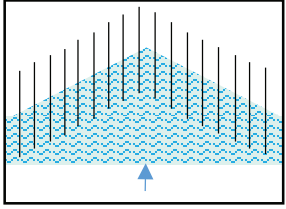
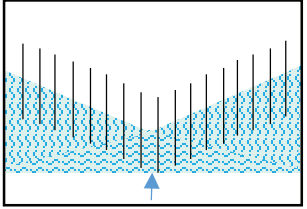
شکل ۳- سایز واریزه‌های چوبی به کار رفته در آزمایشات

باتوجه به اینکه جریان واریزه‌ای در مواقع سیلابی ایجاد می‌شوند و حالت جریان باتوجه به شرایط بازه رودخانه در وضعیت‌های بحرانی، فوق بحرانی و زیربحرانی به وقوع می‌پیوندد، در این تحقیق آزمایشات در سه حالت شرایط جریان با عدد فرود ۰/۸۴، ۱ و ۱/۳۵ انجام شد. آشغال‌گیر در فاصله ۴ متری بالادست از ابتدای فلوم و عمود بر جهت جریان قرار داده شد. عرض آشغال‌گیر با عرض فلوم برابر در نظر گرفته شد. آشغال‌گیر با استفاده از میله‌های با قطر ۵ mm، ارتفاعی هم ارتفاع کانال اصلی (۰/۶ متر) و فاصله بین میله‌ها ۵۰ mm ساخته شد. فاصله میله‌ها از دو طرف با دیواره‌ها، نصف فاصله بین میله‌ها بود. قطر میله‌ها باتوجه به نتایج تحقیقات مبنی بر عدم تاثیر در روند تجمع واریزه‌ها ثابت در نظر گرفته شد. (Schalko و همکاران، ۲۰۱۹). آرایش اولیه هندسه آشغال‌گیر در حالت عمود براساس آزمایشات (Schalk، ۲۰۱۸) در نظر گرفته شد و با طراحی سازه آشغال‌گیر در جهت افزایش عملکرد تغییراتی در هندسه آرایش میله‌ها انجام شد. در آزمایشات

جدول ۲- کلاس‌های واریزه و مخلوط‌های واریزه‌ای توصیه شده توسط اشموگر و هاگر (Schmocker و Hager، ۲۰۱۳)

مشخصات واریزه						نوع واریزه‌ها
L_L (mm)	d_L (mm)	L_L (mm)	d_L (mm)	L_L (mm)	d_L (mm)	
۸۰-۲۰۰	۱۰-۲۰	۳۰-۸۰	۳-۱۰	۴/۷	۲	
۶۰		۳۰		۱۰		ترکیب واریزه

جدول ۳- الگوی قرار گیری ستون‌های آشغال‌گیر در آزمایشگاه

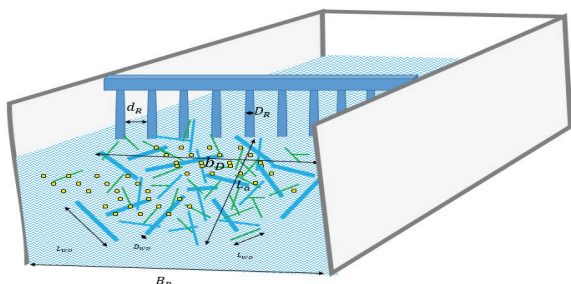
نوع چیدمان آشغال‌گیر	منظم در یک راستا (R۱)	شکل v (R۲)	معکوس v شکل (R۳)
هندسه نهایی آشغال‌گیر			
	عرض کانال	عرض کانال	عرض کانال

آنالیز ابعادی

آنالیز ابعادی برای شناخت پارامترهای مؤثر در پدیده مورد مطالعه و تعیین نسبت‌های بدون بعد می‌باشد. در این تحقیق تحلیل‌های ابعادی بر مبنای روش باکینگهام-پای صورت پذیرد. پارامترهای مشخصه عبارتند از:

$$F=f(L_{wd}, D_{wd}, \rho_{wd}, m_D, m_R, d_R, B, V_{wd}, h_p, L_p, V, \mu, b_a, R, L_a, h_a, g) \quad (۱)$$

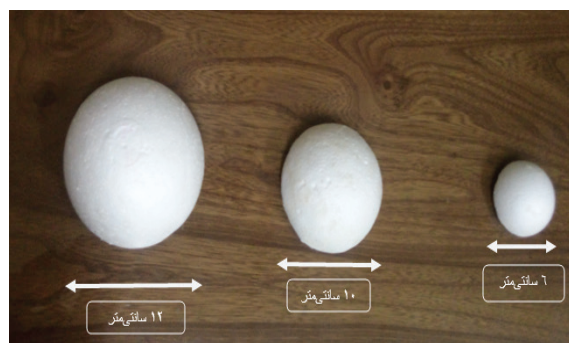
L_{wd} : طول واریزه، D_{wd} : قطر واریزه، ρ_{wd} : دانسیته چوب، m_s : جرم کل واریزه‌ها، m_D : جرم واریزه عبوری، D_R : قطر میله‌های آشغال‌گیر، d_R : فاصله‌ی بین میله‌های آشغال‌گیر، B : عرض کانال، V_{wd} : سرعت واریزه، R : شعاع هیدرولیکی، V : سرعت جریان، ρ : دانسیته آب، μ : ویسکوزیته دینامیک، b_a : عرض فرش واریزه تولید شده، L_a : طول فرش واریزه تولید شده، h_a : ارتفاع آب پس از تجمع واریزه، h_p : ارتفاع کپه میانی آشغال‌گیر، L_p : طول فرش واریزه میانی آشغال‌گیر، g : شتاب جاذبه زمین. شکل (۶) شماتیکی از سازه و آبراهه در وضعیت تجمع واریزه‌ها پشت سازه و پارامترها را نشان می‌دهد.



شکل ۶- شماتیک پارامترهای به کار رفته در آزمایشات

پس از انجام آنالیز ابعادی به روش π باکینگهام پارامترهای بدون بعد استخراج شد. آزمایشات انجام شده در آزمایشگاه در جدول (۴) نشان داده شده است.

برای تغییر الگوی جریان از منحرف کننده‌هایی استفاده شد. این منحرف کننده‌ها در دیواره‌های جانبی فلوم نصب شدند. برای این منظور از نیم‌گوی‌هایی از جنس یونولیت به عنوان منحرف کننده بهره گرفته شد. نیم‌گوی‌ها در سه سایز با قطرهای ۶، ۱۰ و ۱۲ سانتی‌متر تهیه شد (شکل ۴). هر نیم‌گوی به دیواره داخلی فلوم به نحوی چسبانده شدند که مستقیماً روبه‌روی هم قرار داشتند. نصف نیم‌گوی درون آب و نصف آن بیرون از آب قرار داشت. (شکل ۵). منحرف کننده‌ها در فاصله ۱ متری بالادست آشغال‌گیر نصب شدند.



شکل ۴- سایز منحرف کننده‌های قرار گرفته در دیواره جانبی فلوم



شکل ۵- نحوه قرارگیری منحرف کننده جریان در فلوم آزمایشگاهی

$$M=m\left(\frac{(V)^2}{g \times R}, \frac{\rho \times R \times V}{\mu}, \frac{B_R}{B}, \frac{h_a}{R}, \frac{b_a}{B}, \frac{D_{WD}}{D_R}, \frac{L_{WD}}{B_R}, \frac{D_R}{B}, \frac{L_{WD}}{L_a}, \frac{V_{wd}}{V}, \frac{l_a}{B}, \frac{\rho_{WD}}{\rho_W}, \frac{M_S}{M_D}, \frac{h_p}{B}, \frac{L_P}{B}\right) \quad (2)$$

جدول ۴- آزمایشات انجام شده در بالادست کانال اصلی

شماره	نام آزمایش	عدد فروید	R (cm)	M_S/M_D	O (cm)	هندسه سازه	L_1, d_L		
							(80-200), (10-20)mm	(30-80), (3-10)mm	(4.7), 2mm
۱	DR\O\h1	۱/۳۵	۱۹	۹۴/۰۴	۶	عمود منظم	۴۰	۳۰	۱۰
۲	DR\O\h2	۱	۲۵	۹۴/۹۲	۶	عمود منظم	۴۰	۳۰	۱۰
۳	DR\O\h3	۰/۸۵	۳۰	۹۶/۰۲	۶	عمود منظم	۴۰	۳۰	۱۰
۴	DR\O2h1	۱/۳۵	۱۹	۹۷/۷	۱۰	عمود منظم	۴۰	۳۰	۱۰
۵	DR\O2h2	۱	۲۵	۹۶/۹۳	۱۰	عمود منظم	۴۰	۳۰	۱۰
۶	DR\O2h3	۰/۸۵	۳۰	۹۷/۳۶	۱۰	عمود منظم	۴۰	۳۰	۱۰
۷	DR\O3h1	۱/۳۵	۱۹	۹۸/۵۷	۱۲	عمود منظم	۴۰	۳۰	۱۰
۸	DR\O3h2	۱	۲۵	۹۷/۱۱	۱۲	عمود منظم	۴۰	۳۰	۱۰
۹	DR\O3h3	۰/۸۵	۳۰	۹۷/۹۹	۱۲	عمود منظم	۴۰	۳۰	۱۰
۱۰	DR2O\h1	۱/۳۵	۱۹	۸۹/۶۸	۶	شکل V	۴۰	۳۰	۱۰
۱۱	DR2O\h2	۱	۲۵	۹۶/۵۹	۶	شکل V	۴۰	۳۰	۱۰
۱۲	DR2O\h3	۰/۸۵	۳۰	۹۳/۱۳	۶	شکل V	۴۰	۳۰	۱۰
۱۳	DR2O2h1	۱/۳۵	۱۹	۸۷/۳۳	۱۰	شکل V	۴۰	۳۰	۱۰
۱۴	DR2O2h2	۱	۲۵	۹۴/۳۱	۱۰	شکل V	۴۰	۳۰	۱۰
۱۵	DR2O2h3	۰/۸۵	۳۰	۸۷/۳۳	۱۰	شکل V	۴۰	۳۰	۱۰
۱۶	DR2O3h1	۱/۳۵	۱۹	۹۳/۲۸	۱۲	شکل V	۴۰	۳۰	۱۰
۱۷	DR2O3h2	۱	۲۵	۹۸/۰۶	۱۲	شکل V	۴۰	۳۰	۱۰
۱۸	DR2O3h3	۰/۸۵	۳۰	۹۷/۸	۱۲	شکل V	۴۰	۳۰	۱۰
۱۹	DR3O\h1	۱/۳۵	۱۹	۹۴/۷۵	۶	V معکوس	۴۰	۳۰	۱۰
۲۰	DR3O\h2	۱	۲۵	۹۴/۸۵	۶	V معکوس	۴۰	۳۰	۱۰
۲۱	DR3O\h3	۰/۸۵	۳۰	۹۳/۹۸	۶	V معکوس	۴۰	۳۰	۱۰
۲۲	DR3O2h1	۱/۳۵	۱۹	۹۹/۲۱	۱۰	V معکوس	۴۰	۳۰	۱۰
۲۳	DR3O2h2	۱	۲۵	۹۷/۰۷	۱۰	V معکوس	۴۰	۳۰	۱۰
۲۴	DR3O2h3	۰/۸۵	۳۰	۹۵/۹۵	۱۰	V معکوس	۴۰	۳۰	۱۰
۲۵	DR3O3h1	۱/۳۵	۱۹	۹۱/۸۸	۱۲	V معکوس	۴۰	۳۰	۱۰
۲۶	DR3O3h2	۱	۲۵	۹۵/۲۷	۱۲	V معکوس	۴۰	۳۰	۱۰
۲۷	DR3O3h3	۰/۸۵	۳۰	۹۴/۷	۱۲	V معکوس	۴۰	۳۰	۱۰

یکی از پارامترهای اصلی اندازه‌گیری شده، عمق جریان در بالادست (قبل از آشغال‌گیر) است که به صورت کلی با عنوان افزایش ارتفاع پس‌زدگی آب حاصل از تجمع واریزه در آشغال‌گیر یعنی نسبت عمق جریان h/h_0 از آن یاد می‌شود. در آزمایشات انجام شده، عمق جریان بعد از تجمع واریزه و ثابت شدن مکان واریزه‌ها اندازه‌گیری شد. هر آزمایش با یک ترکیب واریزه‌ای انجام شد که در جدول (۲) معرفی شد. حجم مشخصی از واریزه‌ها کم کم و به صورت تصادفی به جریان کانال اضافه شدند و با رسیدن اولین واریزه به آشغال‌گیر و به دام افتادن آن، تعدادی از واریزه‌های دیگر به واسطه آن به دام افتاد، علاوه بر آن با استفاده از قدرت جریان و نیروی وارده از سمت سایر واریزه‌های اضافه شده، واریزه‌ها در فاصله نزدیک بر روی هم قرار گرفتند (با کمترین خلل و فرج) و باعث ایجاد کپه‌هایی در یک قسمت از آشغال‌گیر در نهایت در

سرتاسر آشغال‌گیر در طول زمان آزمایش می‌شوند. بعضی از واریزه‌ها که تمایل بیشتری به دیواره‌های جانبی فلوام دارند، به دلیل تغییر الگوی جریان که توسط منحرف‌کننده‌ها به وجود آمده، در اطراف منحرف‌کننده‌ها حالت چرخشی دارند و تغییر جهت می‌دهند، در این حالت واریزه‌ها بعد از عبور از منحرف‌کننده‌ها بیشتر به سمت وسط آشغال‌گیر هدایت شده و از مسیر اصلی خود تغییر جهت داده تا به آشغال‌گیر رسیده و بعد از تجمع باعث ایجاد فرش واریزه می‌شوند. به این ترتیب راندمان واریزه‌ها با اندازه‌گیری حجم و وزن واریزه‌هایی که به وسیله سازه آشغال‌گیر متوقف شدند محاسبه شد، همچنین بلندترین طول فرش واریزه‌ای ایجاد شده در محدوده آشغال‌گیر، پس زدگی آب و همچنین ارتفاع کپه تولید شده میانی آشغال‌گیر اندازه‌گیری و بررسی شد تا از این طریق تأثیر منحرف‌کننده در مسیر جریان نشان داده شود.

نتایج و بحث

• تأثیر منحرف‌کننده بر راندمان سازه آشغال‌گیر

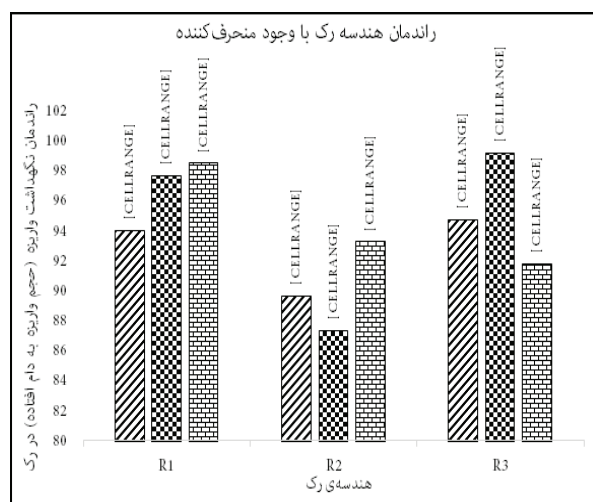
بعد از انجام آزمایش با اندازه‌گیری حجم واریزه‌های به دام افتاده، راندمان نگهداشت واریزه به دست آمد. جدول (۵) مقادیر هر سایز منحرف‌کننده بر راندمان نگهداشت آشغال‌گیر را نشان داده است و در هر آشغال‌گیر بیشترین راندمان مشخص شده است.

جدول ۵- تأثیر سایز نیم‌گوی بر راندمان نگهداشت آشغال‌گیر در هندسه‌های مختلف سازه آشغال‌گیر و شرایط مختلف جریان (درصد)

هندسه آشغال‌گیر	سایز نیم‌گوی	فوق بحرانی	بحرانی	زیر بحرانی
R1	O1	۹۴/۰۴	۹۴/۹۲	۹۶/۰۲
	O2	۹۷/۷	۹۶/۹۳	۹۷/۳۶
	O3	۹۸/۵۷	۹۷/۱۱	۹۷/۹۹
R2	O1	۸۹/۶۸	۹۶/۵۹	۹۳/۱۳
	O2	۸۷/۳۳	۹۴/۳۱	۸۷/۳۳
	O3	۹۳/۲۸	۹۸/۰۶	۹۷/۸
R3	O1	۹۴/۷۵	۹۴/۸۵	۹۳/۹۸
	O2	۹۹/۲۱	۹۷/۰۷	۹۵/۹۵
	O3	۹۱/۸۸	۹۵/۲۷	۹۴/۷

نتایج بررسی‌ها نشان داد در شرایط جریان فوق بحرانی با عدد

فرود ۱/۳۵، منحرف‌کننده با هندسه آشغال‌گیر R1 با میانگین ۹۶/۷۵ درصد، بیشترین راندمان نگهداشت واریزه را داشته است و در شرایط جریان بحرانی هر سه آشغال‌گیر به طور میانگین با میانگین ۹۵/۵ درصد، شرایطی نزدیک به هم را دارند و در شرایط جریان زیر بحرانی R1 با میانگین ۹۷/۱۵ درصد، بیشترین راندمان را نشان داد. شکل (۷) راندمان نگهداشت واریزه‌های چوبی در جریان فوق بحرانی را نشان می‌دهد. به طور کلی نتایج نشان داد سایز منحرف‌کننده‌ها در راندمان نگهداشت واریزه، تأثیرگذار است.



شکل ۷- بررسی تأثیر همزمان هندسه آشغال‌گیر و منحرف‌کننده‌ها در شرایط جریان فوق بحرانی بر راندمان نگهداشت واریزه در رک O1، O2 و O3 به ترتیب سایزهای کوچک، متوسط و بزرگ نیم‌گوی‌ها می‌باشند.

• بررسی هندسه فرش واریزه‌ای در سرتاسر آشغال‌گیر با وجود منحرف کننده جریان

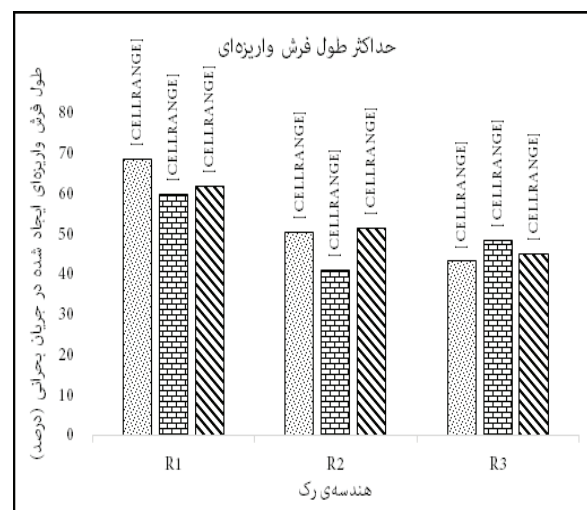
هندسه تجمع واریزه‌ها پشت آشغال‌گیر به عنوان فرش واریزه‌ها بررسی شد. جدول (۶) میانگین طول فرش واریزه‌ای برای سه سائز منحرف کننده را نشان می‌دهد که در شرایط مختلف جریان، بلندترین طول فرش واریزه‌ای مربوط به سائز R₁ به ترتیب با طول‌های ۶۳/۵، ۷۲/۲۶ و ۸۲/۱۷ می‌باشد.

در شکل (۸)، سائز R₁ بلندترین طول فرش واریزه‌ای در جریان فوق بحرانی را ایجاد کرده است.

نتایج بررسی نشان داد، سائز منحرف کننده‌ها و شرایط جریان در تولید فرش واریزه‌ای تأثیر ندارند؛ ولی هندسه آشغال‌گیر در تولید فرش واریزه تأثیرگذار است.

جدول ۶- میانگین طول فرش واریزه‌ای سه سائز منحرف کننده (درصد)

هندسه آشغال‌گیر	فوق بحرانی	بحرانی	زیر بحرانی
R ₁	۶۳/۵۳	۷۲/۲۷	۸۲/۱۷
R ₂	۴۷/۹	۷۰	۷۵/۶
R ₃	۴۵/۸	۶۰/۸	۶۹/۶



شکل ۸- بررسی تأثیر هندسه‌ی آشغال‌گیر توأمان با سائز منحرف کننده بر حداکثر طول فرش واریزه‌ای ایجاد شده در جریان فوق بحرانی؛ O₁، O₂ و O₃ به ترتیب سائزهای کوچک، متوسط و بزرگ نیم‌گویی‌ها می‌باشند.

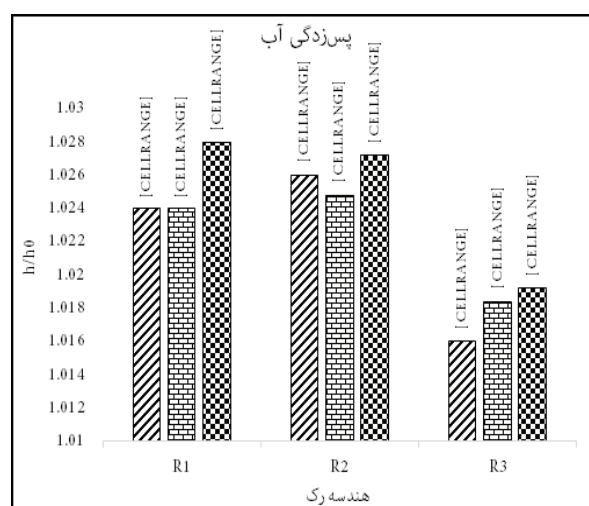
• میزان پس‌زدگی آب با وجود منحرف کننده جریان

افزایش تجمع واریزه خود یک مانع برای عبور جریان عمل می‌کند، زیرا سرعت جریان تقریباً به صفر کاهش می‌یابد. در نتیجه باعث افزایش پس‌زدگی آب می‌شود (Schmocker و Hager، ۲۰۱۳). با توجه به شرایط جریان $Fr=0.85-1.35$ ، تفاوت بین سه سائز نیم‌گویی در پس‌زدگی آب، بسیار ناچیز است.

جدول (۷) مقادیر میانگین درصد پس‌زدگی آب در هندسه‌های مختلف آشغال‌گیر را نشان می‌دهد. براساس این مقادیر کمترین پس‌زدگی آب در شرایط جریان فوق بحرانی و بحرانی مربوط به R₃ را نشان می‌دهد. در شرایط جریان زیر بحرانی کمترین پس‌زدگی آب مربوط به R₂ می‌باشد. در شکل (۹) میزان پس‌زدگی آب در شرایط جریان بحرانی با وجود منحرف کننده را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از ایجاد پس‌زدگی آب نشان می‌دهد که شرایط جریان بر پس‌زدگی آب تأثیرگذار است. در تمام هندسه آشغال‌گیرها با افزایش عمق آب، میزان پس‌زدگی آب کاهش یافت و با افزایش عدد فرود جریان میزان نسبت ارتفاع پس‌زدگی آب افزایش یافت.

جدول ۷- میانگین درصد پس‌زدگی آب در هندسه‌های مختلف آشغال‌گیر با وجود منحرف کننده‌ها در شرایط مختلف جریان

هندسه آشغال‌گیر	فوق بحرانی	بحرانی	زیر بحرانی
R ₁	۴/۲۱	۲/۵۳	۱
R ₂	۷/۱۴	۲/۶	۰/۷۲
R ₃	۳/۰۵۳	۱/۷۹	۱/۷۳

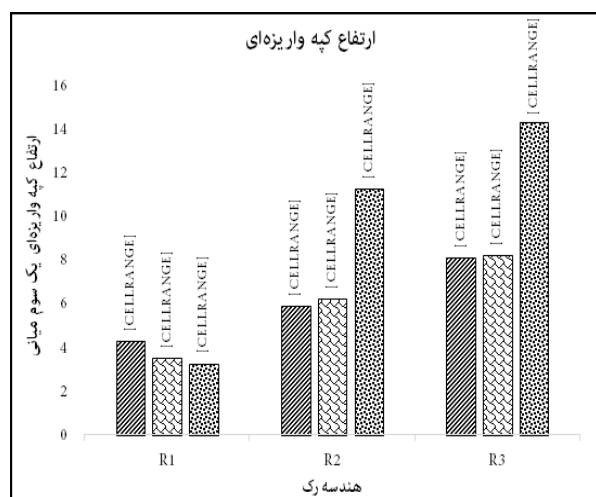


شکل ۹- بررسی تأثیر همزمان منحرف کننده‌ها و هندسه آشغال‌گیر در پس‌زدگی آب در جریان بحرانی؛ O₁، O₂ و O₃ به ترتیب سائزهای کوچک، متوسط و بزرگ نیم‌گویی‌ها می‌باشند.

چیدمان و تجمع واریزه‌ها در آزمایشگاه قابل مشاهده است.

جدول ۸- تأثیر منحرف‌کننده‌های الگوی جریان و هندسه آشغال‌گیر در شرایط مختلف جریان بر ارتفاع کپه واریزه‌ای ایجاد شده در یک سوم میانی آشغال‌گیر

هندسه‌ی آشغال‌گیر	نیم‌گوی	شرایط جریان		
		فوق بحرانی	بحرانی	زیر بحرانی
R۱	O۱	۴/۲۵	۱/۲	۱/۳
	O۲	۳/۵	۱/۹	۳/۶
	O۳	۳/۲۵	۱	۳/۴۵
R۲	O۱	۵/۹	۱/۱	۱/۲۵
	O۲	۶/۲	۳/۶	۱/۶
	O۳	۱۱/۲۵	۱/۲	۱
R۳	O۱	۸/۱	۳/۸	۲/۳۲
	O۲	۸/۲	۳/۳	۳/۰۵
	O۳	۱۴/۲۹	۵/۳۵	۴/۳۵



شکل ۱۱- تأثیر منحرف‌کننده و هندسه آشغال‌گیر بر ارتفاع کپه واریزه‌ای یک سوم میانی در جریان فوق بحرانی

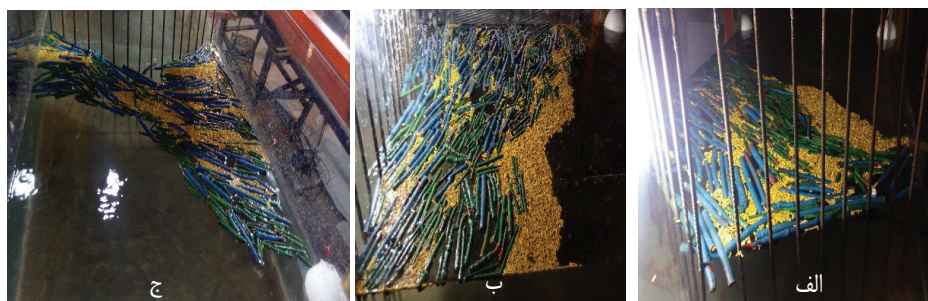
• بررسی میزان ارتفاع کپه‌ی واریزه‌ای تولیدشده در یک سوم میانی آشغال‌گیر با منحرف‌کننده‌ی جریان

تغییرات ارتفاع کپه واریزه پشت سازه نیز تحت تأثیر منحرف‌کننده بررسی شد. شکل (۱۰) تصویری از ارتفاع کپه واریزه‌ای ایجاد شده در وسط سازه آشغال‌گیر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- ارتفاع کپه‌ی واریزه‌ای ایجاد شده در وسط سازه آشغال‌گیر در آزمایشگاه

جدول (۸) تأثیر منحرف‌کننده‌های الگوی جریان بر ارتفاع کپه واریزه را نشان می‌دهد. نتایج جدول نشان می‌دهد، بیشترین ارتفاع کپه میانی در آشغال‌گیرها در شرایط جریان فوق بحرانی و با وجود سایز بزرگ منحرف‌کننده‌ها تولید شده است و آشغال‌گیر R۳ و پس از آن R۲ و R۱ بیشترین ارتفاع کپه‌ی میانی را داشتند. شکل (۱۱) تأثیر منحرف‌کننده با هندسه‌های مختلف آشغال‌گیر بر ارتفاع کپه‌ی میانی در جریان فوق بحرانی در سازه آشغال‌گیر را نشان می‌دهد. در شکل (۱۲) نحوه



شکل ۱۲- نمایی از چیدمان ستون‌های آشغال‌گیر در آزمایشگاه، (الف- منظم در یک راستا عمود بر محور کانال (خطی)- ب- ۷ شکل ج- معکوس ۷ شکل)

- نوری، ا. ۱۳۹۱. بررسی حرکت جسم شناور در رودخانه با استفاده از روش SPH. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته سازه‌های آبی، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس.
- Bezzola G.R. and Hegg C. 2007. Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Bundesamt für Umwelt, BAFU.
- Bocchiola D., Rulli M.C. and Rosso R. 2005. Flume experiments on wood entrainment in rivers. *Advances in water resources*, 29(8): 1182-1195.
- Gippel C.J. 1995. Environmental hydraulics of large woody debris in streams and rivers. *Journal of Environmental Engineering*, 121(5): 388-395.
- Glade T. 2005. Linking debris-flow hazard assessments with geomorphology. *Geomorphology*, Mar 1;66(1-4): 189-213.
- Kaitna R. and Rickenmann D. 2007. A new experimental facility for laboratory debris flow investigation. *Journal of Hydraulic Research*, 45(6): 797-810.
- Liu X. and Lei J. 2003. A method for assessing regional debris flow risk. an application in Zhaotong of Yunnan province SW China. *Geomorphology*, 52(3-4): 181-191.
- Mazzorana B., Hübl J., Zischg A. and Largiadèr A. 2011. Modelling woody material transport and deposition in alpine rivers. *Natural Hazards*, 56(2): 425-449.
- Mizuyama T. 2008. Structural countermeasures for debris flow disasters. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 1(2): 38-43.
- Rimböck A. 2003. Schwemmhölzrückhalt in wildbächen. Driftwood retention in mountain torrents. Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, Technical University of Munich, Munich, Germany.
- Schmocker L. and Weitbrecht V. 2013. Driftwood: Risk analysis and engineering measures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(7): 683-695.
- Schmocker L. and Hager W.H. 2013. Scale modeling of wooden debris accumulation at a debris rack. *Journal of Hydraulic Engineering*, Jul 15; 139(8): 827-36.
- Schalko I. 2018. Modeling hazards related to large wood in rivers (Doctoral dissertation, ETH Zurich).
- Schalko I., Schmocker L., Weitbrecht V. and Boes R.M.

تغییر الگوی جریان و هدایت واریزه‌ها به مرکز کانال با نصب منحرف‌کننده الگوی جریان راه‌حلی برای افزایش راندمان سازه، کاهش پس‌زدگی آب و امکان جمع‌آوری راحت‌تر واریزه‌ها بعد از تجمع واریزه در پشت آشغال‌گیر مطرح و بررسی شد. بعد از انجام آزمایشات تأثیر این تغییر بر پارامترهای تحقیق بیان شد. در این مقاله به بررسی آزمایشگاهی تأثیر هندسه آشغال‌گیر و همچنین وجود منحرف‌کننده جریان در مسیر مستقیم پرداخته شد. در آزمایشات چهار پارامتر (عرض فلوم، سرعت و دبی جریان و سرعت واریزه) ثابت فرض شد و سه پارامتر (هندسه آشغال‌گیر، حالت جریان و نوع واریزه) به‌عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. برای انجام آزمایشات از سه هندسه آشغال‌گیر (خطی، V شکل، معکوس V شکل)، یک دسته واریزه‌ی چوبی (۶۰٪ درشت، ۳۰٪ متوسط و ۱۰٪ ریز) سه شرایط جریان (فوق‌بحرانی، بحرانی و زیر بحرانی) استفاده شد.

نتایج نشان داد سائز نیم‌گوی‌های منحرف‌کننده در راندمان نگهداشت واریزه تأثیرگذار بود و آشغال‌گیر R۱ (خطی)، بیشترین راندمان نگهداشت با مقدار تقریباً ۹۷ درصد داشت. بعد از تجمع واریزه هندسه فرش تولید شده در چگونگی لایه‌روبی بعد از سیل اهمیت دارد و شرایط جریان و سائز منحرف‌کننده‌ها در تولید فرش واریزه‌ای در عرض فلوم بی‌تأثیر بود، به‌طور میانگین سازه R۱ (خطی) با ۶۳/۵ درصد بلندترین نسبت بدون بعد فرش واریزه را تشکیل داده است، هندسه آشغال‌گیر و شرایط جریان در پس‌زدگی آب در پشت تجمع واریزه تأثیر داشته، سائز منحرف‌کننده‌ها بی‌تأثیر بود. به‌طوری‌که کمترین پس‌زدگی آب مربوط به آشغال‌گیر R۳ (معکوس V شکل) با ۲/۵۵ درصد پس‌زدگی می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، هرچه عدد فرود جریان بیشتر شود، میزان پس‌زدگی آب به مراتب بیشتر می‌شود. همچنین شرایط جریان و سائز منحرف‌کننده‌های جریان در ارتفاع کپه میانی تأثیرگذار بود. شرایط جریان فوق‌بحرانی و بزرگترین سائز منحرف‌کننده و آشغال‌گیر R۳ (معکوس V شکل) بیشترین ارتفاع کپه‌ای را تولید کردند. بنابراین در طبیعت سازه R۳ و سائز متوسط منحرف‌کننده، انتخاب مناسبی می‌تواند باشد.

پی‌نوشت

1-Debris Flow

2019. Laboratory study on wood accumulation probability at bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, 58(4): 566-581.

Steeb N., Rickenmann D., Badoux A., Rickli C. and Waldner P. 2017. Large wood recruitment processes and transported volumes in Swiss mountain streams during the extreme flood of August 2005. *Geomorphology*, 279: 112-127.



مقدمه

در شرایط کنونی تأمین امنیت غذایی و حفظ آن به ویژه با توجه به تقاضای روز افزون و رشد چشمگیر جمعیت از یکسو و بهره‌کشی شدید و ناصحیح از منابع و ذخایر محدود و تجدیدنپذیر و نیز بروز چالش‌هایی چون تغییر اقلیم از سوی دیگر، اهمیت بسیار بالایی دارد. طبق تعریف بانک جهانی امنیت غذایی زمانی تحقق می‌یابد که همه مردم در تمام اوقات، به غذای کافی برای داشتن یک زندگی سالم دسترسی داشته باشند. این امر خود دارای سه محور «موجود بودن غذا»، «دسترسی به غذا» و «پایداری در دریافت غذا» است. از این رو در حوزه امنیت غذایی کمیت و کیفیت غذا باتوجه به منابع تولید، وجود سیستم و شبکه‌های عرضه و توزیع از جنبه دسترسی و نیز توجه جدی به ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و جامعه، با رویکرد پایداری، از محورهای کلیدی محسوب می‌شوند. در واقع سالم بودن و پایداری در یک سیستم غذایی، می‌تواند نویدبخش امنیت غذایی برای یک جامعه باشد. در این ارتباط یک سیستم غذایی کلیه مراحل مختلف فرآیند تولیدات، صنایع و فرآوری محصولات غذایی، حمل و نقل و توزیع، بازاریابی، قیمت‌گذاری و مصرف مواد غذایی را شامل می‌شود. در ایران بر اغلب اهداف و اقدامات در راستای برنامه‌های توسعه روستایی و فعالیت‌های بخش کشاورزی، نگاهی تولید محور حاکم بوده است. هرچند این مرحله به عنوان یکی از مهمترین اقدامات، دستیابی به امنیت غذایی را به‌طور قابل توجهی دنبال می‌کند، اما همین مرحله مهم نیز دارای کاستی‌ها و چالش‌های فراوان می‌باشد. از این منظر مدیریت بهینه و بهره‌برداری اصولی و پایدار از منابع تولید (آب، خاک، پوشش گیاهی، مراتع و جنگل‌ها و...) متناسب با توان اکولوژیکی و آمایش سرزمینی به‌عنوان ضروریاتی مهم و لازمه انکارناپذیر در دستیابی و حفظ امنیت غذایی می‌باشد. امنیت آبی که خود بیانگر دسترسی قابل اعتماد به منابع آب با کمیت و کیفیت مناسب، برای کاربری‌های موردنیاز شرب و بهداشت، تولید، محیط زیست، و صنعت و... می‌باشد، مدتهاست که مهمترین چالش زیست‌محیطی کشور است. این مهم در مناطق شرق کشور از جنبه افت بیش از حد سفره‌های آب زیرزمینی و شور شدن منابع آبی، بیش از پیش بروز و ظهور نموده است. چالش مذکور در جهان نیز باتوجه به جمعیت رو به افزایش و تقاضاهای متعدد با فشارهای بیش از حد بر

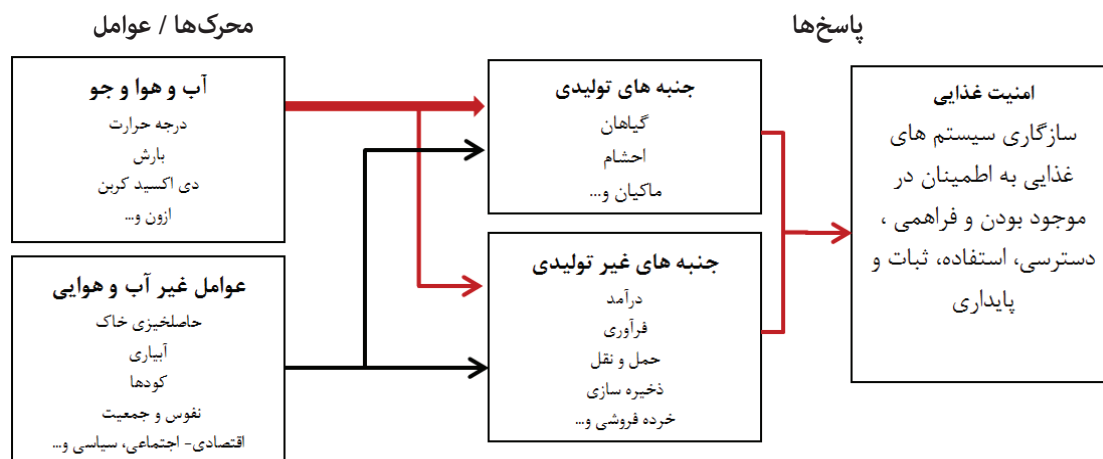
منابع آبی و تغییرات اقلیمی، جدی‌تر شده است. باتوجه به اهمیت موضوع در این مقاله به مباحث تغییرات اقلیم به عنوان چالش‌های مهم در ارتباط با تولیدات بخش کشاورزی و دستیابی و حفظ امنیت غذایی به اختصار پرداخته شده است.

- تأثیر مخاطرات آب و هوایی (خشکسالی، سیل، تغییر اقلیم و...) بر امنیت غذایی

برخی ابعاد زنجیره غذایی به اقلیم حساس هستند که البته این چنین تأثیراتی کمتر شناخته شده است. مخاطرات آب و هوایی چه پس از وقوع آن حادثه و چه در درازمدت از جمله عوامل اصلی عدم امنیت غذایی محسوب می‌شوند. خشکسالی یک عامل اصلی عدم امنیت غذایی محسوب می‌شود که در تأثیرات منفی آن بر تغذیه، نقش بسزایی دارد. سیل و بارش‌های سنگین و طوفان‌های گرمسیری نیز با از بین بردن دارایی‌های معیشتی بر امنیت غذایی تأثیر می‌گذارند. در این راستا ایجاد فرسایش خاک و به‌دنبال آن شستشوی لایه سطحی و جابه‌جایی عناصر غذایی، ایجاد بار رسوبی و ته‌نشین شدن گل و لای فراوان بر سطوح زیر کشت و باغات بر اثر وقوع سیلاب‌ها نیز از جمله پیامدهای منفی وقوع سیلاب‌ها در جهت عدم پایداری تولید محصولات می‌باشد. درخصوص رابطه بین تغییر اقلیم و تولید غذا لازم به ذکر است که این ارتباط تا حدود زیادی به زمان، نوع و نحوه اقدامات انطباق بستگی دارد (Porter و همکاران، ۲۰۱۴).

- محرک‌های عناصر آب و هوایی و غیر آب و هوایی موثر بر اجزای تولیدی و غیرتولیدی سیستم‌های غذایی

سیستم غذایی، کلیه فرآیندها و زیرساخت‌های مربوط به تأمین امنیت غذایی مردم است. این از جنبه‌های تولیدی شامل جمع‌آوری/ صید، رشد، برداشت و از جنبه‌های غیرتولیدی، ذخیره‌سازی، فرآوری، بسته‌بندی، حمل و نقل، بازاریابی، مصرف مواد غذایی و دفع مواد زائد غذایی را دربرمی‌گیرد (شکل ۱)، (Porter و همکاران، ۲۰۱۴). در واقع این فعالیت‌ها نتایج امنیت غذایی در ارتباط با فراهمی و دسترسی به غذا و مصرف آن و همچنین سایر عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را شامل می‌شوند (Ingram، ۲۰۱۱).



شکل ۱- محرك‌های عناصر آب و هوایی و غیر آب و هوایی موثر بر اجرای تولیدی و غیر تولیدی سیستم‌های غذایی و در نتیجه آن امنیت غذایی

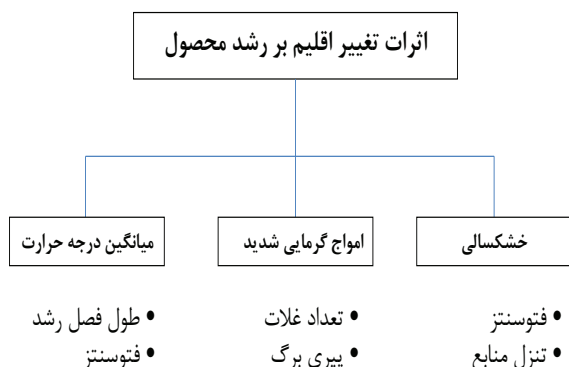
به دهه‌های گذشته حدود ۱ درجه سانتیگراد گرم‌تر شده است. در این خصوص انتظار افزایش دما بین ۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد، برای دهه‌های آتی وجود دارد. در همین راستا تعداد شوک‌های اقلیمی مثل تنش شدید گرمایی، خشکسالی و سیل افزایش یافته و نیز ادامه خواهد داشت (شکل ۲)، (Leck و همکاران، ۲۰۱۵؛ Asseng و همکاران، ۲۰۱۵؛ Moore و Lobell، ۲۰۱۴).

در عین حال افزایش سطح گازکربنیک، می‌تواند روی عملکرد محصولات زراعی C۳، مانند گندم و برنج اثر مثبت داشته باشد. اما آیا این اثرات مثبت قادر به خنثی کردن کامل سایر اثرات منفی، نظیر اثر افزایش دما روی سیستم‌های زراعی هست یا خیر، موضوع مورد توجه کارشناسان می‌باشد. تغییر اقلیم از طرفی باعث افزایش دمای میانگین می‌شود و از سوی دیگر در آینده احتمال وقوع شوک‌های دمایی بالا را نیز بیشتر می‌نماید. به عبارتی تغییر اقلیم موجب یک هنجار جدید دمایی می‌شود.

همان‌گونه که در شکل (۱) ملاحظه می‌گردد، در کنار جنبه‌های تولیدی، جنبه‌های غیرتولیدی نیز در تأمین و حفظ امنیت غذایی از اهمیت خاصی برخوردارند. به‌عنوان مثال طبق بررسی‌ها و گزارشات، در ایران سالانه بین ۱۷ تا ۲۰ درصد تولیدات کشاورزی و حدود ۳۰ درصد مواد غذایی از بین رفته و به ضایعات تبدیل می‌شود (طاهری میرانی ۱۳۹۵). قسمت عمده ضایعات کشاورزی مربوط به مراحل برداشت و توزیع محصولات می‌باشد. این در حالی است که ضمن توجه به مراحل برداشت و توزیع بهینه محصولات، سایر مراحل جابه‌جایی، حمل و نقل، ذخیره‌سازی، فرآوری، بکارگیری شیوه الگوی مصرف صحیح و... از جمله موارد مهمی است که می‌توان با برنامه‌ریزی، سرمایه‌گذاری و مدیریت مناسب، نقش قابل توجهی را در کاهش ضایعات ایفا نمود.

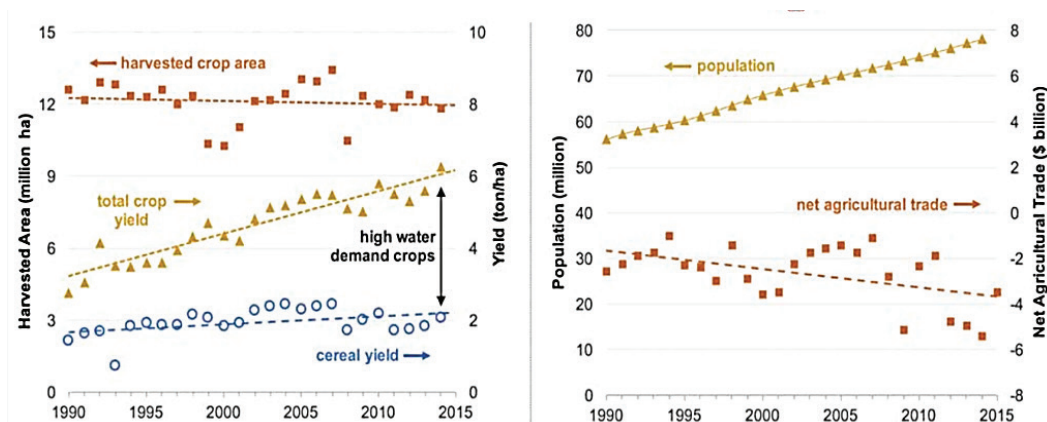
اثرات تغییر اقلیم بر تولیدات بخش کشاورزی و چالش‌های پیش‌رو

برآوردهای محافظه کارانه، جمعیت جهان را تا ۹ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ نشان داده است. همچنین نتایج مدل‌ها نشان داده است که اگر افزایش روند عملکرد محصولات زراعی مهم مانند گندم، ذرت و برنج در سطح کنونی ادامه داده شود، سیستم‌های زراعی قادر به تولید غذای کافی برای سیر کردن جمعیت جهان در آینده نیستند. گپ بزرگی بین روند فعلی عملکرد و روند موردنیاز عملکرد وجود دارد. افزایش میزان تولید و کیفیت فضای تولیدی، مورد نیاز جامعه انسانی است و در عین حال مراقب مسائل محیط‌زیست نیز باید بود. این در حالی است که تغییر اقلیم رسیدن به این اهداف را بسیار دشوار نموده است. دمای میانگین کره زمین نسبت



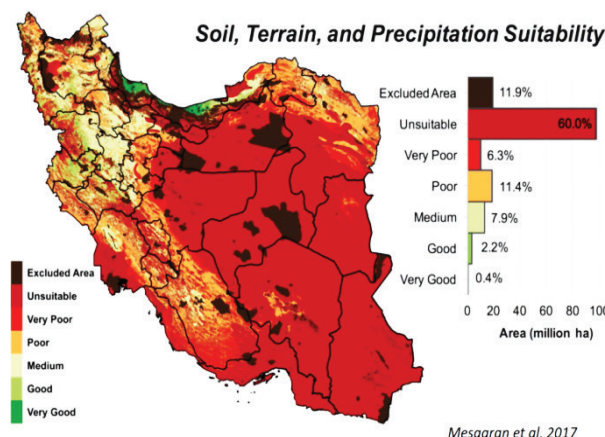
شکل ۲- نمودار اثرات تغییر اقلیم بر رشد محصول

گیاهان با نیاز آبی بیشتر و آبیاری بیشتر بوده است. از سوی دیگر جمعیت کشور در این فاصله زمانی از ۵۵ میلیون نفر به حدود ۸۰ میلیون نفر رسیده، در حالی که تراز تجاری محصولات کشاورزی از منهای ۲ میلیارد دلار به منهای ۴ میلیارد دلار تغییر کرده است (شکل ۳- تصویر سمت راست). یعنی واردات بیشتری از محصولات کشاورزی را به ازای افزایش جمعیت شاهد بوده‌ایم.



شکل ۳- نمودار روند عملکرد محصولات غلات و سطوح زیر کشت در ایران (تصویر سمت چپ) و روند تراز تجاری تولیدات کشاورزی در برابر افزایش رشد جمعیت ایران در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۵ (تصویر سمت راست)

مطالعات اخیر Mesgaran و همکاران (۲۰۱۷) مبنی بر تناسب اراضی کشور برای کشت و زرع باتوجه به شرایط بارش، خاک و اقلیم، نشان‌دهنده آن است که تنها ۲/۶ درصد از زمین‌های کشور از وضعیت خوبی برخوردار هستند و ۷/۹ درصد از اراضی نیز وضعیت متوسط را دارند که البته همین سطوح نیز در حال حاضر زیر کشت قرار گرفته‌اند (شکل ۴). به عبارتی عملاً افزایش سطح زیر کشت به بیش از این میزان، خارج از ظرفیت منابع آبی و خاک در دسترس می‌باشد.



شکل ۴- نقشه طبقات و پهنه‌های تناسب اراضی کشاورزی ایران براساس عوامل زمینی، خاک و بارش

براساس تحقیقات صورت گرفته توسط Mesgaran و همکاران (۲۰۱۶) در ایران، سطح زیر کشت محصولات زراعی در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ روند کاهشی را نشان می‌دهد. اما در همین دوره، عملکرد، افزایش بالایی را داشته است (شکل ۳- تصویر سمت چپ). اگر روند کلی افزایش عملکرد با افزایش عملکرد غلات مقایسه شود، گویای تفاوت زیادی است. این بدان معنی است که افزایش عملکرد در ازای تولید بیشتر

بررسی بارش‌های فصلی در ایران (طی سال‌های ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۶) نشان داده است که میزان بارش‌های فصلی بخصوص بهار برای اکثر مناطق، روند کاهشی معنی‌داری بین ۱۰ تا ۳۰ درصد را داشته است (Shifteh some'e و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین نتایج مطالعات مختلفی (از حدود سال ۲۰۰۶) در بررسی اثر تغییر اقلیم روی سیستم‌های کشاورزی ایران بیانگر پیش‌بینی روند کاهشی شدیدی بر روی عملکرد گیاهان زراعی بوده است (Nassiri و همکاران، ۲۰۰۶؛ Valizadeh و همکاران، ۲۰۱۴؛ Bannayan و Eyshe rezaei، ۲۰۱۴؛ Maddah و همکاران، ۲۰۱۵). اما بایستی به این نکته توجه داشت که بیشتر مطالعات صورت گرفته اثر CO₂ را در نظر نگرفته‌اند (به نقل از Karimi و همکاران، ۲۰۱۸). با این تفاسیر شناخت ظرفیت‌های مورد نیاز کشور در تأمین غذای جمعیت کنونی و مورد نظر (باتوجه به سیاست‌گذاری‌های جمعیتی) گزینه‌های بسیار محدودی برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان قابل ارائه است. سه گزینه مهم در این خصوص عبارتند از: ۱- گسترش سطح زیر کشت به منظور دستیابی به تولیدات بیشتر، ۲- واردات بیشتر محصولات کشاورزی و غذایی و ۳- سرمایه‌گذاری بر روی فناوری‌های نوین و کارآمد بخش کشاورزی

در مورد گزینه اول شوربختانه براساس بررسی‌ها و مطالعات صورت گرفته از جنبه انعطاف‌پذیری سرزمین کشورمان برای افزایش سطح زیر کشت، تحقق آن عملاً امکان‌پذیر نخواهد بود.

در مورد گزینه دوم هم باتوجه به شرایط اقتصادی کشور از یک سو و از سوی دیگر وضعیت تحریم‌های ظالمانه، راهکاری سخت پیش‌رو می‌باشد. هرچند از جنبه منابع آب، راهکار آب مجازی و مبادلات غیر مستقیم آبی قابل بررسی و برنامه‌ریزی می‌باشد و لازم است توسط دست اندرکاران و مسئولان، مدنظر قرار گیرد. عملیاتی کردن گزینه سوم در حال حاضر به ویژه در کوتاه‌مدت، آن‌هم با توجه به ریسک بالای فعالیت‌های بخش کشاورزی و نیز شرایط اقتصادی و وجود برخی موانع قانونی و اجرایی، سرمایه‌گذاری در این بخش از جذابیت مطلوبی برخوردار نیست. با وجود مشکلات و تنگنای زیادی که در خصوص ایجاد فناوری‌های مختلف سخت‌افزاری، نرم‌افزاری و مدیریتی، بکارگیری و توسعه آنها در جنبه‌های تولیدی و غیرتولیدی وجود دارد، دستاوردهای خوب و الگوهای موفق در برخی از جنبه‌ها مانند ارتقاء بهره‌وری منابع آب و خاک، کاهش ضایعات و تولید نهاده‌ها به دست آمده است. اما باتوجه به آهنگ ناموزون افزایش تقاضا و الگوی مصرفی ناصحیح با کمبود جدی منابع تولید، بسترسازی و سازوکارهای مناسب‌تر، ضمانت اجرایی قوی‌تر، حمایت‌ها و هم‌افزایی بیشتر دستگاه‌ها و مشارکت حداکثری بخش خصوصی را برای تحقق راهکار گزینه سوم ایجاب می‌کند. ضمن آنکه پرداختن به فعالیت‌های حوزه آموزش و ترویج، فرهنگ‌سازی و ارتقاء آگاهی بهره‌برداران و ذی‌ربطان نیز از اموری است که به جهت افزایش کارایی و اثربخشی بکارگیری فناوری‌ها، ضرورت دارد.

مطالعات سناریوهای مدیریتی مزرعه نشان داده است، افزایش مصرف کود نیتروژن و معرفی و بکارگیری ارقام جدید محصولات، مانند ذرت، قابلیت جبران کاهش عملکرد ناشی از تغییر اقلیم را تا یک درجه سانتی‌گراد دارد. اما با افزایش بیشتر دما، روند عملکرد مسلماً کاهش یافته و مقدار این کاهش، بسته به استان‌ها با پایه‌های دمایی مختلف، متفاوت خواهد بود. با این وجود روند جهانی تغییر اقلیم نشان از تأثیر قوی آن روی سیستم‌های زراعی می‌دهد (Eyshi Rezaei و Lashkari, 2019) که این خود ضرورت توجه به استراتژی‌های انطباق را طلب می‌نماید.

بحث و نتیجه‌گیری

باتوجه به سیاست‌گذاری‌های افزایش جمعیتی و روند روزافزون تقاضا به غذا و استفاده بی‌رویه عوامل تولید از جمله منابع آب و خاک و نیز تنزل شدید این منابع از جنبه‌های کمی و کیفی و از طرفی وضعیت سودمندی زمین‌های کشور، عملاً امکان گسترش سطوح زیر کشت را منتفی دانسته، بنابراین گواه چالشی بزرگ،

در تأمین و حفظ امنیت غذایی برای کشور می‌باشد. در خصوص شرایط حاکم از ناحیه تغییر اقلیم بر سیستم‌های زراعی و تولیدات کشاورزی، نیاز جدی و فوری به طراحی استراتژی‌های انطباق وجود دارد. پیاده‌سازی استراتژی‌های انطباق با تغییر اقلیم شاید بتواند باعث کاهش اثرات منفی تحت شرایط متوسط تغییر اقلیم شود. تا جایی که رابطه بین تغییر اقلیم و تولید غذا تا حدود زیادی به زمان و نوع و نحوه اقدامات انطباق بستگی دارد. اما تغییرات شدیدتر اقلیمی موجب ضررهای فراوانی به امنیت غذایی کشور خواهد شد. در نتیجه بایستی سراغ منشاء تغییرات اقلیمی را گرفت که عوامل انسانی می‌باشند. در همین راستا آثار و تبعات خسارت‌بار سیل که در واقع یک پدیده طبیعی است (که البته در شرایط تغییر اقلیم شدت و تواتر آن زیاد شده است)، ناشی از هم‌نشینی ناسازگار و نامتناسب دخالت‌های انسانی با فرآیندهای طبیعی است. در این خصوص اجرای برنامه‌های حفاظت آب و خاک در منشاء تولید سیلاب به‌صورت چندمنظوره و تلفیقی با تأکید بر رویکرد مشارکت حداکثری جوامع محلی و نیز انطباق الگوهای کشت با نگرش نوین و سازگار با مخاطرات طبیعی ضروری می‌نماید (وزارت نیرو، ۱۳۹۹).

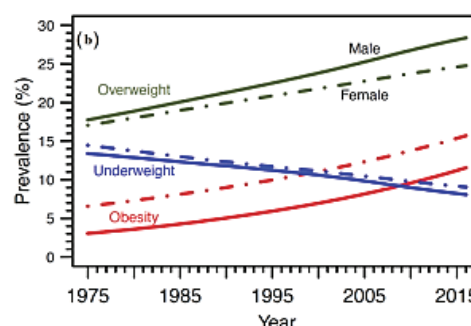
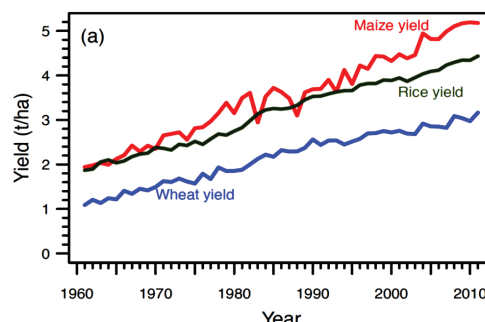
هرچند هم‌سویی رشد جمعیت و تغییر اقلیم تهدید امنیت غذایی را جدی‌تر نموده، اما برای برون‌رفت از آن و کاهش خطر جدی کمبود غذا، اجماع دیدگاه و همکاری جهانی برای تأمین درازمدت امنیت غذایی در برخی موضوعات فراهم شده است. از جمله این موضوعات اینکه مشکلات و ضعف‌های بخش کشاورزی مبنای علمی واحدی دارند. نکته دیگر وجود بانک اطلاعاتی جامع و دربرگیرنده اطلاعات همه عوامل تأثیرگذار بر بهره‌وری کشاورزی و علاوه بر آن در دسترس بودن شبکه علمی صاحب‌نظران و دانشمندان ملی و بین‌المللی از طریق فضای مجازی می‌باشد.

ذکر این نکته ضروری است که به هر حال به منظور برون‌رفت از وضعیت عدم توازن مابین افزایش تقاضا به غذا و انرژی از یک سو و تنزل کمی و کیفی منابع (آب و خاک و...) از سوی دیگر، بایستی بکارگیری بیش از پیش فناوری‌های کارآمد و اثربخش (سخت‌افزاری، نرم‌افزاری و مدیریتی) در راستای ارتقای بهره‌وری منابع، مورد توجه دست اندرکاران و تصمیم‌گیران قرار گیرد. اما بایستی توجه داشت که توفیق در امر و تحقق امنیت غذایی نگاهی فراتر از تولیدمحوری و صرف اتکا به عوامل طبیعی تولید است. این بدان معناست که باتوجه به ویژگی چند وجهی امنیت غذایی و حفظ آن، نگرش فرادستگاهی و حکمرانی خوب غذایی که در آن ریسک‌های غذایی، انواع استانداردها و در نهایت تجارت غذا بررسی می‌شود، ضرورتی جدی است.

- ture, Published online: 07 August 2017, www.nature.com/Scientificreports
- Moore F. and Lobell D. B. 2014. Adaptation potential of European agriculture in response to climate change. *Nature Climate Change*, 4(610): 614. DOI:10.1038/nclimate2228.
- Nassiri M., Koocheki A., Kamali G. A. and Shahandeh H. 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. *Agronomy and Soil Science*, 52(1): 113-124.
- Porter J.R., Xie L., Challinor A.J., Cochrane K., Howden S.M., Iqbal M.M., Lobell D.B. and Travasso M.I. 2014. Food security and food production systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 485-533.
- Karimi V., Karami E. and Keshavarz M. 2018. Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1): 1-15.
- Leck H., Conway D., Bradshaw M. and Rees J. 2015. Tracing the water energy food nexus: description, theory and practice *Geogr. Compass* 9 445-460.
- Lobell DB, Roberts MJ, Schlenker W, Braun N, Little BB, Rejesus RM, Hammer GL. 2014. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the U.S. Midwest. *Science*, 344 (6183): 516-519. doi: 10.1126/science.1251423. PMID: 24786079.
- Valizadeh J., Ziaei S. M. and Mazloumzadeh S. M. 2014. Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13: 107-115.
- طاهری میرانی، نرجس. ۱۳۹۴. آسیب‌شناسی امنیت غذایی در ایران، مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی.
- وزارت نیرو، مرکز امور اجتماعی منابع آب و انرژی. ۱۳۹۹. خلاصه یافته‌ها و درس آموخته‌ها و پیشنهادهای گزارش ملی سیلاب‌ها.
- Asseng S., Ewert F., Martre P. et al. 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nat. Clim. Change*, 5(2): 143-147. doi:10.1038/nclimate2470.
- Bannayan M. and Eyshi Rezaei E. 2014. Future production of rainfed wheat in Iran (Khorasan province): Climate change scenario analysis. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19: 211-227.
- Eyshi Rezaei E. and Lashkari A. 2019. The consequences of change in management practices on maize yield under climate warming in Iran. *Theor Appl Climatol*, 137: 1001-1013.
- Ingram J. 2011. A food systems approach to researching interactions between food security and global environmental change. *Food Security*, 3(4): 417-431.
- Shifteh Some'e B., Ezani A. and Tabari H. 2012. Spatiotemporal trends and change point of precipitation in Iran. *Atmospheric Research*, 113: 1-12.
- Maddah V., Soltani A., Zeinali E. and Bannayan M. 2015. Simulating climate change impacts on wheat production in Gorgan, Iran. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 4: 58-67.
- Mesgaran M., Madani K., Hashemi H., and Pooya Azadi P. 2016. Evaluation of Land and Precipitation for Agriculture in Iran, Stanford Iran 2040 Project, Working Paper #2 December 2016, P(28).
- Mesgaran M., Madani K., Hashemi H. and Pooya Azadi P. 2017. Iran's Land Suitability for Agriculture

مقدمه

کشاورزی در بسیاری از کشورها به عنوان یک فعالیت اقتصادی، تولید کننده ۱ تا ۶۰ درصد (با میانگین جهانی حدود ۴٪ در سال ۲۰۱۷) تولید ناخالص داخلی است. سامانه فعلی غذا (تولید، حمل و نقل، فرآوری، بسته بندی، ذخیره سازی، خرده فروشی، مصرف و پسماند) مسئول تغذیه جمعیت عظیم جهان و در ارتباط مستقیم با معیشت بیش از ۱ میلیارد نفر می باشد. از سال ۱۹۶۱، عرضه سرانه مواد غذایی تا بیش از ۳۰٪ فزونی یافته که این امر در نتیجه افزایش مصرف کودهای ازته (افزایش حدود ۸۰٪) و منابع آبی برای آبیاری (افزایش بیش از ۱۰۰) بوده است. با این وجود، در حال حاضر در جهان بیش از ۸۲۱ میلیون انسان در شرایط فقر به سر می برند و از طرفی ۲ میلیارد بزرگسال دچار اضافه وزن و چاقی هستند (شکل ۱). سامانه غذا در شرایط کنونی تحت فشار عوامل تنش زای غیر اقلیمی (همچون رشد جمعیت و درآمد، تقاضا برای محصولات دامی) و تغییرات اقلیمی قرار دارد. چنین تنش هایی بر چهار رکن امنیت غذایی (موجود بودن غذا، دسترسی به مواد غذایی، مصرف آن و ثبات در دریافت غذا) تأثیر گذاشته است.



شکل ۱- روندهای جهانی (a) عملکرد ذرت، برنج و گندم (سه محصول عمده در جهان) (b) شیوع اضافه وزن، چاقی و کم وزنی

رشد سریع بهره‌وری کشاورزی از دهه ۱۹۶۰ تاکنون، زیربنای توسعه سامانه جهانی فعلی غذا است که هم محرک اصلی تغییر اقلیمی محسوب می‌شود و هم به‌طور فزاینده‌ای نسبت به آن آسیب‌پذیر است. با توجه به سامانه فعلی غذا، سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)^۱ تخمین زده است، به‌منظور تغذیه جمعیت در حال افزایش جهان، نیاز به تولید حدود ۵۰٪ مواد غذایی بیشتر تا سال ۲۰۵۰ می‌باشد. این امر منجر به افزایش قابل توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG)^۲ و سایر اثرات زیست‌محیطی از جمله کاهش تنوع زیستی خواهد شد. این سازمان پیش‌بینی کرده تا سال ۲۰۵۰، سطح زمین‌های زراعی به میزان ۳۲۵-۹۰ Mha افزایش خواهد یافت. این مقدار بین ۶٪ تا ۲۱٪ بیش از سطح زمین‌های زیر کشت در سال ۲۰۱۰ (بسته به سناریوی تغییر اقلیم و مسیر توسعه) خواهد بود. کمترین افزایش سطح زیر کشت تحت سناریوهای کاهش ضایعات و پسماند مواد غذایی و اتخاذ رژیم‌های غذایی پایدارتر به‌دست آمده است.

وضعیت فعلی سامانه غذایی، امنیت غذایی و تغییر اقلیم

تغییر اقلیم بر مقدار غذا از دو طریق تأثیرگذار است: ۱- اثر مستقیم بر عملکرد محصولات زراعی و ۲- اثرات غیر مستقیم بر میزان دسترسی به آب و کیفیت آن، آفات و بیماری‌ها و گرده افشانی. تغییر اقلیم از طریق تغییر در مقدار CO₂ جو و اثرگذاری آن بر زیست توده، کیفیت و ارزش غذایی محصولات نیز بر تولید غذا موثر می‌باشد.

تغییر اقلیم با افزایش دما، تغییرات در الگوهای بارش و افزایش فراوانی رویدادهای فرین (سیل، خشکسالی و ...) بر امنیت غذایی موثر بوده است. نتایج پژوهش‌هایی که تغییرات اقلیمی را از سایر عوامل موثر بر عملکرد محصول تفکیک کرده نشان می‌دهد، طی دهه‌های اخیر، عملکرد برخی از محصولات (به‌عنوان مثال، ذرت و گندم) در بسیاری از مناطق واقع در عرض جغرافیایی پایین تحت تأثیر تغییر اقلیم کاهش یافته، در حالی‌که در مناطق واقع در عرض‌های بالاتر، عملکرد این محصولات تحت تأثیر آن، افزایش یافته است. براساس دانش بومی و محلی (ILK)^۳، در حال حاضر، تغییر اقلیم در مناطق خشک، به‌ویژه مناطق آفریقا و نواحی مرتفع کوهستانی آسیا و جنوب آمریکا بر امنیت غذایی تأثیر گذاشته است.

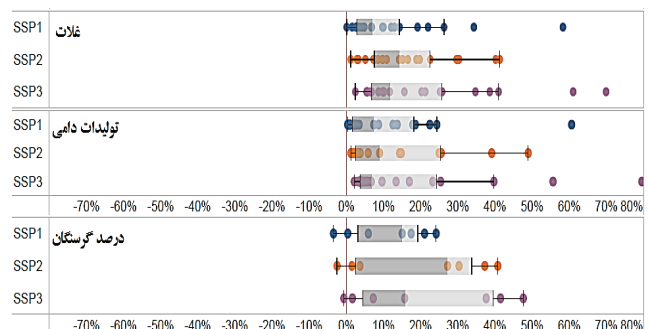
آسیب‌پذیری سامانه‌های دامپروری در برابر تغییرات اقلیمی بسیار بالا است. دامپروری در بیش از ۷۵٪ کشورها انجام می‌شود و بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلیون نفر از جوامع عشایری، دامداران کوچ نشین و بادیه نشینان از این طریق امرار معاش می‌کنند. در آفریقا، تأثیرات تغییر اقلیم بر این سامانه‌ها شامل کاهش سطح مراتع و تولیدات دامی، صدمه به تولید مثل و کاهش تنوع زیستی است. آسیب‌پذیری سامانه دامپروری با اثرات ناشی از عوامل غیراقلیمی (تصدی‌گری زمین، ساکن کردن عشایر، تغییر در نهادهای سنتی، گونه‌های مهاجم، نبود بازار و درگیری و اغتشاش) تشدید می‌شود.

میوه و سبزیجات به‌عنوان یکی از اجزای اصلی رژیم‌های غذایی در برابر تغییر اقلیم آسیب‌پذیر هستند. براساس پیش‌نگری‌های انجام شده، کاهش عملکرد و عدم سازگاری محصولات زراعی در دمای بالاتر به‌ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری رخ خواهد داد. تنش‌های گرمایی منجر به کاهش توسعه میوه و سرعت رشد سبزیجات سالانه شده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد، اختلال در کیفیت محصول و افزایش اتلاف و پسماند می‌شود. جنبه مثبت تغییر اقلیم، افزایش طول فصل رشد است که این امر امکان تعدد کاشت و در نهایت افزایش احتمالی عملکرد و بازده سالانه را در پی خواهد داشت. از طرفی ممکن است به دلیل رخداد زمستان‌های گرمتر، برای برخی از محصولات باغی و سبزیجات که برای تولید مناسب نیازمند یک دوره سرمادهی هستند، این نیاز سرمایایی تأمین نشود.

گزینه‌های سازگاری با تغییر اقلیم در سامانه غذایی

به‌منظور گسترش سازگاری در کل سامانه غذا، بسیاری از اقدامات را می‌توان بهینه و به نسبت ثابت افزایش داد. گزینه‌های جانبی شامل افزایش مواد آلی خاک و کنترل فرسایش، بهبود زمین‌های زراعی، مدیریت مراتع و اصلاحات ژنتیکی به‌منظور آزاد سازی ارقام متحمل به گرما و خشکسالی است. تنوع در سامانه غذایی (به‌عنوان مثال، پیاده‌سازی سامانه‌های تولید یکپارچه، منابع ژنتیکی گسترده و رژیم‌های غذایی ناهمگن) رهیافتی مهم به‌منظور کاهش خطرپذیری است. بهینه کردن مصرف در کنار تقاضا به‌عنوان مثال اتخاذ رژیم‌های غذایی سالم و پایدار، همراه با کاهش ضایعات و پسماندها، می‌تواند از طریق کاهش سطح زیر کشت مورد نیاز برای محصول و کاهش آسیب‌پذیری سامانه غذایی مرتبط، به سازگاری کمک نماید. دانش بومی و محلی نیز می‌تواند در افزایش انعطاف‌پذیری سامانه غذا موثر باشد.

براساس پیش‌نگری‌های انجام شده، تغییر اقلیم به‌طور فزاینده‌ای امنیت غذایی را متأثر خواهد کرد. براساس نتایج حاصل از مدل‌های جهانی اقتصادی، مدل‌های شبیه سازی عملکرد محصولات زراعی و تحت سناریوهای خط سیر مشترک اقتصادی-اجتماعی (SSPs)^{۱، ۲} و ۳ (سناریوهای SSP، جدیدترین سناریوهای اقلیمی هستند که تلفیقی از سناریوهای اقتصادی-اجتماعی با در نظر گرفتن میزان واداشت انرژی تابشی خورشیدی (RCP)^۳ می‌باشند)، احتمالاً در سال ۲۰۵۰ قیمت غلات ۱-۲۹٪ به دلیل تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت که نتیجه آن در مقیاس جهانی، افزایش قیمت غذا خواهد بود (شکل ۲). در مقیاس منطقه‌ای این تأثیر متفاوت بوده و در این بین، به‌ویژه مصرف کنندگان با درآمد پایین، خطرپذیری بالایی نسبت آن خواهند داشت به‌طوری‌که مدل‌ها تحت سناریوهای SSPs در مقایسه با سناریوهایی بدون لحاظ تغییر اقلیم، افزوده شدن ۱ تا ۱۸۳ میلیون نفر را به جمع گرسنگان دنیا، پیش‌بینی کرده‌اند. با وجود آنکه پیش‌بینی شده افزایش CO₂ در شرایط افزایش کمتر دما، مزایایی برای عملکرد محصولات زراعی در پی خواهد داشت اما همراه با آن، کاهش ارزش غذایی این محصولات نیز پیش‌نگری شده است (گندم کشت شده در غلظت ppm ۵۴۶-۵۸۶ دی‌اکسیدکربن به میزان ۱۲/۷-۵/۹ درصد پروتئین، ۶/۵-۳/۷ درصد روی و ۵/۲-۷/۵ درصد آهن کمتری خواهد داشت). پراکنش جغرافیایی حشرات و بیماری‌ها تغییر یافته و در پی چنین جابجایی‌هایی، احتمال ظهور بیماری‌ها و آفات جدید در بسیاری از مناطق دنیا وجود خواهد داشت و این امر بر تولید محصولات اثر منفی خواهد داشت. افزایش رویدادهای فرین و به‌هم پیوستگی و ترکیب آن‌ها با یکدیگر، خطرپذیری ناشی از اختلال در سامانه غذا را افزایش خواهد داد.



شکل ۲- درصد تغییرات پیش‌نگری شده در قیمت جهانی غلات، تولیدات دامی و درصد تغییرات جمعیت در معرض خطر گرسنگی در جهان تا سال ۲۰۵۰.

سامانه غذا مسئول حدود ۲۱ تا ۳۷ درصد از کل انتشار GHG است. این مقدار گاز از طریق کشاورزی و کاربری زمین، ذخیره سازی، حمل و نقل، بسته بندی، فرآوری، خرده فروشی و مصرف منتشر می شود و شامل انتشار ۱۴-۹٪ از فعالیت های زراعی و دامی در سطح مزرعه، ۱۴-۵٪ ناشی از کاربری زمین و تغییر کاربری زمین مانند جنگل زدایی و تخریب زمین های حاوی زغال سنگ و ۱۰-۵٪ مربوط به فعالیت های زنجیره تأمین غذا است. این برآورد شامل انتشار GHG ناشی از ضایعات و پسماند مواد غذایی نیز می شود. در سامانه غذا، طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۷، عمده ترین منبع تولید GHG، ناشی از عرضه تولیدات کشاورزی بود، فعالیت های زراعی و دامی در محیط مزرعه عامل انتشار به ترتیب $142 \pm 42 \text{ TgCH}_4 \text{ yr}^{-1}$ و $8 \pm 2/5 \text{ TgN}_2\text{O yr}^{-1}$ بودند. انتشار CO_2 مربوط به پویایی تغییرات کاربری اراضی به میزان $4/9 \pm 2/5 \text{ GtCO}_2 \text{ yr}^{-1}$ محاسبه شده است. با استفاده از برآورد مقادیر ۱۰۰ ساله GWP^* (بدون بازخورد اقلیم) مربوط به گزارش پنجم IPCC، نشان داده شد کل انتشار گازهای گلخانه ای از بخش کشاورزی، $11/4 \pm 6/2$ گیگا تن گاز معادل CO_2 بر سال بوده است که با تغییر در کاربری اراضی طی این مدت، به میزان $11/1 \pm 2/19 \text{ GtCO}_2\text{-eq yr}^{-1}$ افزایش یافتند. بدون مداخله و تعدیل، این مقادیر احتمالاً تا سال ۲۰۵۰ به علت افزایش تقاضا به دلیل رشد جمعیت، درآمد و تغییر رژیم غذایی، حدود ۳۰-۴۰٪ افزایش یابد.

سامانه های پایدار غذایی

در کنار اصلاح شیوه های تولید، می توان از طریق سامانه های پایدار غذایی و با کاهش انتشار GHG ناشی از فعالیت های کشاورزی و دامپروری (ترسیب کربن در خاک و توده زنده و با کاهش شدت انتشار) به تعدیل کاهش تغییر اقلیم کمک کرد. برآورد کل پتانسیل تعدیل مربوط به فعالیت های دامپروری، زراعی و جنگلداری تا سال ۲۰۵۰ به میزان $2/3 - 9/6 \text{ GtCO}_2\text{-eq yr}^{-1}$ می باشد. گزینه هایی چون ترسیب کربن خاک، کاهش انتشار N_2O از کودها، کاهش انتشار CH_4 از شالیزار و رساندن سطح عملکرد در مزرعه به عملکرد بهینه آزمایشگاهی، جز گزینه هایی با پتانسیل بالا در تعدیل گازهای گلخانه ای

محسوب می شوند. این گزینه ها در سامانه های دامپروری شامل مدیریت بهینه مراتع با افزایش تولید خالص اولیه و ذخایر کربن خاک و بهبود مدیریت کود و تغذیه می باشند. کاهش شدت انتشار GHG (انتشار به ازای هر واحد محصول) ناشی از فعالیت های دامپروری می تواند منجر به کاهش انتشار مطلق شود به شرطی که همزمان، استراتژی حاکمیتی مناسب برای محدود کردن تولید کل محصولات دامی اجرایی شده باشد.

مصرف رژیم های غذایی سالم و پایدار، فرصت هایی را برای کاهش انتشار GHG از سامانه های غذا و بهبود سلامت به همراه دارد. نمونه هایی از رژیم های غذایی سالم و پایدار شامل مصرف بیشتر حبوبات، میوه و سبزیجات، آجیل و دانه ها و مصرف کمتر غذاهای حیوانی با انرژی بالا و تنقلات (مانند نوشیدنی های شیرین) می باشد. کل پتانسیل فنی تعدیل ناشی از تغییر در رژیم غذایی تا سال ۲۰۵۰ به میزان $0/7 - 8 \text{ GtCO}_2\text{-eq yr}^{-1}$ برآورد شده است که شامل کاهش انتشار از دامداری ها و ترسیب کربن خاک در زمین های بایر می باشد و در این میان، مزایای جانبی آن برای سلامتی به حساب نیامده است. پتانسیل تعدیل ناشی از تغییر رژیم غذایی احتمالاً بیشتر خواهد بود اما دستیابی به چنین پتانسیلی در مقیاس گسترده، به گزینه های مصرف کنندگان و ترجیحات آنان در رژیم غذایی بستگی دارد و لازم است با استفاده از عوامل اجتماعی، فرهنگی، محیط زیستی و عوامل سنتی و رشد درآمد اصلاح شود. همچنین اگرچه ممکن است استفاده از جایگزین های گوشت مانند گوشت تولیدی از محصولات گیاهی، گوشت پرورشی و حشرات، منجر به استقرار رژیم های غذایی سالم و پایدار شود اما رد پای کربن و میزان پذیرش و استقبال از این نوع محصولات جایگزین ها در بین جوامع مشخص نیست.

با کاهش ضایعات و پسماندهای غذایی نیز می توان انتشار GHG را کاهش داد. مجموع اتلاف و پسماند، حدود ۳۰-۲۵٪ کل غذای تولیدی است. طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۱۰، ضایعات و پسماند غذا، مسئول ۸-۱۰ درصد مجموع انتشار GHG و تحمیل هزینه ای بالغ بر ۱ تریلیون USD ۲۰۱۲ می باشد. گزینه های فنی برای کاهش اتلاف و پسماند شامل بهبود روش های برداشت و زیرساخت ذخیره در مزرعه و بسته بندی می باشد. تمایز مهم در سطح منطقه ای و در بین کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، در اتلاف غذا (به عنوان مثال، عدم وجود یخچال) و پسماند (به عنوان مثال ناشی از طرز رفتار) می باشد.

غذا به سمت انجام اقدامات ترکیبی تغییر یابد. به منظور سازگاری و تعدیل در کل سامانه غذایی، لازم است شرایط تحقق آن از طریق خط مشی‌های سیاسی، بازارها، موسسات پژوهشی و حاکمیتی فراهم شود. با هدف دستیابی به سازگاری، می‌توان تاب‌آوری در برابر افزایش رویدادهای حدی را از طریق مکانیزم‌های اشتراک و انتقال خطرپذیری از طریق بازارهای بیمه و بیمه‌های مبتنی بر شاخص‌های آب‌وهوایی به انجام رساند. سیاست‌های عمومی سلامت برای بهبود تغذیه مانند مشوق‌های بیمه درمانی و افزایش کمپین‌های آگاهی دهنده می‌تواند به‌طور بالقوه تقاضا را تغییر داده و هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی را کاهش و به محدود کردن انتشار GHG کمک نماید. بدون گنجاندن پاسخ‌های جامع سامانه غذایی در سیاست‌های کلی تغییر اقلیم، پتانسیل‌های تعدیل و سازگاری ارزیابی شده توسط مراجع ذی‌ربط محقق نمی‌شود و امنیت غذایی به خطر خواهد افتاد.

منابع

Mbow C., Rosenzweig C., Barioni L.G., Benton T.G., Herrero M., Krishnapillai M., Liwenga E., Pradhan P., Rivera-Ferre M.G., Sapkota T., Tubiello F.N. and Xu Y., 2019. Food Security In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [Shukla P. R., Skea J., Calvo Buendia E., Masson-Delmotte V., Portner H.O., Roberts D. C., Zhai P., Slade R., Connors S., van Diemen R., Ferrat M., Haughey S., Luz S., Neogi M., Pathak, Petzold M., Portugal Pereira J., Vyas P., Huntley E., Kissick K., Belkacemi M., Malley J., (eds.)]. In press.

کشاورزی و سامانه غذا کلید پاسخ به تغییر اقلیم جهانی است. ترکیبی از اقدامات در زمینه تولید غذا مانند تولید موثر، انتقال و فراوری در کنار مداخلات به منظور تعدیل گزینه‌های غذایی و کاهش اتلاف و پسماند، منجر به کاهش انتشار GHG و بهبود تاب‌آوری این سامانه‌ها خواهد شد. چنین اقدامات ترکیبی، امکان دستیابی به تعدیل و سازگاری با تغییر اقلیم در مقیاس بزرگ مبتنی بر اراضی را بدون ایجاد تهدید برای امنیت غذایی (افزایش رقابت برای زمین و تولید غذا با قیمت‌های بالاتر) فراهم می‌آورد. عدم لحاظ چنین اقداماتی ترکیبی در سامانه غذا، مدیریت مزرعه و زنجیره تامین و تقاضا، ممکن است منجر به اثرات معکوسی مانند افزایش تعداد انسان‌های دارای سوتغذیه و تأثیر منفی بر خرده مالکان شود. به‌منظور رویارویی با چنین چالش‌هایی لازم است رویکرد سامانه فعلی

پی‌نوشت

- 1-Food and Agriculture Organization of the United Nations
- 2-Greenhouse Gas
- 3-Indigenous and Local Knowledge
- 4-The shared socio-Economic Path ways
- 5-The Representative Concentration Pathways
- ۶- پتانسیل گرمایش کره زمین (Global Warming Potential) به‌منظور مقایسه تأثیرات گرمایش جهانی ناشی از گازهای مختلف ارائه شده است. به‌طور خاص، GWP مقیاسی برای برآورد مقدار انرژی جذب شده ناشی از انتشار یک تن گاز طی یک مدت زمان معین نسبت به مقدار انرژی جذب شده ناشی از انتشار ۱ تن دی اکسید کربن است. هرچه GWP بزرگتر باشد، نشان دهنده این است که یک گاز طی دوره معین در مقایسه با CO₂ گرمایش بیشتری را موجب می‌شود. مدت زمانی که معمولاً برای GWP در نظر گرفته می‌شود ۱۰۰ سال است.



از هر دری ...

مصاحبه با دکتر کامران داوری

رئیس پژوهشکده آب و محیط‌زیست
دانشگاه فردوسی مشهد

افت آبخوان مجوزهای برداشت آب داده نمی‌شد، بلکه خرید و فروش مجوزهای موجود در آن زمان مرسوم می‌گردید، محدودیت منابع آب آشکار می‌گشت و توسعه آب-طلب تا بدین حد، بسط نمی‌یافت. باید یادآوری کنم که در مشهد، اولین علایم افت آبخوان در نیمه اول دهه ۴۰ شمسی مشاهده شد و در نیمه دوم همان دهه، این آبخوان ممنوعه اعلام گردیده است.

علی‌رغم وضعیت وخیم کنونی، یک خصوصیت بارز خراسان رضوی، همگرایی کلیه کنشگران برای مهار این شرایط و برای دستیابی به تعادل منابع و مصارف آب است. این همگرایی از حدود سال ۱۳۹۰ به سبب سابقه تلاش جمعی (در قالب برنامه‌های متعدد) برای حل مشکل آب شکل گرفته است و ادامه دارد. آخرین برنامه جمعی (که اکنون در جریان است)، طرح همیاران آب استان است که اقدامی هم راستا با برنامه سازگاری با کم‌آبی وزارت نیرو است، اما کامل‌تر و جامع‌تر از آن.

پرسش: پر بارانی دو سال آبی پیاپی (مهر ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۹) موجب بروز نظریاتی در مورد تغییر اقلیم و ورود به دوران ترسالی گشته است. لطفاً بفرمایید در این خصوص چه نظری دارید؟

پاسخ: برآورد وضعیت آب و هوای در دراز مدت و تغییر اقلیم (یا بهتر بگوییم: گرمایش جهانی) متفاوت از یکدیگرند. برآورد کوتاه و بلندمدت وضعیت آب و هوا، با دو روش میسر است. اول بر اساس احتمالات وقوع و روندهای مشاهده شده در گذشته (Prediction) که تکنیک‌ها و مدل‌های سری‌های زمانی هم در زمره همین دسته هستند. این نوع برآوردها که مبتنی بر فرض «تکرار گذشته در آینده» هستند، به هیچ وجه قطعی نبوده و دارای عدم قطعیت بالایی هستند. روش دوم مدل‌سازی بر اساس روابط فیزیکی است (Forecast). این روش نیز به دلیل آشوبناکی (Chaotic) پدیده‌های جوی، از عدم قطعیت بالایی برخوردار است.

پیش‌بینی هواشناسی بسته به موقعیت جغرافیایی و فصل بین ۳ تا ۷ روز با جزئیات مکانی و زمانی نسبتاً بالایی ممکن است و سپس از روایی آن به سرعت کاسته می‌شود. پیش‌بینی‌های بلندمدت عموماً تفکیک مکانی و زمانی کم دقتی دارند. لذا، توصیه‌بنده این است که این خبرها را قطعی تلقی نفرمایید؛ البته به آنها باید توجه نمود؛ اما با نگاهی محافظه‌کارانه و نه خوش‌بینانه.

از دید مدیریت منابع آب، برداشت‌های ما از آب زیرزمینی در هر دشت باید کمتر از ۷۵ درصد تجدیدپذیری این منابع باشد. بنابراین تا رسیدن به این هدف و سپس تا احیای اکوسیستم‌های آبی از دست رفته (جریان چشمه‌ها و رودخانه‌ها و ...)، ما در

پرسش: ضمن سپاس از شما برای قبول دعوت ما، لطفاً در ابتدا به اختصار بفرمایید که امروزه شرایط آبی کشور چگونه است؟
پاسخ: متأسفانه در بسیاری از دشت‌های کشور با عدم تعادل منابع-مصارف آب روبرو هستیم، به ویژه در دشت‌هایی که جمعیت، تمرکز یافته است. این عدم تعادل، اولاً موجب زوال تدریجی منابع آب زیرزمینی در هر دو بُعد کمی و کیفی بوده و هست. ثانیاً تبعاتی چون نشست زمین و از دست رفتن تخلخل آبخوان را همراه خود دارد. از همه مهم‌تر با استمرار این شرایط، از تاب‌آوری توسعه در این دشت‌ها کاسته می‌شود. یعنی خدای ناکرده وقوع یک خشکسالی شدید و طولانی، ممکن است صدمات شدید اقتصادی/زیست‌محیطی/اجتماعی در پی داشته باشد. ان‌شاءالله که تدبیر مدیران و خردورزی جمعی مانع این عقوبت شوم گردد. البته در اجرای اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه، باید تسریع و تعجیل نمود.

پرسش: چه مواردی در شرایط آبی استان خراسان رضوی قابل توجه است؟

پاسخ: نسبت به سایر مناطق کشور، خراسان رضوی یکی از استان‌های خشک کشور است. بدین سبب وابستگی استان به آب‌های زیرزمینی بسیار زیاد است. بنابراین خراسان رضوی باید از آب‌های زیرزمینی خود مراقبت بسیار بیشتری نماید؛ اما چنین نبوده و نیست. برای سالیان بسیار، خراسان رضوی بیشترین کسری مخزن (کاهش سالانه حجم آب‌های زیرزمینی) را داشته است. همچنین، شوری آب‌های زیرزمینی استان در حال افزایش است. این موارد، بسیار نگران‌کننده هستند.

ریشه این وخامت، عدم توازن میان توسعه فعالیت‌ها (عمدتاً آب‌بر) با توان و ظرفیت منابع آب استان می‌باشند. اما این توسعه با حمایت دستگاه متولی آب (یعنی وزارت نیرو و نماینده او در استان، یعنی شرکت آب منطقه‌ای) ممکن شده است. زیرا، حتی پس از مشاهده سال‌ها افت آبخوان، همچنان مجوزهای برداشت آب صادر شده است. در حالیکه، اگر پس از مشاهده اولین علایم

وضعیت مناسبی نیستیم؛ حتی اگر ترسالی‌های متعدد و پیایی را شاهد باشیم. در واقع برای تضمین تاب‌آوری توسعه (در مقابل وقوع احتمالی خشکسالی‌های طولانی و شدید)، باید به دنبال آن باشیم که ذخایر مصرف شده در سال‌های گذشته (که موجب افت سفره آب زیرزمینی شده است) را جبران و عمق آبخوان را کاهش دهیم.

پرسش: دانشگاهیان چگونه می‌توانند در این شرایط تأثیرگذار باشند؟

پاسخ: دانشگاه نقشی چند بُعدی دارد. یعنی یک استاد دانشگاه به دلیل دانش و آگاهی باید رصدکننده شرایط باشد، نسبت به عواقب و تبعات تصمیمات نادرست روشنگری نماید، دانشجویان را با آخرین دستاوردهای علمی آشنا کند، نقادی را به دانشجویان بیاموزد و آنان را افرادی حساس به امور تخصصی بار آورد. ای بسا اگر تمامی اساتید چنین رویه‌ای را پیشه می‌ساختند و دانش‌آموختگانی آگاه و حساس تربیت می‌نمودند، اکنون شاهد این شرایط نبودیم. من البته خودم را نقد می‌کنم و به سایر همگنانم جسارت روا نمی‌دارم. علت اینکه برخی اساتید دانشگاه ایرادات را می‌بینند و دم بر نمی‌آورند، از چهار حالت خارج نیست: یأس نسبت به اثرگذاری، ترس از مواجه شدن با مخالفت، تردید در فهم علمی خود و نهایتاً عدم دسترسی به داده‌ها (که بیانگر وضعیت موجود هستند). اما هیچکدام از این علل بهانه کافی برای ترک مسئولیت اجتماعی دانشگاهیان نیست. در واقع دخالت تخصصی دانشگاهیان در امور جاری کشور، گام اول برای توسعه دانش بومی است. دانشی که مشکلات را شناسایی و متناسب با شرایط محلی و بومی، راه حل تجویز می‌نماید.

پرسش: وقتی از دانش بومی سخن می‌گویید، منظور شما چیست؟ آیا درس‌های دانشگاهی باید متناسب با شرایط بومی باشند؟ یا منظور دیگری مد نظر شما است؟

پاسخ: اجازه فرمایید تا ابتدا مقدمه‌ای عرض کنم. علم جهانی است و چیزی به جز انباشت تجارب بشر نیست. اما علوم معمولاً به دو گروه علوم دقیق (Exact science) و سایر علوم قابل تفکیک هستند. علوم دقیق، مانند ریاضیات و فیزیک و شیمی دارای فرمول‌های جهان‌شمول هستند. در حالیکه سایر علوم به دلیل تنوع در جزئیات به جای فرمول‌های دقیق، دارای فرمول‌های مفهومی و تجربی و یا حتی فقط دارای چارچوب هستند. در این گروه از علوم، براساس شرایط محلی و تحت بررسی، مدل مفهومی ساخته می‌شود. بیشتر اموری که با محیط طبیعی و

انسانی مربوط می‌شوند، از این نوع علم تبعیت می‌کنند. برای مثال شرایط محلی هیدرولوژیکی (اقلیم، خصوصیات زمین‌شناسی و ...) در بررسی **کمیت و کیفیت منابع آب** بسیار مؤثرند. مورد پیچیده‌تر **مدیریت آب** است که در آن شرایط هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی (یعنی محیط انسانی) تأثیرگذار هستند.

پژوهش‌های ما باید بر روی مسایلی که به آنها مواجه هستیم تمرکز یابند و گره‌گشای مشکلات باشند. به تدریج با این روش (با سعی و خطا در پژوهش‌ها) تجربه‌های قابل استناد (کمی و دقیق) فراهم می‌آیند که منجر به توسعه علم بومی خواهد گردید؛ علمی که حل مشکلات این بوم را هدف گرفته است.

با توجه به این توضیح، باید عرض کنم که، بله موضوعات تدریس در دانشگاه‌های ما باید معطوف به این شرایط محیطی باشند. به عنوان مثال، برای ما در شرق کشور آب‌های زیرزمینی بسیار مهم‌تر از آب‌های سطحی است و لذا باید در درس به آن توجه بیشتری بشود تا دانشجویانی تربیت شوند که توانمندی لازم برای درک و حل و فصل مسایل این محیط را داشته باشند. همچنین پژوهش‌های ما باید بر روی مسایلی که به آنها مواجه هستیم تمرکز یابند و گره‌گشای مشکلات باشند. به تدریج با این روش (با سعی و خطا در پژوهش‌ها) تجربه‌های قابل استناد (کمی و دقیق) فراهم می‌آیند که منجر به توسعه علم بومی خواهد گردید؛ علمی که حل مشکلات این بوم را هدف گرفته است.

پرسش: چه باید کرد که یافته‌های دانشگاه‌ها بتواند کاربرد بیشتری در رفع مشکلات کشور داشته باشد؟

پاسخ: به این پرسش از دو منظر باید پاسخ داده شود. اول گرایش فعالیت‌های دانشگاهی (اعم از آموزشی و پژوهشی) بر مسایل و مشکلات استان و کشور، و دوم ترویج یافته‌های کاربردی و مداخله در فضای اجرایی کشور. در بخش اول، باید روابطی ساختار یافته و ارگانیک میان بخش اجرایی کشور و دانشگاه‌ها ایجاد گردد. برای ترغیب و رشد چنین تعاملی ابتدا می‌توان ارزیابی هر دو، هم مدیران اجرایی و هم مدیران دانشگاهی، را وابسته به این تعامل نمود. هم اکنون منابع مالی قابل توجهی در نهادهای اجرایی صرف پژوهش می‌گردد که اگر در امتداد این تعامل ارگانیک بکار گرفته شود، برکات زیادی را به دنبال خواهد داشت. ضمناً با وجود این همه ظرفیت در دانشگاه‌های کشور، وجود سازمان‌ها و یا واحدهای پژوهشی

ذیل دستگاه‌های اجرایی را به شدت مضر برای چنین تعاملی می‌دانم؛ و امیدوارم این موارد هر چه زودتر به دانشگاه‌ها انتقال یابند.

در پاسخ به بخش دوم می‌توان انتشار نشریات ترویجی، مشارکت سازمانی دانشگاه در شوراها و کارگروه‌های اجرایی و سیاست‌گذاری استان و کشور و نیز برگزاری رویدادهای علمی-فناوری را برشمرد. این گونه رویدادها محل دیدار کارشناسان و مدیران دستگاه‌های اجرایی، پژوهشگران، مبتکران و نوآوران، و حتی فناوران است. نمونه آن، برگزاری رویدادهای آب در دانشگاه فردوسی مشهد مرتبط با حوزه «آب، خشکسالی، فرسایش و محیط زیست» است. رویداد با چنین تعریفی، ظرفی است برای تلاقی و مواجهه ایده‌ها و نیازها، توانمندی‌ها و فرصت‌ها، و ... با تمرکز جدی بر مسایل واقعی و با هدف رفع مشکلات کشور در این حوزه‌ها.

پرسش: مهمترین تفاوت این رویدادها با سایر همایش‌هایی که با این موضوع برگزار شده، چیست؟

پاسخ: در پاسخ به پرسش قبلی عرض کردم که رویکرد این رویدادها ایجاد فضایی برای تلاقی و مواجهه ایده‌ها و نیازها، توانمندی‌ها و فرصت‌ها و ... است؛ با تمرکز جدی بر مسایل واقعی و با هدف رفع مشکلات کشور در حوزه‌های آب و خاک

و محیط‌زیست. بنابراین، می‌توانم عرض کنم که در حال حاضر هیچ کدام از رویدادهای آب و محیط‌زیست در کشور چنین جامعیتی را در بر ندارند. همچنین اجازه دهید عرض کنم که بنده برگزاری یک کنگره سالانه فاخر و با کیفیت در عرصه آب و محیط زیست (به جای همایش‌های متفرق و متعدد) را آرزو کرده‌ام و پیگیر آن نیز هستم.

یادآوری می‌کنم که هر رویداد شامل کنفرانس‌ها، جشنواره فناوری، و نشست‌های تخصصی است؛ که مکمل یکدیگر بوده و هر یک، اهداف فرعی خود را دارند. بدیهی است تمرکز کنفرانس‌ها بیشتر بر بُعد پژوهشی و علمی است. در مقابل تمرکز جشنواره بر جنبه‌های کاربردی و فناورانه است؛ و در نهایت تمرکز نشست‌های تخصصی بر مسایل و مشکلات کشور و یافتن فرصت‌های اقدام می‌باشد. در دو جشنواره قبلی موفق شدیم تا چنین فضایی را به خوبی شکل بدهیم و این مرتبه اخیر نیز تمام برنامه‌ها با همین هدف تنظیم شده بود.

ضمناً مصوبات نشست‌های تخصصی پس از جشنواره دوم، در نشریه «آب و توسعه پایدار» به استحضار همگان رسیده است و برای رویداد سوم نیز منتشر خواهد شد. اصحاب رسانه و اعضای سمن‌های آب و محیط‌زیست را ترغیب می‌نمایم تا از حاضرین در این نشست‌ها نسبت به سرنوشت مصوبات، مطالبه‌گری کنند و نتیجه را هم‌رسانی نمایند.

In the Name of Allah

Journal of **Water** and Sustainable Development



Volume 7 - Issue 4 (Serial No. 18) - Winter 2021

Due to certificate no. 3/18/126631 dated 20/9/2015 from the scientific publications review Commission of the Ministry of Science, Research and Technology and also Due to registration number no76766 dated 25/1/2016 from the Ministry of Culture and Islamic Guidance, this journal has been licensed to publish.

Grantee
Manager in Charge
Editor in Chief

College of Agriculture , Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Shahnooshi Foroushani, N. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Ghahraman, B. Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

Bagheri, A. Asso. Prof., Tarbiat Modares University
Davary, K. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Esmaili, K. Asso. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Ghezelsoflo, A.A. Assis. Prof., Islamic Azad University of Mashhad
Jolaini, M. Asso. Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi
Meftah Halaghi, M. Asso. Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

Guiding Council

Sayahi, A., Assistance of research and industrial relations center of National Water and Wastewater Engineering Company (Chairman of the council)
Esmailian, H., Managing director of Mashhad Water & Wastewater Company
Alaei, M., 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
Ghahraman, B., Editor in chief

Advisory Editors

Noori Esfandiari, A., Representative of water Think tank at Iran Water Resources Management Company
Sajadifar, S.H., Representative of National Water & Wastewater Company
Tavakoli Aminian, S., Representative of Mashhad Water & Wastewater Company
Kalaei, GH., Representative of Mashhad Water & Wastewater Company
Kolahi, M., Ferdowsi University of Mashhad

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

Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.
Quchanian, M., Talebi Hossein Abad, F., Shahedi, M., Oskouhi, M.
Shaikhi, M.R.
Quarterly
Ferdowsi University of Mashhad
2423-5474
<https://jwsd.um.ac.ir/> Email: jwsd@um.ac.ir
Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. P.O.Box: 91775- 1163
Mashhad Water & Wastewater Company

The full text of the articles can be downloaded on the website

Articles in issue:

- **Sewage Treatment Method and its Role on Wastewater Price: Case Comparison of Sewage Treatment Plants No. 4 and 5 in Mashhad**

H. Zafari Koloukhi, A. Akbarzadeh, S.M. Tafazzoli

- **Effect of Hydropolitics Relations on the Nation-Building Process, Case Study: Rogun Dam Superstructure in Tajikistan**

A. Rashidi Nejad, M. Kaviani Rad, A. Motaghi Handnahi

- **Application of the Asymmetric Nash Bargaining Method to Optimal Allocation of Shared Water Resources under Water Bankruptcy Condition**

M. Iranshahi, S. Marofi, O. Nasiri Gheidai

- **Social Marketing in the Field of Water and Wastewater Industry Based on the Grounded Theory Approach**

A. Kalami, H. Mehrani, P. Saeedi, E. Abbasi

- **Investigating the Pattern of Water Consumption in Public Places (Case Study: Sistan and Baluchestan University)**

F. Narooei Marand, S. Safari, M. Givehchi

- **Comparison of the Performance of MISDc and HBV Hydrological Models in Runoff Simulation of Kakareza Basin in Lorestan Province**

A. Amiri, H. Salimi

- **Review on Soil Moisture Remote Sensing Techniques and Spatial Resolution Downscaling Methods**

E. Ghafari, A.R. Faridhosseini

- **Laboratory Study of the Deflector Effect of Flow Pattern on Water Retention and Debris Retention Efficiency**

E. Rostamzadeh, M.M. Ahmadi, M. Rahimpour

ISSN (Print): 2423-5474

