

آب و توسعه پایدار

سال پنجم - شماره اول (پیاپی ۱۰)
شهریورماه ۱۳۹۷

آب و جامعه



فهرست مقالات

- بررسی و تحلیل اثرات اقتصادی-اجتماعی و زیست محیطی عدم عرضه کافی آب سطحی از دید کشاورزان، مطالعه موردی: دشت ورامین-سد ماملو
محمد عرب، احمد فتاحی اردکانی، مسعود فهرستی ثانی
- برآورد توابع تقاضای آب خانگی شهر انار با تاکید بر مصارف داخلی و خارجی
الهه واثقی، محمدرضا زارع مهرجردی، سیمین محسنی
- تعیین و تحلیل عامل های موثر بر قیمت آب در قراردادهای BOT طرح های آب و فاضلاب با به کارگیری شبیه سازی پویایی سیستم
سیدعلی چاوشیان، مرتضی بیات و سیدحسین سجادی فر
- معرفی و تحلیل اقتصادی تصفیه خانه آب شرب شهر بیرجند
محسن عزیزی، علی شهیدی
- نگرشی بر مفهوم بازده انرژی در ایستگاه های پمپاژ آب کشاورزی
افشین یوسف گمرکچی، عاطفه پرورش ریزی
- روش حل معکوس پارامترها: کاربرد در تعیین تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی خاک در سیستم زهکشی دشت شادگان
وحید شهابی زاد، علیرضا حسن اقلی، عباس ستوده نیا
- مسائل و راهکارهای تسکین تغییر اقلیم از جنبه های مدیریت تولید در کشاورزی
نادر حیدری
- لزوم بازگشت پذیر ساختن سیستم های زهکشی شهری تحت شرایط غیر قطعی آینده
نگین بینش، محمدحسین نیک سخن، امین سارنگ
- شناسایی و تعیین میزان گسترش در آبکندهای فعال با استفاده از سنجش از راه دور
عباسعلی قزل سوفلو، محسن مغربی، فرزانه داروغه
- تحلیل مدیریت ریسک سیلاب براساس مفاهیم خطر، مواجهه و آسیب پذیری با ارائه چارچوب ها و مدل ها
محبوبه حاجی بیگلر، واحد بردی شیخ
- بررسی آثار پروژه های ملی سدسازی بر توسعه پایدار منطقه ای، مطالعه موردی: سد کارون ۳، شهرستان ایزه، خوزستان
علیرضا محمدی، طوبی چهارتنگی
- توصیه رویکردهای نوین در مدیریت سیلاب شهری
قاسم پناهی، کاظم اسماعیلی
- بررسی انواع مدل های مفهومی بیلان آب ماهانه
ایمان صانع، بهرام ثقفیان
- استفاده بهینه از آب باران راهکاری برای مقابله با کم آبی در مناطق خشک و نیمه خشک
زهرانوری، محمدعلی زارع چاوکی
- بازشناسی قنات، راهگشای توسعه پایدار در «تمدن کاریزی»، مطالعه موردی: قنات زارچ، استان یزد
خدیجه بوزرجمهری، سیده سمیه خاتمی
- در آمدی بر حمایت کیفری از حقوق آب
سید حسین حسینی، حسن یوسفی

سال پنجم - شماره اول (پیاپی ۱۰) - شهریور ۱۳۹۷

این نشریه طبق نامه شماره ۳/۱۸/۱۲۶۶۳۱ مورخ ۱۳۹۴/۰۶/۲۹ از کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم تحقیقات و فناوری، اعتبار علمی - ترویجی 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

سر دبیر

دانشگاه فردوسی مشهد

ناصر شاهنوشی فروشانی / استاد دانشگاه فردوسی مشهد

بیزن قهرمان / استاد 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
سید علیرضا طباطبایی / 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
بیزن قهرمان / سر دبیر 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
احمد قندهاری / شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی
مهدی کلاهی / دانشگاه فردوسی مشهد

کارشناس اجرایی

طراح جلد

ناشر / چاپ

شماره شاپا

رایانامه

تارنما

آدرس

حامی مالی

پایگاه های نمایه شده

مهری شاهی، فاطمه طالبی حسین آباد

محمدرضا شیخی

انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد / چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

۲۴۲۳-۵۴۷۴

jwsd@um.ac.ir

<http://jm.um.ac.ir/index.php/WSD>

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: علم جدید هیدرولوژی اجتماعی: مردم و آب / بیژن قهرمان (سردبیر نشریه) یادداشت کوتاه: آب، جامعه و علوم اجتماعی/ محمد فاضلی (رئیس مرکز امور اجتماعی منابع آب و انرژی وزارت نیرو)
۱	بررسی و تحلیل اثرات اقتصادی-اجتماعی و زیست محیطی عدم عرضه کافی آب سطحی از دید کشاورزان، مطالعه موردی: دشت ورامین-سد ماملو محمد عرب، احمد فتاحی اردکانی، مسعود فهرستی ثانی
۷	برآورد توابع تقاضای آب خانگی شهر انار با تاکید بر مصارف داخلی و خارجی الهه واثقی، محمدرضا زارع مهرجردی، سیمین محسنی
۱۳	تعیین و تحلیل عامل‌های موثر بر قیمت آب در قراردادهای BOT طرح‌های آب و فاضلاب با به کارگیری شبیه سازی پویایی سیستم سیدعلی چاوشیان، مرتضی بیات، سیدحسین سجادی‌فر
۲۱	معرفی و تحلیل اقتصادی تصفیه خانه آب شرب شهر بیرجند محسن عزیزی، علی شهیدی
۲۹	نگرشی بر مفهوم بازده انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ آب کشاورزی افشین یوسف گمرکچی، عاطفه پرورش‌ریزی
۳۷	روش حل معکوس پارامترها: کاربرد در تعیین تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی خاک در سیستم زهکشی دشت شادگان وحید شهابی‌زاد، علیرضا حسن‌اقلی، عباس ستوده‌نیا
۴۵	مسائل و راهکارهای تسکین تغییر اقلیم از جنبه‌های مدیریت تولید در کشاورزی نادر حیدری
۵۵	لزوم بازگشت‌پذیر ساختن سیستم‌های زهکشی شهری تحت شرایط غیر قطعی آینده نگین بینش، محمدحسین نیک‌سخن، امین سارنگ
۶۷	شناسایی و تعیین میزان گسترش در آبکننده‌های فعال با استفاده از سنجش از راه دور عباسعلی قزل سوفلو، محسن مغربی، فرزانه داروغه
۷۳	تحلیل مدیریت ریسک سیلاب براساس مفاهیم خطر، مواجهه و آسیب‌پذیری با ارائه چارچوب‌ها و مدل‌ها محبوبه حاجی بیگلو، واحد بردی شیخ
۸۳	بررسی آثار پروژه‌های ملی سدسازی بر توسعه پایدار منطقه‌ای، مطالعه موردی: سد کارون ۳، شهرستان ایذه، خوزستان علیرضا محمدی، طوبی چهارتنگی
۹۳	توصیه رویکردهای نوین در مدیریت سیلاب شهری قاسم پناهی، کاظم اسماعیلی
۱۰۱	بررسی انواع مدل‌های مفهومی بیلان آب ماهانه ایمان صانع، بهرام ثقفیان
۱۱۵	استفاده بهینه از آب باران راهکاری برای مقابله با کم آبی در مناطق خشک و نیمه خشک زهرا نوری، محمدعلی زارع چاهوکی
۱۲۳	بازشناسی قنات، راهگشای توسعه پایدار در "تمدن کاریزی"، مطالعه موردی: قنات زارچ، استان یزد خدیجه بوزرجمهری، سیده سمیه خاچی
۱۳۳	درآمدی بر حمایت کیفری از حقوق آب سیدحسین حسینی، حسن یوسفی
۱۴۳	آشنایی با نشریه و راهنمای چارچوب مقالات
۱۴۵	یادداشت تحلیلی: معرفی همبست (Nexus) و نقش آن در پایداری منابع/ شکیبا میرزایی
۱۴۷	گزارش: معرفی اهم فعالیتهای گروه تحقیقات شرکت آب و فاضلاب مشهد



علم جدید هیدرولوژی اجتماعی: مردم و آب

در علم هیدرولوژی گردید و این گونه موضوع جدید «هیدرولوژی اجتماعی» (Socio-hydrology) مطرح شد. هیدرولوژی اجتماعی، در چارچوب های اقتصاد و سیاست، از تحقق این واقعیت ظهور یافته است که امروزه جوامع انسانی، مهم ترین محرک تغییر چرخه های حیاتی از جمله آب، غذا و انرژی به شمار می آیند و این مسئله مرزهای علم هیدرولوژی را به سمت پذیرش انسان به عنوان جزئی تفکیک ناپذیر و یکپارچه با چرخه های هیدرولوژی سوق داده است.

این شاخه نوظهور از هیدرولوژی، در جستجوی درک معنادار پویایی، هم تکاملی (Co-evolution) و برهمکنش های سیستم های پیوسته انسان - آب است و به طور مؤثری یکپارچگی جامع جنبه های محیطی و اقتصادی - اجتماعی هیدرولوژی را در نظر دارد؛ و با تمرکز بر اصول علمی و بنیادین، به شناسایی و تحلیل این عوامل در تاثیر متقابل جوامع انسانی با سیستم های هیدرولوژیکی می پردازد.

ایران نیز که از فشارهای ناشی از توسعه جوامع انسانی و بحران های آبی مصون نبوده، ناگزیر از تغییر رویکرد است. در شرایط موجود، نگرش های جدیدی از جمله هیدرولوژی اجتماعی با هدف ایجاد درکی بنیادین از شرایط درهم تنیده سیستم های انسانی - آبی، در اتخاذ تصمیمات مدیریتی آبی با رویکرد حفظ پایداری سیستم های آبی نقش قابل توجهی را می تواند ایفا نماید. در واقع کشور برای رفع وضعیت وخیم پایداری منابع طبیعی در کشور، به ویژه آب و محیط زیست، نیازمند تغییر نگرش می باشد. ارتباط تنگاتنگ مردم و آب که واقعیتی تاریخی بوده، و متأسفانه فراموش شده است؛ بایستی احیا گردیده تا مدیران به کمک علم جدید هیدرولوژی اجتماعی به درک بهتر دلایل انحراف در مدیریت آب و محیط دست یابند.

نگاهی اجمالی به سیر توسعه جوامع انسانی، آشکار می سازد که دخالت جوامع بشری از طریق تغییر کاربری اراضی و اعمال شیوه های مدیریتی گوناگون در بهره برداری از منابع آبی، تغییرات رژیم هیدرولوژی را در طول تاریخ هر منطقه ای در پی داشته است. به طوری که چرخه های هیدرولوژی که در گذشته غالباً توسط محرک هایی از جمله اقلیم، پوشش گیاهی، زمین شناسی و توپوگرافی حوضه ی آبریز کنترل می شد، در حال حاضر به طور فزاینده ای تحت تأثیر محرک های اجتماعی و اقتصادی از جمله رشد جمعیت و توسعه ی شهرها، توسعه ی کشاورزی فاریاب و صنعتی شدن قرار دارد. از طرف دیگر، بازخوردها و برهمکنش های دوسویه میان جوامع انسانی و سیستم های هیدرولوژیک و تغییرات پرشتاب آن در طول زمان، وضعیت را پیچیده تر می سازد.

به طور یقین در چنین شرایطی پیش بینی رفتار حوضه های آبریز صرفاً با تکیه بر هیدرولوژی سنتی بی دقت خواهد بود. در سوی دیگر، همین بن بست ها و گاه وقوع ورشکستگی آبی، هیدرولوژیست ها را بر آن داشته که از تمرکز بر تخمین ها و پیش بینی های مبتنی بر هیدرولوژی سنتی، به درک، توضیح و کشف فرآیندهای بنیادین هیدرولوژیک متمایل شوند. وجود چنین ناسازمها و پیشرانه هایی، منجر به تحولاتی



آب، جامعه و علوم اجتماعی

یکی از عجیب‌ترین نکاتی که می‌توان در مجموعه علوم و مدیریت منابع آب در ایران و به درجات کمتری در جهان به آن توجه کرد این است که یکی از اجتماعی‌ترین مواد و کالاهای جهان، بیش از هر چیز از منظر فنی، اقتصادی و غیراجتماعی نگریسته و تحلیل شده است. آب عرصه اعمال دانش و حتی مهم‌تر از آن اقتدار هیدرولوژیست‌ها، مهندسان و سایر متخصصانی بوده است که عوامل اجتماعی مؤثر بر کمیت و کیفیت منابع آب را تحلیل نمی‌کنند. اجتماعی هم در این‌جا دایره گسترده‌ای را شامل می‌شود. هر نوع شناختی درباره آب، مدیریت و مصرف آن که از رشته‌هایی نظیر جامعه‌شناسی، انسان‌شناسی، علوم سیاسی، تاریخ، علوم حکمرانی، تاریخ، جغرافیا، روان‌شناسی، اقتصاد و سایر رشته‌های علوم اجتماعی و انسانی به دست آید در زمره علوم اجتماعی آب قرار می‌گیرد. این علوم هستند که قادرند ابعادی بسیار مهم از مسأله آب را تحلیل کرده و در پایدارسازی این منبع حیاتی کمک کنند. سؤال مهم این است که چرا نپرداختن علوم اجتماعی به آب و انحصار این منبع در حیطه علوم فنی و مهندسی را غفلتی بزرگ باید تلقی کرد.

سه پاسخ کلان می‌توان به پرسش فوق داد. پاسخ اول آن است که مدیریت و پایدارسازی منابع آب به شدت تحت تأثیر «سیاست اجتماعی» است. سیاست اجتماعی مجموعه سیاست‌هایی را شامل می‌شود که هدف آن‌ها معطوف به روابط گروه‌های اجتماعی و کیفیت زندگی آن‌ها در جامعه است و از همین روست که مواجهه جامعه با مقولاتی نظیر فقر، آسیب‌های اجتماعی، مهاجرت، گروه‌های قومی، جمعیت‌های آسیب‌پذیر و اقشار اجتماعی نظیر زنان، جوانان و سایر

گروه‌های اجتماعی در زمره سیاست اجتماعی قرار می‌گیرد. آب مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت زندگی هر یک از این گروه‌ها مؤثر است. آب ماده اولیه تولید و مؤثر بر فقر است. دسترسی به خدمات مرتبط با آب بر همه گروه‌ها و بالاخص گروه‌های آسیب‌پذیر اجتماعی مؤثر است. شیوه و میزان مصرف آب نیز همه گروه‌های اجتماعی و سلامت، انسجام و کیفیت زندگی کل جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آب بی‌گمان بخشی از موضوع سیاست اجتماعی است.

پاسخ دوم آن‌که آب به‌مثابه محصولی اقتصادی، اگرچه تابع سیاست‌های اقتصادی است اما هر سیاست اقتصادی در قبال آب، مولد تأثیرات اجتماعی است و همین امر اقتصاد اجتماعی آب را تشکیل می‌دهد. هر سیاستی در قبال تعرفه‌های آب، توزیع سرمایه‌گذاری‌ها، اقدام به ایجاد سازه‌های آبی، تخصیص‌های آب و سایر اقداماتی که توسط بخش‌های فنی و اقتصادی حوزه آب صورت می‌گیرد، در ارتباط مستقیم با جامعه و تأثیرات ناشی از آن است. اقتصاد اجتماعی آب به سرعت به زبان سیاست ترجمه می‌شود و ماهیت سیاسی آن نظام‌های تصمیم‌گیری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. توجه به نظام قیمت‌گذاری آب در ایران شاید بیش از هر چیز دیگری بعد اجتماعی اقتصاد آب را نشان دهد.

پاسخ سوم آن‌که آب و مدیریت منابع آب با عنصر بسیار مهم سیاست و حکمرانی درآمیخته است. نظام‌های حکمرانی آب هستند که حیطه اختیارات و وظایف ذی‌نفعان آب را مشخص کرده، روابط میان مراجع اقتدار در نظام تصمیم‌گیری درباره آب را مشخص می‌کنند و مهم‌تر آن‌که اقتصاد و سیاست اجتماعی آب نیز به شدت تحت تأثیر همین عنصر حکمرانی و سیاست آب است. آب همواره مقوله‌ای سیاسی و مرتبط با حکمرانی بوده اما سیطره نگاه فنی در چند دهه گذشته و باور بیش از اندازه به فناوری و قابلیت‌های آن، دانش سیاسی و حکمرانی درباره آب را تحت تأثیر قرار داده و سبب غفلت از آن شده است. سیاست و حکمرانی آب است که پدیده‌هایی نظیر بی‌اعتمادی، رقابت‌های مخرب برای برداشت از

آبخوان‌ها، تراژدی کالاهای عمومی، فساد در مدیریت منابع آب و بسیاری عوامل مهم و تأثیرگذار بر مدیریت این منابع را رقم می‌زند.

این‌ها فقط سه پاسخ کلان به رابطه آب و علوم اجتماعی هستند. مقوله علوم اجتماعی آب را می‌توان به عرصه‌های دیگری نظیر تاریخ آب، روان‌شناسی، اقتصاد سیاسی و سایر رویکردها و رشته‌های علوم اجتماعی در قبال آب هم گسترش داد. فهم ما از مشکلات و مسائل منابع آب ایران بدون درکی میان‌رشته‌ای و واقعاً متأثر از علوم اجتماعی بهبود نخواهد یافت. مرکز امور اجتماعی منابع آب و انرژی وزارت نیرو درست با هدف گسترش دادن فهم اجتماعی همه‌جانبه از

منابع آب و فرایندهای مرتبط با آن‌ها ایجاد شده و در پی تعمیق فهم بین‌رشته‌ای و چندرشته‌ای از آب است. بدیهی است در کشوری که آب به مدت چندین دهه هم‌چون مقوله‌ای غیراجتماعی تحلیل شده و برنامه‌ریزی‌ها معطوف به وجوه فنی و حداکثر اقتصادی و محیط‌زیستی آب بوده است، پیشبرد چنین رویکردی با دشواری‌های زیادی روبه‌رو خواهد بود، اما گام برداشتن در این مسیر مستلزم مشارکت همه تخصص‌ها و متخصصان، و بالاخص کسانی است که باور دارند باید برای مسأله آب در ایران کارهایی جدی انجام داد، تصمیم‌های سخت گرفت و از مسیرهای پیموده‌شده و منجر به ناکارآمدی دست کشید.

Analysis of Socio-Economic and Environmental Effects of Insufficient Supply of Surface Water from Farmers' Perspective, Case Study: Varamin Plain- Mamlou Dam

M. Arab¹, A. Fatahi Ardakani^{2*}, M. Fehrest Sani³

1,2,3- Master student & Associate Professor and Assistant Professor in Department of Agricultural Economics, University of Ardakan, Ardakan, Iran.

*(Corresponding Author Email: fatahi@ardakan.ac.ir)

Received: 01-04-2017

Accepted: 15-12-2017

بررسی و تحلیل اثرات اقتصادی-اجتماعی و زیست محیطی عدم عرضه کافی آب سطحی از دید کشاورزان، مطالعه موردی: دشت ورامین-سد ماملو

محمد عرب^۱، احمد فتاحی اردکانی^{۲*}، مسعود فهرستی ثانی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه اردکان.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: fatahi@ardakan.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۴

Abstract

In this study, the socio-environmental and environmental impacts of insufficient supply of water from the Mamlou dam have been investigated from the viewpoint of farmers in the Varamin plain. Moreover, the actions taken by the farmers to tackle this problem has been evaluated using the Likert scale. Accordingly, the effects of the impact on farmers were classified as: very low (1), low (2), somewhat (3), high (4), and very high (5). A 4-stage cluster sampling was done randomly. This research was carried out in 1395 with 320 questionnaires which were extracted and analysed through the Excel software. The results showed that on average the maximum and minimum effect of the insufficient supply of water from the farmers' point of view was to reduce the cultivars (4.4) and land subsidence (1.8), respectively. This view is due to the farmers' lack of awareness of the negative environmental impacts of water scarcity. By investigating the measures taken by the farmers to deal with water scarcity, it was determined that modern irrigation (1.25%) and alteration of cultivars (1.5%) were the least actions taken by farmers to deal with the lack of adequate supply of water in the Varamin Plain. The reason for the decline in the desire to use modern irrigation systems for farmers is the high cost of implementing a modern irrigation system and the robustness of the banking and administrative system to provide facilities for mechanisation of agriculture.

Keywords: Farmers' lack of awareness, Lack of water, Demand and supply management, Varamin plain.

چکیده

در این مطالعه اثرات اقتصادی-اجتماعی و زیست محیطی عدم عرضه کافی آب از سد ماملو از دیدگاه کشاورزان دشت ورامین بررسی شده و تحلیل و اقدامات صورت گرفته کشاورزان برای مقابله با این مشکل براساس طیف لیکرت ارزیابی شد. بر این اساس میزان اثرات از دید کشاورزان با مقیاس خیلی کم (۱)، کم (۲)، تاحدودی (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه گیری به روش خوشه ای ۴ مرحله ای و تصادفی ساده، صورت گرفت. اطلاعات این تحقیق به صورت میدانی در سال ۱۳۹۵ با تعداد ۳۲۰ پرسشنامه استخراج و با نرم افزار Excel تجزیه و تحلیل شد. نتایج تحقیق نشان داد به طور میانگین، بیشترین و کمترین اثر عدم عرضه کافی آب از دید کشاورزان به ترتیب بر کاهش سطح زیر کشت (۴/۴) و نشست زمین (۱/۸) است؛ این دیدگاه ناشی از عدم آگاهی کشاورزان از اثرات منفی زیست محیطی کمبود آب می باشد. با بررسی اقدامات صورت گرفته کشاورزان برای مقابله با کمبود آب مشخص شد که آبیاری مدرن (۱/۲۵ درصد) و تغییر الگوی کشت (۱/۵ درصد) کمترین اقدام صورت گرفته از سوی کشاورزان برای مقابله با عدم عرضه کافی آب در دشت ورامین است. دلیل کاهش تمایل به استفاده از سیستم آبیاری مدرن از نظر کشاورزان بالا بودن هزینه اجرای سیستم آبیاری مدرن و سخت گیر بودن سیستم بانکی و اداری جهت دریافت تسهیلات برای مکانیزه کردن کشاورزی می باشد.

واژه های کلیدی: عدم آگاهی کشاورزان، کمبود آب، مدیریت عرضه و تقاضا، دشت ورامین.

آب شرب شهر تهران حجم محدودی از آب ذخیره شده به سمت دشت عرضه می‌شود. لذا این امر سبب بروز اثرات منفی اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی در دشت ورامین گردیده است. مهم‌ترین اثرات عدم عرضه کافی آب سطحی در دشت ورامین کاهش سطح زیر کشت، کاهش کمیت محصول، افزایش درگیری بر سر منابع آبی، کاهش سطح سفره‌های زیرزمینی و نشست زمین می‌باشد.

مطالعاتی در داخل و خارج کشور در زمینه‌ی اثرات کمبود آب و خشکسالی انجام شده است. نساجی زواره (۱۳۸۰) در تحقیق خود با عنوان بررسی پیامدهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی خشکسالی نشان داد که مهم‌ترین پیامدهای خشکسالی در ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی، شامل کاهش درآمد کشاورزان و شاغلان بخش کشاورزی، افزایش قیمت نهاده‌ها، افزایش نرخ بیکاری و مهاجرت، کاهش قیمت زمین‌های کشاورزی، افزایش قیمت غذا، کاهش تنوع و ضعیف شدن پوشش گیاهی، کاهش کیفیت خاک، خسارت به ذخایر ژنتیکی گیاهی و کوتاه شدن طول دوره رویش گیاه است. یاسوری (۱۳۸۶) به بررسی محدودیت منابع آب و نقش آن در ناپایداری مناطق روستایی استان خراسان رضوی پرداخته است. پایین بودن میزان بارندگی و توزیع نامناسب زمانی و مکانی، بالا بودن درجه تبخیر و تعرق و جدا افتادگی طبیعی و پراکندگی شدید نقاط سکونت‌گاهی و ناپایداری اقتصادی در نواحی روستایی را به دنبال داشته است. در این استان مکان‌گزینی جمعیت و فعالیت بر اساس قابلیت‌ها و محدودیت‌های آب صورت نگرفته است، در نتیجه ساختار فضایی استان تحت تأثیر عوامل محیط طبیعی، سیاست‌گذاری‌های استقرار جمعیت و فعالیت و زیرساخت‌های تولیدی است. این وضعیت موجب بروز عدم تعادل بین ظرفیت منابع و میزان بهره‌برداری از آن شده و تخریب منابع پایه توسعه را به دنبال داشته است. خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیق خود نشان دادند که کاهش میزان برداشت محصول در واحد سطح، مهم‌ترین و مشخص‌ترین اثر خشکسالی است. صدرزاده خویی و کیانی سلمی (۱۳۹۳) به بررسی تأثیر بحران منابع آب کشاورزی بر ساختار اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی روستایی پرداختند. نتایج حاکی از آن است که خشکسالی در منطقه مورد مطالعه، تأثیرات چشمگیری در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برجا گذاشته است. Srouji و Jajyoussi (۲۰۰۹) در تحقیقی که با استفاده از روش تحقیق کیفی و تکنیک P.R.A^۱ انجام دادند به این نتیجه رسیدند که توزیع جمعیت، فعالیت‌های اقتصادی و مسائل اجتماعی به شدت تحت تأثیر دسترسی به آب می‌باشد. بر اساس این تحقیق، مهاجران روستاها دلیل عمده مهاجرت خود را عدم دسترسی به آب کافی برای کشاورزی و شرب می‌دانند و در صورتی که دسترسی به آب فراهم شود، اغلب مالکان اراضی به روستا بر می‌گردند. kenny (۲۰۰۸) در مطالعه خود بر روی تأثیرات اجتماعی خشکسالی متمرکز شده است و به مواردی همچون تنش جسمی و روانی، اضطراب و افسردگی، درگیری‌های خانوادگی، کاهش کیفیت زندگی افراد، افزایش

آب از جمله موثرترین عوامل در بقای بشر محسوب می‌شود که اهمیت آن در نگرش جدید جهانی به عنوان یک کالای مهم اقتصادی-اجتماعی و نیاز اولیه انسان مرتباً در حال افزایش است. محدودیت مطلق این ماده حیاتی به عنوان یک منبع تجدیدشونده و قرار گرفتن بخش قابل توجهی از اراضی کشور در مناطق خشک و نیمه خشک، موجب گردیده بخش کشاورزی هر روز با محدودیت بیشتر منابع آبی مواجه باشد.

آب اصلی‌ترین منبع محیطی در توسعه بخش کشاورزی و بهبود وضعیت اقتصادی-اجتماعی کشاورزان است. دسترسی مطمئن به منابع آب در بخش کشاورزی اهمیت بالایی دارد. بدین منظور یکی از مهم‌ترین مسائلی که در مدیریت اقتصادی و پایایی منابع آب نقش فراوانی دارد، ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب است.

امروزه بزرگ‌ترین چالش پیشرو در عرضه آب آبیاری مرتبط با دو مقوله‌ی افزایش عدم قطعیت مقدار و زمان‌بندی عرضه است. مهم‌ترین دلایل رخداد مقوله‌های یاد شده، مدیریت نادرست در حوضه‌های آبی، مشخص نبودن حقوق مالکیت و بهره‌برداری از منابع آب، افزایش رقابت بین بخش‌های تقاضاکننده آب، تغییر اقلیم و دخالت‌ها و اختلال‌های نهادی از سوی دولت در سطح ملی، منطقه‌ای و محلی است (کاووسی کلاشمی و پیکانی، ۱۳۹۳).

عدم عرضه کافی و مطمئن آثار اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی فراوانی به جا گذاشته می‌گذارد. از منظر اقتصادی می‌توان به کاهش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، کاهش کیفیت محصولات زراعی و باغی، غیر اقتصادی شدن کشاورزی و کاهش درآمد کشاورزان اشاره کرد. مهم‌ترین آثار اجتماعی عرضه کم و نادرست آب می‌توان به ایجاد درگیری بین مصرف‌کنندگان آب (کشاورزان) جهت دسترسی به آب مورد نیاز برای زراعت، افزایش فقر عمومی، افزایش مهاجرت کشاورزان و عدم پایداری روستاها اشاره نمود.

در قانون برنامه ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران به بحران کم آبی در بخش کشاورزی توجه شده است. بر اساس ماده ۴۵، دولت مکلف است به منظور مقابله با بحران کم آبی، رهاسازی حقایق‌های زیست‌محیطی برای پایداری سرزمین، پایداری و افزایش تولید در بخش کشاورزی، تعادل بخشی به سفره‌های زیرزمینی اقداماتی انجام دهد. بر اساس بند ۴۵ این برنامه، دولت موظف به تأمین حقایق‌های کشاورزان از رودخانه‌ها، چشمه‌ها و قنوات از آب سدهای احداثی بر روی این رودخانه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌ها می‌باشد. دشت ورامین که به دلیل کشت متعدد محصولات کشاورزی به‌ویژه صیفی‌جات به عنوان مهم‌ترین قطب کشاورزی استان تهران نامیده می‌شود (اداره جهاد کشاورزی شهرستان ورامین، ۱۳۹۵)، از این قضیه مستثنی نیست. با توجه به اینکه سد ماملو برای تأمین نیاز آب کشاورزی در دشت ورامین احداث گردیده، اما به دلیل تأمین

مهاجرت، افزایش فقر عمومی، به عنوان مهم ترین پیامدهای اجتماعی خشکسالی اشاره کرده است.

در این مقاله با توجه به مطالعات انجام شده، اثرات اقتصادی- اجتماعی و زیست محیطی عدم تحویل کافی آب سد ماملو به

مواد و روش ها

• منطقه مورد مطالعه

دشت ورامین یکی از مناطق مهم کشاورزی در استان تهران است. این دشت در ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی تهران واقع شده و مساحت کل آن در حدود ۱۹۱۶ کیلومتر مربع بوده که ۱۳۹۷ کیلومتر مربع آن را دشت آبرفتی تشکیل می دهد. این دشت با آب و هوایی نیمه خشک و بافت خاک لومی در جلگه صاف حاصل خیز واقع شده است. از کل اراضی دشت، حدود ۲۱۴۴ هکتار پوسه های نمکی، حدود ۶۸ هزار هکتار، اراضی کشاورزی، ۱۹ هزار هکتار، اراضی مرتعی و ۱۱ هزار هکتار، اراضی مردابی می باشد. عمده ترین محصولات که در این منطقه به زیر کشت می روند عبارتند از: غلات، سبزیجات، محصولات جالیزی و نباتات علوفه ای. اکثر کشاورزان برای آبیاری اراضی خود از روش های سنتی، نظیر آبیاری غرقابی و نشتی استفاده می کنند (اداره جهاد کشاورزی شهرستان ورامین، ۱۳۹۵).

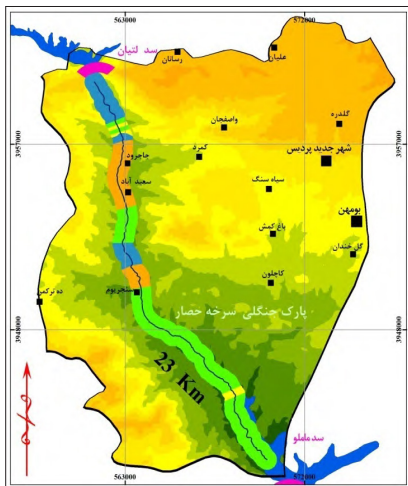
سد ماملو بر روی رودخانه جاجرود در ۲ کیلومتری رودخانه جاجرود و ۴۵ کیلومتری شرق تهران واقع شده است. مساحت حوضه آبریز آن ۱۷۵۰ کیلومتر مربع و متوسط جریان آب سالانه ۲۸۳/۸ میلیون متر مکعب است. اهداف اصلی این سد، بهره گیری از پتانسیل حوضه آبریز رودخانه جاجرود و دماوند برای تأمین آب مطمئن برای کشاورزی دشت ورامین و پاکدشت، تأمین بخشی از آب شرب جنوب تهران و شهرهای مسیر و تأمین بخشی از آب مورد نیاز صنعت می باشد.

• روش تحقیق

این مطالعه از نوع تحقیقات توصیفی- پیمایشی است. جامعه آماری، شامل ۳۵۱۷ زارع (سالنامه آماری استان تهران- ۱۳۹۴) بوده است. شهرستان ورامین دارای چهار بخش (ورامین، قرچک، پیشوا و جواد آباد) و هشت دهستان (بهنام پازوکی جنوبی، بهنام وسط شمالی، بهنام وسط جنوبی، بهنام عرب جنوبی، بهنام سوخته جنوبی، عسگریه، قشلاق جیتو و ولی آباد) می باشد.

با توجه به نمونه گیری خوشه ای در مرحله اول، دو بخش ورامین و جواد آباد که هر کدام دارای دو دهستان می باشد، انتخاب گردید. در مرحله دوم دو دهستان بهنام وسط جنوبی از بخش جواد آباد و بهنام وسط شمالی از بخش مرکزی ورامین انتخاب شد. در مرحله سوم، ۱۰ روستا (۵ روستا از دهستان بهنام وسط جنوبی و ۵ روستا از بهنام وسط شمالی) از ۶۳ روستا که دو دهستان را تشکیل

کشاورزان، از دیدگاه ایشان بررسی می شود. نتایج این تحقیق می تواند در تصمیم گیری دولت و سیاست گذاران در ارائه راهکار و اقدامات مناسب ملی و منطقه ای در جهت کاهش اثرات جانبی کمبود آب کشاورزی، کمک نماید.



شکل ۱- موقعیت دشت ورامین در کشور و استان تهران



شکل ۲- تصویری از سد ماملو

می دهند، انتخاب گردیدند. سپس تعداد ۳۲۰ پرسش نامه به صورت متوازن در ده روستا تقسیم و به صورت تصادفی از کشاورزان هر روستا، اطلاعات استخراج گردید.

پرسش نامه بکار برده شده شامل سه بخش بوده که بخش اول، دربرگیرنده وضعیت اجتماعی- اقتصادی کشاورزان است که با طرح سؤالاتی نظیر سن، میزان تحصیلات، تعداد افراد خانواده، میزان درآمد، هزینه ماهیانه پاسخگویان، شغل جدا از کشاورزی، هزینه کشاورزی و درآمد سالانه از کشاورزی پرسیده شده است. در بخش دوم پرسش نامه، سؤالاتی در مورد مسائل کشاورزی و منطقه از قبیل منابع موجود آب کشاورزی، حجم آب و حق آبه، مساحت واحد کشاورزی، محصولات کشت شده، فرصت های از دست رفته ناشی از عدم عرضه کافی آب و اثرات اقتصادی اجتماعی و زیست محیطی ناشی از آن مورد پرسش قرار گرفت. در این پرسش نامه اثرات اقتصادی اجتماعی

و زیست محیطی با کمک گرفتن از مطالعات مشابه و مصاحبه با کارشناسان شناسایی گردید و براساس طیف لیکرت (خیلی کم (۱) تا خیلی زیاد (۵)) مورد بررسی قرار گرفت. در بخش سوم سؤالاتی در خصوص همکاری و تمایل کشاورزان به پرداخت هزینه جهت افزایش عرضه آب از سد ماملو و لتیان صورت گرفت. لازم به ذکر است که برای تجزیه و تحلیل آماری، از نرم افزار Excel استفاده شده است.

نتایج و بحث

نتایج و تحلیل آمار توصیفی

نتایج آمار توصیفی حاصل از بررسی ۳۲۰ پرسشنامه از کشاورزان در سال ۱۳۹۵ در جدول (۱) آمده است. این جدول نتایج توصیفی متغیرهای کمی را نشان می دهد. این متغیرها شامل سن، اندازه خانوار،

سال های فعالیت کشاورزی، هزینه سالانه آب، مساحت واحد کشاورزی، مساحت زمین بلا استفاده و درآمد سالانه از کشاورزی می باشد. با توجه به اطلاعات به دست آمده از پرسشنامه ها، ۸۳/۴ درصد از کشاورزان مالک زمین کشاورزی هستند. میزان کشاورزانی که به جز فعالیت کشاورزی و دامپروری شغل دیگری ندارند، ۷۵/۳ درصد می باشد. حدود ۴۰ درصد از کشاورزان در دشت ورامین زمین های کشاورزی را با استفاده از تصفیه فاضلاب ورودی به این دشت که از تهران کانال کشی شده است، انجام می دهند. همچنین نزدیک به ۶۰ درصد از کشاورزان از منابع دیگری (مانند قنات، چاه و استخر) مزارعشان را آبیاری می کنند. سطح تحصیلات به بی سواد و ابتدایی، سیکل، دیپلم، فوق دیپلم و لیسانس به بالا طبقه بندی گردید. بیشترین فراوانی مربوط به سطح بی سواد و ابتدایی به میزان ۶۶/۲۵ درصد و کمترین فراوانی مربوط به سطح سواد لیسانس به بالا (۰/۳) درصد می باشد.

جدول ۱- آماره های توصیفی متغیرهای کمی (حاصل از بررسی ۳۲۰ پرسشنامه از کشاورزان در سال ۱۳۹۵)

متغیرها	میانگین	حد اقل	حد اکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
سن	۴۴/۰۴	۲۲	۷۰	۱۱/۸۶	۰/۲۶
اندازه خانوار	۳/۳۳	۱	۶	۱/۱۱	۰/۳۳
تجربه کشاورز	۲۵/۲۳	۳	۵۰	۱۱/۸۸	۰/۴۷
هزینه سالانه آب (ریال)	۳۳۷۵۹۳۸۰	۱۰۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰۰	۱۲۶۳۶۰۳۰	۰/۳۷
مساحت واحد کشاورزی (هکتار)	۸/۰۵	۲	۲۶	۳/۵۹	۰/۴۴
مساحت زمین بلا استفاده (هکتار)	۲/۹۳	۰	۱۲	۲/۰۸	۰/۷
درآمد ناخالص سالانه* (ریال)	۲۳۰۴۵۳۱۳۰	۷۰۰۰۰۰۰	۷۵۰۰۰۰۰۰	۱۱۳۹۳۹۵۰۰	۰/۴۹

* هزینه کاشت، داشت و برداشت محاسبه و کسر نگردیده است.

• اثرات اقتصادی- اجتماعی و زیست محیطی عدم عرضه کافی آب از دیدگاه کشاورزان

در این بخش ابتدا میزان اثرات اقتصادی عدم عرضه کافی آب کشاورزی از قبیل کاهش سطح زیر کشت، کاهش قیمت زمین، کاهش کمیت محصول و کاهش کیفیت محصول بر اساس طیف لیکرت از دیدگاه کشاورزان بررسی گردید. بر این اساس میزان اثرات از دید کشاورزان با مقیاس خیلی کم (۱)، کم (۲)، تاحدودی (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵) بررسی شد.

رتبه بندی اثرات اقتصادی عدم عرضه مطمئن آب از دیدگاه کشاورزان در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین اثرات اجتماعی از قبیل درگیری کشاورزان بر سر مصرف آب، مهاجرت از روستا، افزایش بیکاری و کاهش رفاه زندگی و اثرات زیست محیطی از قبیل خشک شدن چاه ها و نشست زمین به دلیل عدم عرضه کافی آب از دیدگاه کشاورزان بررسی شده است. با توجه به این جدول، میانگین گیری اثرات از دید کشاورزان نشان داد که عدم عرضه کافی آب کشاورزی بیشترین تأثیر را بر مساحت زیر کشت داشته است (۴/۴)؛ به گونه ای که بر اساس اطلاعات به دست آمده از تحقیق

میدانی سال ۱۳۹۵، به طور میانگین هر کشاورز جدا از اراضی آیش، ۲/۹۳ هکتار از مساحت واحد کشاورزی را بدون کشت رها کرده که این سبب کاهش چشم گیر درآمد کشاورزان شده است. جایگاه دوم تأثیر عدم عرضه آب کافی از دید کشاورزان، تأثیر بر کمیت محصول بود (۴/۱)؛ به طوری که بر اساس تحقیق میدانی به طور میانگین کمیت محصولات، ۱۹/۵ درصد نسبت به سال های قبل کاهش داشته و این امر سبب کاهش درآمد کشاورزان شده است. رتبه سوم، تأثیر بر کیفیت محصول می باشد (۳/۷)؛ این نتایج نشان داد که عدم عرضه مطمئن آب، تأثیر نسبتاً زیادی بر کیفیت محصولات کشاورزان داشته است، به طوری که به دلیل کیفیت پایین محصولات تولید شده، قیمت فروش محصولات کاهش داشته است. در نهایت، از دید کشاورزان، تأثیر عامل عرضه آب کافی بر قیمت زمین، نسبت به اثرات دیگر (۲/۸) تأثیر معنی داری نداشته است. بررسی اثرات نشان داد که اثراتی که مستقیماً سبب کاهش درآمد کشاورزی می شود از نظر کشاورزان مهم تر است. در جدول (۳) اثرات اجتماعی و زیست محیطی رتبه بندی شده است. با توجه به این جدول بیشترین اثر عدم عرضه کافی آب، کاهش

آبدهی چاه‌ها (۴/۴۳) به دلیل برداشت بی‌رویه می‌باشد. تأثیر عدم عرضه کافی آب در افزایش بیکاری و کاهش رفاه کشاورزان نیز از دید کشاورزان بسیار زیاد بوده است. به‌طوریکه بسیاری از کشاورزان در چند سال اخیر کشاورزی را رها کرده‌اند؛ کاهش رفاه زندگی کشاورزان ناشی از کاهش درآمد آن‌ها به دلیل کمبود آب می‌باشد. تأثیر بر افزایش درگیری بین مصرف‌کنندگان آب (۴/۲۱) نیز به دلیل کمبود منابع آبی و عدم عرضه کافی آب از دید کشاورزان، بسیار بالاست. عدم عرضه کافی آب بر افزایش مهاجرت (۲/۹) و نشست زمین (۱/۸) از دیدگاه کشاورزان دارای تأثیر کمتری می‌باشد؛ این دیدگاه کشاورز می‌تواند ناشی از عدم آگاهی کشاورزان از اثرات زیان‌آور پدیده‌ی نشست زمین و مهاجرت بر جامعه باشد.

کشاورزان برای مقابله با کم‌آبی اقداماتی را انجام می‌دهند. بر این اساس در این تحقیق اقدامات صورت گرفته از سوی کشاورزان در مقابله با عدم عرضه کافی آب بررسی شد (جدول ۴). همان‌طور که در جدول (۴) مشخص است، میزان ۸۷/۸ درصد از کشاورزان برای مقابله با عرضه کم آب سطح زیر کشت خود را کاهش داده‌اند؛ این اقدام سبب شده تا فرصت درآمدی زیادی را از دست بدهند. ۱/۵ درصد کشاورزان اقدام به تغییر الگوی کشت داده و ۱۲/۵ درصد از کشاورزان نیز به آبیاری مدرن روی آورده‌اند. اما هیچ‌یک از کشاورزان به کشاورزی دیم روی نیاورده است. همچنین میزان ۹/۳ درصد از کشاورزان برای مقابله با عرضه کم آب، هیچ اقدامی انجام نداده‌اند. آبیاری مدرن و تغییر الگوی کشت کم‌ترین اقدام صورت گرفته از سوی کشاورزان می‌باشد. دلیل عدم استقبال از سیستم آبیاری مدرن از نظر کشاورزان، هزینه زیاد ایجاد سیستم آبیاری مدرن و سختگیر بودن سیستم بانکی و اداری جهت ارائه‌ی تسهیلات برای مکانیزه کردن کشاورزی می‌باشد. همچنین دلیل کم توجهی به تغییر الگوی کشت، اعتقاد کشاورزان به صحیح بودن الگوی کشت فعلی در منطقه بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق اثرات اقتصادی عدم عرضه کافی آب بر کشاورزی از قبیل کاهش سطح زیر کشت، کاهش کمیت محصول، کاهش کیفیت محصول و کاهش قیمت زمین و همچنین اثرات اجتماعی از قبیل درگیری کشاورزان بر سر مصرف آب، مهاجرت از روستا، افزایش بیکاری و کاهش رفاه زندگی و اثرات زیست‌محیطی از قبیل خشک شدن چاه‌ها و نشست زمین ناشی از عدم عرضه کافی آب از دیدگاه کشاورزان بر اساس طیف لیکرت بررسی گردید. نتایج نشان داد تمام اثرات اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی وارد شده ناشی از عدم عرضه کافی آب به غیر از افزایش مهاجرت، نشست زمین و کاهش قیمت زمین از دیدگاه کشاورزان بسیار زیاد بوده است. کم اهمیت بودن پدیده نشست زمین از منظر کشاورزان را می‌توان ناشی از عدم آگاهی کشاورزان از اثرات زیان‌آور پدیده نشست

جدول ۲- اولویت بندی اثرات اقتصادی عدم عرضه کافی آب از دید کشاورزان (مقیاس: خیلی کم (۱) و خیلی زیاد (۵))

اثرات	میانگین	انحراف معیار	رتبه
مساحت زیر کشت	۴/۴	۱/۰۴	۱
کاهش قیمت زمین	۲/۸	۰/۶	۴
کاهش کمیت محصول	۴/۱	۱/۰۱	۲
کاهش کیفیت محصول	۳/۷	۰/۷	۳

جدول ۳- اولویت بندی اثرات اجتماعی و زیست‌محیطی عدم عرضه کافی آب از دید کشاورزان (مقیاس: خیلی کم (۱) و خیلی زیاد (۵))

اثرات	میانگین	انحراف معیار	رتبه
افزایش درگیری	۴/۲۱	۱/۰۷	۴
افزایش مهاجرت	۲/۹	۰/۸۱	۵
افزایش بیکاری	۴/۳۵	۱/۰۰۱	۳
کاهش رفاه	۴/۳۶	۱/۰۰۵	۲
نشست زمین	۱/۸	۰/۶۸	۶
کاهش کمیت آب چاه	۴/۴۳	۰/۹۸	۱

جدول ۴- اقدامات کشاورزان در مقابله با عدم عرضه کافی آب

اقدام صورت گرفته	کاهش سطح زیرکشت	تغییر الگو	آبیاری مدرن	کشاورزی دیم	هیچ اقدامی
تعداد	۲۸۱	۵	۴	۰	۳۰
درصد	۸۷/۸	۱/۵	۱/۲۵	۰	۹/۳

زمین و مهاجرت بر جامعه برشمرد.

هزینه‌های اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از عرضه کم آب (کاهش قیمت زمین، درگیری بر سر منابع آبی، خشک شدن چاه‌ها و نشست زمین) در منطقه تأثیر بسیار زیادی در کاهش رفاه کشاورزان داشته است؛ لذا توصیه می‌شود با مدیریت صحیح و تخصیص بهینه آب از قبیل سرمایه‌گذاری در تأمین آب، بروز کردن سیستم آب‌رسانی (استفاده از کانال‌های پوشیده) از این هزینه‌ها کاسته تا سطح رفاه زندگی کشاورزان بالا رود.

عدم عرضه کافی و مطمئن آب، اشتغال کشاورزان را در بخش کشاورزی تحت تأثیر قرار داده است، به‌طوریکه تعداد زارعین دشت ورامین از سال ۱۳۸۲ (۵۳۷۱ نفر) تا سال ۱۳۹۳ (۳۵۱۷ نفر) به اندازه ۱۸۵۴ نفر (۳۴/۵ درصد) کاهش پیدا کرده است. لذا توصیه می‌گردد با عرضه مطمئن آب، زمینه اشتغال در بخش کشاورزی فراهم گردد. اقدامات صورت گرفته از سوی کشاورزان برای مقابله با عرضه کم آب،

به این صورت بوده است که ۸۷/۸ درصد کشاورزان از کاهش سطح زیر کشت، ۱/۵ درصد از تغییر الگوی کشت و ۱/۲۵ درصد از سیستم آبیاری مدرن، برای تأمین درآمدهای ناشی از کمبود آب دریافتی، استفاده نموده‌اند. از دید کشاورزان، دلیل پایین بودن استفاده از سیستم آبیاری نوین در دشت ورامین، هزینه بالای آن و سخت‌گیر بودن بانک‌ها و سازمان‌ها در جهت پرداخت وام و تسهیلات به کشاورزان می‌باشد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که کشاورزان اثراتی از قبیل افزایش نشست زمین و مهاجرت را مهم می‌دانند؛ این دیدگاه کشاورز می‌تواند ناشی از عدم آگاهی آن‌ها از اثرات زیان آور پدیده نشست زمین و مهاجرت بر جامعه باشد. شاید بتوان گفت عمده روش‌های به کار رفته توسط کشاورزان ناشی از عدم آگاهی و تصمیم‌گیری نادرست کشاورزان در مقابله با کم‌آبی می‌باشد. لذا توصیه می‌شود با برگزاری کلاس‌های آموزشی و ترویجی، زمینه‌ی آشنایی و تصمیم‌گیری صحیح کشاورزان را در بالا بردن بهره‌وری اقتصادی از آب و زمین بخصوص در شرایط کم‌آبی، فراهم نمود. همچنین آگاهی کشاورزان را در شناخت اثرات زیان بار ناشی از مهاجرت و اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از کم‌آبی، بالا برد. برخی از راهکارها می‌تواند اقداماتی از قبیل تغییر الگوی کشت و تشویق به استفاده از محصولات کم آب‌بر و ارقام مقاوم‌تر با بهره‌وری اقتصادی بالا و استفاده از سیستم‌های آبیاری مدرن و افزایش کشت گلخانه‌ای باشد. همچنین توصیه می‌شود دولت با اعطای وام و تسهیلات به کشاورزان زمینه‌ی مشارکت کشاورزان برای استفاده از سیستم‌های آبیاری مدرن و افزایش فضاهای گلخانه‌ای را فراهم گرداند.

پی‌نوشت

۱- اصطلاح P.R.A به مفهوم ارزیابی مشارکت روستایی تعریف شده که در واقع حاوی روش‌های برانگیختن جوامع محلی در ارائه اطلاعات، نظام‌مند نمودن اطلاعات و نهایتاً طراحی مدیریت‌های بهینه در محیط اطراف می‌باشد.

منابع

اداره جهاد کشاورزی شهرستان ورامین. ۱۳۹۵. کشاورزی شهرستان ورامین در آیین آمار. <http://tehran.agri-jahad.ir>
خوش اخلاق، ف.، رنجبر، ف.، طولابی، س.، مقبل، م. و معصوم پورسماکوش، ج. ۱۳۸۹. بررسی خشکسالی در سال آبی ۱۳۸۶-۸۷ و اثرات آن بر منابع آب و کشاورزی، مطالعه موردی: شهرستان مرودشت. فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، دوره جدید، ۸: ۱۱۹-۱۳۶.
رشیدپور، ل.، کلانتری، خ. و رضوانفر، ا. ۱۳۹۰. بررسی مسائل و محدودیت‌های منابع آب و تأثیر آن در وضعیت

اقتصادی- اجتماعی گندم‌کاران بخش مرکزی شهرستان سقز. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۹(۷۶): ۱۸۳-۲۰۴.
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان تهران. ۱۳۹۴. سالنامه آماری استان تهران، کشاورزی؛ جنگلداری و شیلات.
فتاحی، ا. ۱۳۹۲. «مبانی ارزش‌گذاری اقتصادی منابع طبیعی». انتشارات دانشگاه اردکان.
فتاحی، ا.، بستان، ی.، عرب، م. و کاراموز راوری، ع. ۱۳۹۴. بررسی اثرات مؤلف‌های زیست‌محیطی بر توسعه پایدار. دومین کنفرانس بین‌المللی اقتصاد سبز، بابل‌سر.
کاووسی کلاشمی، م.، پیکانی، غ. ۱۳۹۳. ارزش‌گذاری اقتصادی عرضه آب آبیاری کافی و مطمئن در شالی‌کاری استان گیلان، فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی، ۱(۲): ۱-۱۷.
کیانی سلمی، ص. و صدرزاده خوبی، ا. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر بحران منابع آب کشاورزی بر ساختار اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی روستایی، دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست)، شهرکرد، دانشگاه شهرکرد.
نساجی زواره، م. ۱۳۸۰. بررسی اثرات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی خشکسالی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل.
یاسوری، م. ۱۳۸۶. محدودیت منابع آب و نقش آن در ناپایداری مناطق روستایی استان خراسان رضوی. فصلنامه چشم انداز جغرافیایی، ۱(۵): ۱۶۴-۱۷۶.

Abedi Z, Fattahi Ardakani A, Hanifnejad A.R. and Dash-ti Rahmatabadi N. 2013. Groundwater Valuation and Quality Preservation in Iran: The Case of Yazd. Int. J. Environ. Res., 8(1): 213-220.
Ardakani A. F. Alavi C. & Arab M. 2017. The comparison of discrete payment vehicle methods (dichotomous choice) in improving the quality of the environment. International Journal of Environmental Science and Technology, 14(7): 1409-1418.
Fatahi A. Rezvani M. Bostan Y. and Arab M. 2016. Estimating public participation in investment organic products in Babol, International Conference on Research in Science and Technology, Batumi.
Jayyousi A. and Srouji F. 2009. Future water needs in Palestine, Palestine Economic Policy Research Institute Press.
Jayyousi A. and Srouji F. 2009. Future water needs in Palestine, Palestine Economic Policy Research Institute Press.
Kenny A. 2008. Assessment of the Social Impacts of Drought. Journal of American Water Resources Association, 37(3): 678- 686.

Estimating the Residential Water Demand Functions of Anar City with an Emphasis on Indoor and Outdoor Consumptions

E. Vaseghi^{1*}, M.R. Zare Mehrjerdi², S. Mohseni³

1,2,3- PhD student, Associate Professor and PhD student in Department of Agricultural Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

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

Received: 30-04-2017

Accepted: 20-11-2017

برآورد توابع تقاضای آب خانگی شهر انار با تأکید بر مصارف داخلی و خارجی

الهه واغنی^{۱*}، محمدرضا زارع مهرجردی^۲، سیمین محسنی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان.

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

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۲۹

Abstract

Knowing the factors affecting water demand is essential for the management of demand, which will become better through analysis of consumer reactions to price and income changes. The purpose of this study is to determine the factors affecting water consumption and calculate the price and income elasticity of sample households in the Anar city located in Kerman province. To achieve this goal, 120 questionnaires were completed by sample households in 2015. According to the results of the estimated logarithmic models, variables such as price, income, age, education, and the number of bathrooms and toilettes were identified as the factors affecting indoor water consumptions. Also, variables including price, income, number of taps, number of cars, and the number of pots were identified as the factors affecting outdoor water consumptions. The estimated price and income elasticity are indicative of the low elasticity of water demand compared to current prices and household income. Moreover, results indicate that the price and income elasticity of indoor consumptions are less than price and income elasticity of outdoor consumptions.

Keywords: Residential water demand, Indoor and outdoor consumptions, Price elasticity, Income elasticity, City of Anar.

چکیده

برای مدیریت تقاضا، شناخت عوامل موثر بر تقاضای آب مصرفی، ضروری است و این امر با تجزیه و تحلیل عکس‌العمل مصرف‌کنندگان نسبت به تغییرات قیمت و درآمد کامل‌تر خواهد شد. از این رو هدف از این تحقیق، تعیین عوامل موثر بر مصارف آب و محاسبه کشش‌های قیمتی و درآمدی خانوارهای نمونه در شهر انار از توابع استان کرمان است. برای رسیدن به این هدف ۱۲۰ پرسش‌نامه از خانوارهای نمونه در سال ۱۳۹۴ تکمیل شد. طبق نتایج مدل‌های لگاریتمی برآورد شده، متغیرهای قیمت، درآمد، سن، سطح سواد و تعداد سرویس‌های بهداشتی از جمله عوامل موثر بر مصارف داخلی و همچنین متغیرهای قیمت، درآمد، سطح سواد، تعداد شیرآب، تعداد اتومبیل و تعداد گلدان‌های گل از جمله عوامل موثر بر تقاضای غیرداخلی شناخته شدند. کشش‌های قیمتی و درآمدی محاسبه شده نیز کم کشش بودن تقاضای آب را نسبت به قیمت‌های موجود و درآمد خانوارها نشان دادند. علاوه بر آن، نتایج نشان داد که کشش‌های قیمتی و درآمدی برای مصارف داخلی کمتر از مصارف خارجی برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی: تقاضای آب خانگی، مصارف داخلی و خارجی، کشش قیمتی، کشش درآمدی، شهر انار.

آب به عنوان یک ماده حیاتی در اغلب مصارف خانگی به عنوان محصول نهایی، نیازهای اساسی خانوار را برآورده می‌کند. استفاده از آب توسط خانوارها به دو شکل مصارف داخلی^۱ و خارج^۲ ساختمان مسکونی تفکیک می‌شود. مصارف داخلی شامل دو گروه اصلی است که گروه اول را آشامیدن و پخت و پز شامل می‌شود و گروه دوم شامل بهداشت فردی (حمام، توالت، شستن لباس و ظروف) است. مصارف خارجی نیز شامل شستن اتومبیل، حیاط، پارکینگ و آبیاری گل‌ها و باغچه داخل حیاط است. شاید بتوان تفاوت این دو نوع مصرف را در درجه ضرورت و اهمیت آن‌ها دانست؛ زیرا در تعیین الگوی مصرف، غالباً مصارف داخلی آب از اهمیت بیشتری برخوردارند. باید توجه داشت با اینکه آب به عنوان کالای اقتصادی و اجتماعی یکی از منابع تجدیدشونده با عرضه منطقه‌ای و بازاری انحصاری محسوب می‌شود، ولی مقدار آن محدود است (فلاحی و همکاران، ۱۳۸۸). از این رو از جمله راهکارهای مناسب در این زمینه مدیریت تقاضا و از آن مهم‌تر فرهنگ‌سازی در جهت استفاده مطلوب از آب است.

ایران در یک منطقه نیمه‌خشک است و استان کرمان نیز نهایت خشکی را دارد. بیشتر شهرهای این استان با بحران کم آبی مواجه هستند. از لحاظ تقسیمات کشوری شهر انار یکی از شهرستان‌های تابعه استان کرمان است. این شهرستان از شمال و شمال غربی به استان یزد و از شرق و جنوب شرقی به شهرستان رفسنجان و از مغرب و جنوب غربی به شهرستان شهرابک محدود شده است. بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ شهرستان انار با جمعیت ۳۵۲۹۲ نفر، دارای ۹۵۷۷ خانوار است که از این تعداد ۴۸۸۰ خانوار شامل ۱۷۶۴۴ نفر در نقاط شهری ساکن هستند بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های آماری اداره هواشناسی انار، اقلیم این شهر از نوع بیابانی خشک است. با توجه به کاهش بارندگی در سال‌های اخیر، برای استفاده مناسب از منابع آب لازم است برنامه‌ریزی‌های دقیقی در امر عرضه و تقاضا در این شهر و شهرستان‌های مشابه انجام شود. در این راستا تخمین تابع تقاضای آب خانوارهای شهری این امکان را فراهم می‌سازد تا عوامل موثر بر مصرف آب خانگی شناخته شود و با استفاده از حساسیت تقاضا نسبت به متغیرهای تأثیرگذار برای نیازهای شهروندان برنامه‌ریزی شود. البته با توجه به تنوع مصارف آب، بررسی عوامل اثرگذار بر انواع مصارف آب خانگی و برآورد کسش‌های تقاضا با توجه به نوع مصرف، ارزیابی حساسیت مصرف‌کنندگان به تغییرات قیمت و درآمد را با دقت بیشتری امکان‌پذیر می‌کند. از این رو در این مقاله با توجه به تنوع بسیار زیاد عوامل تأثیرگذار بر مصرف آب شرب خانگی، تابع تقاضای آب شرب شهر انار برای مصارف داخلی (در دو گروه مجزا) و مصارف خارجی برآورد شده است.

تعیین کسش قیمتی و درآمدی به عنوان ابزاری برای تعیین چگونگی تأثیر متغیرهای کنترل‌کننده تقاضای آب، بهینه‌ترین رویکردی است که

می‌تواند منجر به انتخاب صحیح استراتژی‌های قیمت‌گذاری شود. در واقع برآورد دقیق کسش‌ها به همراه انتخاب تعرفه مناسب، توسعه کمی و کیفی منابع کمیاب و کارایی آب، در صدر مسائل مرتبط به اقتصاد آب قرار دارد (صالح‌نیا و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعات و پژوهش‌های انجام گرفته بیانگر تأثیرگذاری طیف وسیعی از عوامل و متغیرهای مستقل بر میزان تقاضای آب خانوارها است. به عنوان مثال در مطالعات خارجی Panagopoulos (۲۰۱۳) عوامل اقتصادی مانند قیمت و درآمد و فاکتورهای اقلیمی مانند دما و بارندگی را بررسی نمود. Dagneu (۲۰۱۲) عواملی مانند درآمد خانوارها، موقعیت تحصیلی سرپرست خانوارها، اعضای خانوارها، جنسیت افراد، مالکیت منزل و آب‌بها و Bradley (۲۰۰۴) وضعیت اقتصاد، اشتغال، نوع مالکیت و بعد خانوار را به عنوان عوامل اثرگذار بر تقاضای آب معرفی نمودند. در مطالعات داخلی نیز موسوی و همکاران (۱۳۸۹) متغیرهای درآمد، قیمت آب شهری، اندازه خانوار، متوسط سواد خانوار، مساحت زیربنای منزل، مساحت حیاط و باغچه، تعداد سرویس‌های بهداشتی، تعداد کولر، تعداد ماشین لباسشویی، تعداد اتومبیل، تعداد طبقات و نوع مالکیت را بر تقاضای آب بررسی کردند. جبل عامل و گودرزی (۱۳۹۲) نیز یارانه‌های مربوط به آب و انصاری و صالح‌نیا (۱۳۹۳) متغیرهای زیادی از جمله متغیرهای مرتبط با عرصه و اعیان، وسایل و تجهیزات کم و پرمصرف، پارامترهای اقلیمی و خصوصیات سیستم توزیع را به عنوان عوامل موثر بر تقاضای آب شهری عنوان و مورد بررسی قرار دادند. در اکثر مطالعات مذکور برای محاسبه کسش‌های درآمدی و قیمتی از سه روش عمده؛ پولاک والس (صالح‌نیا و همکاران، ۱۳۸۸)، مطلوبیت استون‌گری (صبحی و نوبخت، ۱۳۸۸؛ آرمین و داویدیان رنجبر، ۱۳۹۱؛ خوش‌اخلاق و شهرکی، ۱۳۸۷؛ ادیب‌پور و شیرآشینی، ۱۳۹۳؛ Harris و Dharmaratna، ۲۰۱۰) و رگرسیون چند متغیره (Panagopoulos، ۲۰۱۳؛ wilby و parker، ۲۰۱۳؛ Dagneu، ۲۰۱۲؛ موسوی و همکاران، ۱۳۸۹) استفاده شده است. به طور کلی مرور مطالعات تقاضای آب خانگی نشان داد در برآورد توابع تقاضا، مطالعات اندکی تقاضای داخلی و خارجی را از هم تفکیک نمودند که البته در این نوع از مطالعات مصارف تابستان به عنوان جانشین مصارف خارجی و مصارف زمستان به عنوان جانشین مصارف داخلی در نظر گرفته شده است (Carver و Boland، ۱۹۸۰؛ سجادی‌فر و خیابانی، ۱۳۹۰؛ صبحی و نوبخت، ۱۳۸۸). لذا تفکیک مقدار مصرف آب به دو نوع داخلی و خارجی رویکرد نوآورانه این پژوهش خواهد بود که برای این منظور با توجه به پرسشنامه‌ای دقیق مقادیر مصرف آب هر خانوار برای آشامیدن و پخت و پز (مصارف داخلی گروه اول)، بهداشت (مصارف داخلی گروه دوم) و مصارف خارجی محاسبه و عوامل موثر بر هریک از آن‌ها به روش تحلیل رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت حساسیت خانوارها برای مصرف آب نسبت به ابزار قیمت و درآمد محاسبه و مقایسه شد. انتظار می‌رود نتایج تحقیق حاضر با توجه به عوامل تأثیرگذار بر مصرف آب برای اعمال مدیریت صحیح در بخش تقاضای آب مفید واقع شود.

در متون اقتصادی تقاضا، مقدار کالا یا خدمتی تعریف می‌شود که فرد در قیمت‌های معین مایل و قادر به خریداری آن باشد. تقاضای آب شهری شامل انواع تقاضای آب برای کاربردهای خانگی، عمومی و تجاری است. تقاضای عمومی آب، شامل آب عرضه شده به پارک‌ها، بیمارستان‌ها، مدارس و دیگر مکان‌های عمومی است و تقاضای تجاری آب، شامل آب مصرفی انبارها، فروشگاه‌ها، رستوران‌ها، هتل‌ها و دیگر موارد مشابه می‌شود. تقاضای خانگی نیز شامل مصارف اعضای خانوار در داخل (آشامیدن و پخت و پز، بهداشت فردی) یا خارج از محدوده مسکونی (حیاط، پارکینگ و آبیاری فضای سبز موجود در باغچه) می‌شود. لذا در این مقاله سعی شده تا با استفاده از اطلاعات میدانی در شهر انار واقع در استان کرمان در ابتدا مقادیر مصرف آب به تفکیک مصارف داخلی و خارجی محاسبه شود و با استفاده از رگرسیون ساده ولی دقیق و عملیاتی، بعد از برآورد عوامل موثر بر تقاضا، کشش قیمتی و درآمدی تقاضای آب خانگی در مدل‌های مورد نظر محاسبه و مقایسه شود. بر این اساس در سال ۱۳۹۴ با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی، ۱۲۰ پرسشنامه توسط خانوارهای ساکن در شهر انار تکمیل گردید و اطلاعات بدست آمده با استفاده از نرم افزارهای Eviews 8 و Stata 12 تجزیه و تحلیل شد. البته لازم به توضیح است که برای برآورد مقادیر مصرف آب، غیر از پرسشنامه اصلی که بصورت حضوری تکمیل گردید، پرسشنامه‌ای به هر خانوار تحویل داده شد تا الگوی مصرف خود را طی یک هفته بر اساس روزهای هفته تکمیل نمایند و همچنین از آنها خواسته شده که چهار نسخه قبض آب را در فصول مختلف آماده کنند. پس از موعد مقرر دوباره به منازل مربوطه مراجعه گردید و پرسشنامه‌های الگوی مصرف درب منزل بررسی گردید و همراه با اطلاعات قبوض آب تحویل گرفته شد. در نهایت مقدار مصارف آب در هر دو گروه پرسشنامه و متوسط مصرف ماهیانه برآورد شده از قبوض آب، باهم تطبیق داده شد و سهم و مقدار آب مصرفی در هر گروه مصرفی محاسبه شد. لذا از آنجا که حجم آب مصرفی بر حسب ماهیت اسکان یا ترکیب خانوار، قیمت آب، شغل و سواد ساکنان و ابزار و تجهیزات استحصال آب تغییر می‌کند، داده‌های مورد استفاده در این پژوهش برای برآورد تقاضای آب خانگی شهر انار عبارتند از:

Q_1 : متوسط مقدار مصرف آب آشامیدن و پخت و پز هر خانوار.

مقدار مصرف ماهیانه آب آشامیدنی در ماه با توجه به تعداد اعضای خانوار و متوسط مصرف آب آشامیدن هر فرد در روز، برآورد گردید. همچنین با توجه به پرسشنامه الگوی مصرف خانوار، برای هر خانوار مقدار مصرف آب برای پخت و پز (صبحانه، نهار، شام) بصورت روزانه و در نهایت مصرف آب پخت و پز به صورت ماهیانه برآورد گردید. Q_2 : متوسط مقدار مصارف آب به منظور بهداشت فردی (حمام، توالت، شستن لباس و ظروف) هر خانوار.

برای برآورد مصارف بهداشتی از هر خانوار، اطلاعاتی مانند تعداد حمام هر فرد در ماه، مدت زمان هر حمام، مدت زمان باز بودن دوش آب، مصرف متوسط آب در هر بار استفاده از حمام (با توجه به پرسشنامه الگوی مصرف تمام اعضای خانوار)، دفعات استفاده هر فرد از توالت، مقدار مصرف در هر بار، نوع شستن لباس و ظروف (دستی، ماشینی)، مقدار مصرف آب در هر بار شستن با توجه به نوع شست‌وشو و ... پرسش شده و با توجه به الگوی مصرفی آن‌ها، سهم مصارف بهداشتی از کل مصرف برآورد گردید.

Q_3 : متوسط مقدار مصارف خارجی (شستن اتومبیل، حیاط، پارکینگ و آبیاری گل‌های آپارتمانی داخل منزل و باغچه داخل حیاط) هر خانوار

برای برآورد Q_3 نیز مانند دو مورد قبل از دو سری پرسشنامه استفاده شد و اطلاعاتی مانند تعداد دفعات شستن، تعداد دفعات آبیاری، مقدار مصرف آب در هر بار شستن ماشین، نوع آبیاری باغچه و گل‌های گلدانی، مدت زمان آبیاری باغچه در هر بار آبیاری و ... پرسیده شد و مقدار مصرف آب به‌طور متوسط برآورد گردید.

P : متوسط هزینه پرداختی برای مصارف آب (ریال) که با توجه به قبوض مصرف آب به‌طور متوسط برآورد شد.

M : متوسط درآمد ماهیانه خانوار (ریال)

X_1 : متوسط سن خانوار (سال)

X_2 : متوسط سطح سواد خانوار (سال‌های تحصیل تمام افراد خانوار متناسب با مقطع تحصیلی آن‌ها پرسیده شد و میانگین آن به عنوان متوسط سطح سواد خانوار در نظر گرفته شد)

X_3 : تعداد شیرآلات موجود در منزل

X_4 : تعداد حمام و توالت موجود در هر واحد مسکونی

X_5 : مساحت حیاط و پارکینگ (مترمربع)

X_6 : تعداد اتومبیل شخصی هر خانوار

X_7 : تعداد گلدان‌های گل موجود در خانه

با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده، سه تابع تقاضای زیر به فرم لگاریتمی برآورد شد و با استفاده از روابط (۴) و (۵) کشش درآمدی و قیمتی محاسبه شد.

$$\ln Q_1 = \beta_{11} + \beta_{12} \ln M + \beta_{13} \ln P + \beta_{14} \ln X_1 + \beta_{15} \ln X_2 \quad (1)$$

$$\ln Q_2 = \beta_{21} + \beta_{22} \ln M + \beta_{23} \ln P + \beta_{24} \ln X_1 + \beta_{25} \ln X_2 + \beta_{26} \ln X_3 + \beta_{27} \ln X_4 \quad (2)$$

$$\ln Q_3 = \beta_{31} + \beta_{32} \ln M + \beta_{33} \ln P + \beta_{34} \ln X_1 + \beta_{35} \ln X_2 + \beta_{36} \ln X_3 + \beta_{37} \ln X_5 + \beta_{38} \ln X_6 + \beta_{39} \ln X_7 \quad (3)$$

$$\beta_2 = \% \Delta Q / \% \Delta M = d \ln Q / d \ln M \quad (4)$$

$$\beta_3 = \% \Delta Q / \% \Delta P = d \ln Q / d \ln P \quad (5)$$

در روابط (۱)، (۲) و (۳) کشش درآمدی تقاضاهای مذکور معادل با β_{12} ، β_{22} و β_{32} و کشش قیمتی توابع معادل با β_{13} ، β_{23} و β_{33} می‌باشد. به‌طوریکه کشش قیمتی تقاضا چگونگی واکنش مصرف‌کنندگان را به تغییرات قیمت آب نشان می‌دهد (رابطه ۴) و کشش درآمدی تقاضا، چگونگی تغییرات مصرف آب را به ازای تغییرات درآمد مصرف‌کنندگان

(رابطه ۵) نشان می‌دهد. مهمترین نکته که از مطالعات انجام گرفته در مورد کشش قیمتی تقاضای آب بر می‌آید آن است که این کشش به‌طور معنی‌داری منفی است؛ یعنی مصرف‌کنندگان با افزایش قیمت، تمایل به مصرف کمتری را نشان می‌دهند. از طرف دیگر در اکثر مطالعات، تقاضای آب نسبت به قیمت و درآمد بی‌کشش بدست آمده است. به‌طور معمول انتظار می‌رود با افزایش درآمد مصرف‌کننده، تقاضا برای آب افزایش یابد، اما به دلیل اینکه آب از کالاهای ضروری محسوب می‌شود، کشش درآمدی کمتر از یک بدست می‌آید. لذا در این مطالعه ضمن برآورد توابع تقاضا، هر دو فرض در مورد کشش قیمتی و کشش درآمدی در توابع تقاضای آب

نتایج و بحث

نظرسنجی جمع‌آوری شده از خانوارهای نمونه در شهر انار نشان داد که ۷۸ درصد از خانوارها معتقد به استفاده بی‌رویه از آب تصفیه شده در منازل مسکونی هستند. از این تعداد ۳۱ درصد استحمام کردن و ۵۴ درصد شستن حیاط، پارکینگ و آبیاری غرقابی باغچه‌ها و ۱۵ درصد مابقی نیز شستن ظروف و لباس مخصوصاً در ماشین‌های ظرفشویی و لباسشویی را عامل اصلی هدر رفت آب در منازل مسکونی اعلام کرده‌اند. البته محاسبه انواع مصارف خانوارها به تفکیک درونی و بیرونی با استفاده از اطلاعات پایه پرسشنامه‌ها و الگوی مصرف خانوارها و همچنین قبوض آب تاکیدی بر این ادعا بود. به گونه‌ای که مصارف سالیانه پخت و پز و آشامیدن هر خانوار تنها ۵ درصد از مصارف سالیانه را به خود اختصاص داده است و مصرف سالیانه بهداشت اعم از حمام کردن، توالی، شستن لباس‌ها و شستن ظروف در حدود ۲۹ درصد و مصارف بیرونی مشمول بر شستن ماشین، حیاط و پارکینگ و همچنین آبیاری باغچه‌ها ۶۶ درصد مصارف سالیانه آب تصفیه شده را در نمونه مورد بررسی به خود اختصاص داده است. لذا با توجه به این نتایج و توضیحات ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها، در این بخش عوامل موثر بر انواع مصارف آب در شهر انار بررسی و نتایج آن در جدول (۱) ارائه گردید.

همانطور که در روش تحقیق نیز اشاره شد به علت اینکه داده‌های مورد مطالعه از نوع مقطعی است، مشکل اصلی این داده‌ها وجود واریانس ناهمسانی است، لذا برای بررسی این موضوع از آزمون وایت استفاده شد. مقادیر آماره F برای این آزمون در هر سه تابع به ترتیب ۲/۶۴، ۴/۳۲۶ و ۶/۴۳۹ بدست آمد و با توجه به معنی‌داری هر سه آماره، فرضیه H_0 مبتنی بر همسانی واریانس برای هر سه تابع رد گردید (جدول ۱). به همین دلیل با امکانات موجود در نرم‌افزار Eviews این مشکل برطرف شد و مدل‌های تقاضا با استفاده از روش‌های حداقل مربعات تعمیم یافته (GLS) برآورد گردید.

طبق جدول (۱)، متغیرهای توضیحی می‌توانند به ترتیب ۵۶ درصد، ۶۲ درصد و ۶۰ درصد از تغییرات مصارف آب Q_1 ، Q_2 و Q_3 را توجیه

خانگی در شهر انار آزمون می‌شود و نه تنها در مصارف مختلف، بلکه با نتایج مطالعات گذشته نیز مقایسه خواهد شد.

لازم به توضیح است که برای برآورد هر سه تابع از تکنیک‌های اقتصادسنجی بهره گرفته شده است، به گونه‌ای که با توجه به فروض کلاسیک، آزمون‌های مربوطه نیز انجام خواهد شد. به عنوان مثال با توجه به اینکه داده‌های این مطالعه از نوع مقطعی است، وجود ناهمسانی واریانس موجب می‌شود تخمین زنده‌های OLS^۲، کارا نباشند، یعنی حداقل واریانس را نخواهند داشت. لذا آزمون وایت^۳ برای تست واریانس ناهمسانی انجام خواهد شد و در صورت وجود ناهمسانی، از روش GLS^۴ استفاده می‌شود (سوری، ۱۳۹۴).

نمایند. با توجه به آزمون معنی‌دار بودن پارامترها، متغیرهای درآمد، قیمت و سطح سواد معنی‌دار محاسبه شده‌اند و از عوامل موثر بر تقاضای داخلی از نوع آشامیدن و پخت و پز شناخته شده‌اند. در مورد تقاضای داخلی از نوع بهداشت نیز غیر از درآمد، قیمت و سواد متغیرهای متوسط سن افراد خانوار و تعداد شیرآلات موجود در واحد مسکونی نیز از عوامل موثر بر میزان تقاضا شناخته شد و در تابع تقاضای خارجی نیز غیر از درآمد، قیمت و سواد متغیرهای تعداد شیرآلات، تعداد اتومبیل شخصی و تعداد گلدان‌های گل معنی‌دار بدست آمد. مقایسه ضرایب بدست آمده در میان متغیرهای معنی‌دار نشان می‌دهد در هر سه تابع، متغیر درآمد بیشترین اثر را بر تقاضای آب خانگی داشته است.

اثر مثبت و معنی‌دار متغیر متوسط سن بر تقاضای آب بهداشتی نشان می‌دهد که با افزایش متوسط سن افراد خانوار، تقاضا برای مصارف بهداشتی افزایش می‌یابد، ولی اثر این متغیر بر تقاضای آشامیدن و پخت و پز و همچنین بر تقاضای خارجی معنی‌دار نشده است. متغیر سطح سواد خانوار بر سه نوع تقاضا، اثر منفی و معنی‌داری نشان داد. در واقع سطح سواد افراد خانوار می‌تواند شاخصی از دانش افراد از نحوه بهینه مصرف و همچنین روش‌های صرفه جویی آب تصفیه شده در منازل باشد. بنابراین افزایش این سطح دانش باعث کاهش تقاضا خواهد شد.

تعداد شیرآلات موجود در ساختمان و خارج از ساختمان مسکونی نیز به صورت کاملاً منطقی اثری مثبت و معنی‌دار بر تقاضای بهداشتی و تقاضای بیرونی نشان داد. اثر مثبت و معنی‌دار تعداد اتومبیل و همچنین تعداد گلدان‌های گل بر تقاضای بیرونی نیز از نتایج روشن و منطقی این مطالعه بوده است.

ضریب متغیر قیمت یا به عبارت دیگر کشش قیمتی هر سه نوع تقاضا منفی و معنی‌دار است و نشان می‌دهد با افزایش ۱۰ درصد قیمت آب، میزان تقاضای آب برای پخت و آشامیدن ۰/۸ درصد کاهش می‌یابد، در صورتیکه میزان تقاضا برای مصارف بهداشتی ۱/۴ درصد و تقاضا برای مصارف بیرونی ۱/۷ درصد کاهش می‌یابد. در مطالعات گذشته نیز با وجود اختلاف در مناطق مورد مطالعه و اختلاف در

تکنیک‌های اقتصادسنجی تقریباً همه بر روی کم‌کشش بودن تقاضای آب خانگی تأکید داشته‌اند، یعنی کشش قیمتی معنی‌دار، ولی قدر مطلق آن کمتر از یک بوده است. به عنوان نمونه قدر مطلق کشش قیمتی در مطالعه ادیب‌پور و شیرآشیانی (۱۳۹۳) معادل ۰/۲۶، در مطالعه خوش اخلاق و شهرکی (۱۳۸۷) معادل ۰/۰۶، در مطالعه صبحی و نوبخت (۱۳۸۸) بین ۰/۳ تا ۰/۸ و در مطالعه فلاحی و همکاران (۱۳۸۸) بدست آمده است. این مقادیر نشان می‌دهد که نتایج این مطالعه نیز تأییدی بر نتایج مطالعات گذشته است. عمده‌ترین دلایل بی‌کشش بودن تقاضای آب نسبت به قیمت در بیشتر مطالعات انجام شده را می‌توان به نبودن جانشینی برای آب در بیشتر مصارف و از جمله شرب، کم‌بودن هزینه آب در بودجه خانوار و مکمل بودن آن در اغلب مصارف با سایر کالاها، مربوط دانست. البته نتایج حاصل در این مطالعه نشان می‌دهد که کشش‌های قیمتی برای بهداشت بیشتر از پخت و پز و آشامیدن است و همچنین کشش قیمتی مصارف بیرونی از مصارف داخلی بیشتر است. به عبارت دیگر

افزایش قیمت نسبی آب، می‌تواند اثر بیشتری در کاهش مصارف غیر ضروری داشته باشد. درواقع هرجایی که اضافه مصرف بیشتر است، کشش قیمتی نیز بیشتر بدست آمده است. این امر نشان می‌دهد که افزایش قیمت می‌تواند تأثیر بیشتری در کاهش مصرف در این شرایط داشته باشد.

ضریب مثبت و معنی‌دار متغیر درآمد یعنی کشش درآمدی نیز نشان می‌دهد که افزایش ۱۰ درصدی در درآمد، افزایش ۰/۴ درصدی در مقدار تقاضای آب برای پخت و آشامیدن، افزایش ۳/۷ درصدی در تقاضا برای مصارف بهداشتی و افزایش ۷/۶ درصدی در تقاضای بیرونی به دنبال خواهد داشت. بزرگتر بودن کشش درآمدی مصارف خارجی نسبت به مصارف داخلی، نشان‌دهنده ضروری‌تر بودن مصارف داخلی است. همانطور که مرور مطالعات گذشته نیز نشان می‌دهد کشش درآمدی مصارف تابستان (جانشین مصارف خارجی) بزرگتر از کشش درآمدی مصارف زمستان (جانشین مصارف داخلی) است (سجادی‌فر و خیابانی، ۱۳۹۰؛ Carver و Boland، ۱۹۸۰).

جدول ۱- نتایج تخمین توابع تقاضای آب خانگی برای مصارف داخلی و خارجی (اعداد داخل پرانتز احتمال را نشان می‌دهد)

نام متغیر	توضیح متغیر	تقاضای داخلی			تقاضای خارجی	
		$\ln Q_1$	$\ln Q_2$	$\ln Q_3$	$\ln Q_3$	
$\ln M$	لگاریتم متوسط درآمد ماهیانه خانوار	۰/۰۴۶۷ (۰/۰۰۰۰)	۰/۳۷۳۱ (۰/۰۰۰۰)	۰/۸۵۶۷ (۰/۰۰۰۰)		
$\ln P$	لگاریتم متوسط هزینه پرداختی	- ۰/۰۸۶۶ (۰/۰۶۸۴)	- ۰/۱۳۵۱ (۰/۰۰۰۳)	- ۰/۱۶۹۲ (۰/۰۲۴۱)		
$\ln X_1$	لگاریتم متوسط سن خانوار	۰/۲۴۰۲ (۰/۱۱۶۶)	۰/۰۷۱۴ (۰/۰۳۹۸)	۰/۱۹۸۰ (۰/۳۱۰۷)		
$\ln X_2$	لگاریتم متوسط سطح سواد خانوار	- ۰/۰۴۲۵ (۰/۰۹۷۰)	- ۰/۰۸۱۶ (۰/۰۲۵۴)	- ۰/۱۲۴۶ (۰/۰۴۹۱)		
$\ln X_3$	لگاریتم تعداد شیرآلات		۰/۱۴۸۵ (۰/۰۹۷۰)	۰/۳۵۹۵ (۰/۰۸۰۵)		
$\ln X_4$	لگاریتم تعداد حمام و توالت		۰/۱۰۱۹ (۰/۴۹۰۳)			
$\ln X_5$	لگاریتم متوسط مساحت حیاط و پارکینگ			۰/۱۲۷۸ (۰/۱۹۷۷)		
$\ln X_6$	لگاریتم تعداد اتومبیل شخصی			۰/۳۱۶۲ (۰/۰۶۳۳)		
$\ln X_7$	لگاریتم تعداد گل‌دان‌های گل			۰/۱۸۴۱ (۰/۰۲۵۴)		
	ضریب تعیین مدل (R2)	۰/۵۶	۰/۶۲	۰/۶۰		
	مقادیر آماره F در تست واریانس ناهمسانی Whit	۲/۶۴ (۰/۰۳۷۳)	۴/۳۲۶ (۰/۰۰۰۰)	۶/۴۳۹ (۰/۰۰۰۰)		

Q_1 : مصارف داخلی از نوع آشامیدن و پخت و پز، Q_2 : مصارف داخلی از نوع بهداشت فردی (حمام، توالت، شستن لباس‌ها و ظروف) و Q_3 : مصارف خارجی از نوع شستن اتومبیل، حیاط، پارکینگ و آبیاری باغچه را نشان می‌دهد.

- ادیب‌پور، م. و شیرآشینی، ر. ۱۳۹۳. برآورد تابع تقاضای آب خانگی استان گلستان. فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی، ۸(۲): ۹۱-۱۰۶.
- انصاری، ح. و صالح‌نیا، ن. ۱۳۹۳. ارزیابی پارامترهای موثر بر مصرف آب شرب شهری با استفاده از تکنیک گاما. آب و فاضلاب، ۲۵(۱): ۱۳-۲.
- آرمین، س. و داودیان رنجبر، ر. ۱۳۹۱. تحلیل و تخمین تقاضای آب خانگی بر اساس بلوک‌بندی قیمت آب (مطالعه موردی شهر اهواز). چهارمین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت شهری، ۲۰ و ۲۱ اردیبهشت ۱۳۹۱، مشهد مقدس.
- جبل عاملی، ف. و گودرزی فراهانی، ی. ۱۳۹۲. تأثیر هدفمندی یارانه بر میزان تقاضای آب مصرفی شهری در قم. فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی، ۷(۲): ۱۰۱-۱۱۹.
- خوش اخلاق، ر. و شهرکی، ج. ۱۳۸۷. برآورد تابع تقاضای آب خانگی در شهر زاهدان. پژوهش‌های اقتصادی، ۸(۴): ۱۲۹-۱۴۵.
- سجادی‌فر، س.ح. و خیابانی، ن. ۱۳۹۰. مدل‌سازی تقاضای آب خانگی با استفاده از روش مدل عوامل تصادفی، مطالعه موردی: شهر اراک. مجله آب و فاضلاب، ۳(۷۹): ۵۷-۶۶.
- سوری، ع. ۱۳۹۴. اقتصاد سنجی. جلد ۱. نشر فرهنگ شناسی. چاپ سوم. تهران.
- صالح‌نیا، ن.، انصاری، ح.، فلاحي، م.ع. و داوری، ک. ۱۳۸۸. ارزشیابی کشش درآمدی و قیمتی تقاضای آب شرب شهری با استفاده از روش پولاک-والس. آب و فاضلاب، ۶۹: ۳۴-۴۴.
- صبحی، م. و نوبخت، م. ۱۳۸۸. برآورد تابع تقاضای آب شهر جدید پردیس. آب و فاضلاب، ۲: ۶۹-۷۴.
- فلاحي، م.ع.، انصاری، ح.، داوری، ک. و صالح‌نیا، ن. ۱۳۸۸. قیمت‌گذاری آب شرب شهری بر اساس الگوی رمزی (مطالعه موردی شهر نیشابور). فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۱۳(۳۸): ۲۱۷-۲۴۲.
- موسوی، ن.، محمدی، ح. و بوستانی، ف. ۱۳۸۹. برآورد تابع تقاضای آب خانوارهای شهری، مطالعه موردی: شهر مرودشت. مجله آب و فاضلاب، ۲۱(۲): ۹۰-۹۴.
- Bradley R. 2004. Forecasting domestic water use in rapidly urbanizing areas in Asia. Journal of Environ Engineering, 130: 465-471.
- Carver P.H., and Boland J.J. 1980. Short-run and long-run effects of price on municipal water use. Water Resources Research, 16(4): 609-616.
- Dagnew D.C 2012. Factors determining residential water demand in north Western Ethiopia. The case of Merawi (Masters' thesis). Cornell University.
- Dharmaratna D., and Harris E. 2012. Estimating residential water demand using the Stone-Geary functional form: The case of Sri Lanka. Water Resources Management, 26(8): 2283-2299.
- Panagopoulos G.p. 2013. Assessing the impacts of socio-economic and hydrological factors on urban water demand: A multivariate statistical approach. Journal of Hydrology, 518(A): 42-48.
- Parker J.M., and Wilby R.L. 2013. Quantifying household water demand: A review of theory and practice in the UK. Water resources management, 27(4): 981-1011.

در مطالعه حاضر، از مدل لگاریتمی برای استخراج توابع تقاضای داخلی و خارجی آب خانگی شهر انار استفاده شده است. از نتایج این برآوردها، متغیرهای قیمت، درآمد، متوسط سن، سطح سواد، تعداد سرویس‌های بهداشتی از جمله عوامل اثرگذار بر مصارف داخلی و همچنین متغیرهای قیمت، درآمد، سطح سواد، تعداد شیرآلات، تعداد اتومبیل شخصی و تعداد گلدان‌های گل از جمله عوامل موثر بر تقاضای غیرداخلی بدست آمد. در ادامه، کشش‌های قیمتی و درآمدی بر اساس ضرایب متغیرهای قیمت و درآمد در توابع تقاضا، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از این برآوردها حاکی از کم کشش بودن تقاضای آب خانگی برای انواع مصارف می‌باشد. در توجیه این نتیجه باید گفت آب یک کالای ضروری و حیاتی بوده و بنابراین تغییرات قیمت و درآمد اثر چشم‌گیری بر مقدار مصرف آب ندارد. بنابراین از آنجا که افزایش یک درصدی در قیمت، تمایل به مصرف را کمتر از یک درصد تغییر می‌دهد، افزایش قیمت تا سقف مورد انتظار کاربران می‌تواند برای شرکت آب و فاضلاب ایجاد درآمد کرده بدون اینکه عکس‌العمل شدیدی از طرف مصرف‌کنندگان نشان داده شود. از این رو در این راستا پیشنهاد می‌شود این درآمد در جهت ارائه خدمات آبرسانی بهتر به سمت کاهش تلفات آب در مسیر استفاده شود. البته با توجه به بیشتر بودن کشش قیمتی مصارف غیرداخلی نسبت به کشش قیمتی مصارف داخلی، تفکیک این دو مصرف منطقی است و باید در کانون توجهات قرار گیرد.

از طرف دیگر اطلاعات تکمیلی این مطالعه حاکی از اظهارات کاربران در استفاده بی‌رویه آب در موارد مختلف مانند استحمام، شست و شو و آبیاری گیاهان می‌باشد. به این منظور با توجه به اینکه سطح سواد ارتباط معنی‌داری با کاهش مصرف آب داشت، پیشنهاد می‌شود در مدارس در جهت روش‌های کاهش مصرف مانند بازنگذشتن بی‌مورد شیرآب در حمام و سرویس‌های بهداشتی، جاروکردن ممتد حیاط و پارکینگ به جای شستن با آب، استفاده از سیستم‌های لوله‌کشی گردشی برای استفاده مجدد از بعضی از آب‌ها در مسیر آبیاری و شستن محوطه و مواردی از این قبیل به دانش‌آموزان آموزش‌هایی داده شود. به عبارت دیگر با افزایش سطح آگاهی و سواد خانوارها چه از طریق مدارس و چه از طریق رسانه‌ها می‌توان به صرفه‌جویی در مصرف آب امیدوار بود.

پی‌نوشت

- 1- Indoor
- 2- outdoor
- 3- Ordinary least squares
- 4- Whit
- 5- Generalized least squares

Determining and Analysing Effective Factors on Water Price in Water and Sanitation BOT Contracts using System Dynamic Simulation

S.A. Chavoshian¹, M. Bayat², S.h. Sajadifar^{3*}

1- PhD, Directors, UNESCO Regional Centre on Urban Water Management, Tehran, Iran. 2- Ph.D student, Construction Management, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran. 3- PhD, Economic Systems, Economic Consultant, Tehran Province Water & Wastewater Company, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: h.sajadifar@gmail.com)

Received: 12-06-2017

Accepted: 01-08-2017

تعیین و تحلیل عوامل مؤثر بر قیمت آب در قراردادهای BOT طرح‌های آب و فاضلاب با به کارگیری شبیه‌سازی پویایی سیستم

سیدعلی چاوشیان^۱، مرتضی بیات^۲، سیدحسین سجادی‌فر^{۳*}

۱- دکتری مدیریت جامع حوضه آبریز، مرکز منطقه‌ای مدیریت آب شهری تحت پوشش یونسکو. ۲- دانشجوی دکتری مدیریت ساخت، دانشگاه علم و صنعت ایران. ۳- دکتری سیستم‌های اقتصادی، مشاور اقتصادی، شرکت آب و فاضلاب استان تهران.

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

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۱۰

Abstract

Public-private partnership contracts are considered as effective tools for taking advantage of the technical, executive, managerial, and financial resources of the private sector potentials in order to construct and develop infrastructures. One of the most important and common types of public-private partnership are BOT contracts. Identifying the decision-making variables in the contractual model appropriately is vital in the contract's success and in achieving the expected objectives of the stakeholders. The price of products in BOT contracts is the main decision-making variable that the project stakeholders have contradictory preferences. The variety of effective parameters that influence product prices in BOT projects, including uncertainty and their dependencies and interactions, complicates the decision making process. This reveals the necessity of a systematic approach and applying a mathematical model for solving the problems. In this paper, the most common methods for determining product prices in BOT projects is reviewed. A new system dynamics model is provided to determine the product price of BOT contracts from the viewpoint of the project investor. The proposed techniques are not limited to water and wastewater sector projects but also could be used in other BOT projects of the industrial sector.

Keywords: Financial model, BOT project, System dynamic simulation, Water and wastewater industry.

چکیده

قراردادهای مشارکت عمومی-خصوصی، ابزاری کارآمد برای بهره‌مندی از پتانسیل‌های فنی، اجرایی، مدیریتی و منابع مالی بخش خصوصی در زمینه‌ی احداث و توسعه پروژه‌های زیرساخت مورد توجه است. یکی از مهمترین و رایج‌ترین انواع مشارکت عمومی-خصوصی، قراردادهای BOT می‌باشد. شناسایی و تعیین متغیرهای تصمیم‌گیری در این مدل قراردادی در موفقیت‌آمیز بودن آن و حصول به هدف‌های پیش‌بینی شده‌ی ذی‌نفعان، حیاتی و حایز اهمیت است. در مدل قراردادی BOT، قیمت محصول یکی از مهم‌ترین متغیرهای تصمیم‌گیری است که ذی‌نفعان حاضر در پروژه نسبت به آن دارای ترجیحات متفاوتی هستند. تنوع پارامترهای مؤثر بر قیمت محصول در پروژه‌های BOT، عدم قطعیت و وجود وابستگی‌ها و تأثیرات متقابل این پارامترها، محیط تصمیم‌گیری را پیچیده و لزوم نگرش سیستمی و به‌کارگیری مدل ریاضی را برای حل مساله نمایان می‌سازد. در این پژوهش با مروری بر شیوه‌های متداول تعیین قیمت محصول در پروژه‌های BOT، با به‌کارگیری مدل‌سازی پویایی سیستم، روشی برای تعیین قیمت محصول از نظر سرمایه‌گذار ارائه خواهد شد. شیوه پیشنهادی محدود به پروژه‌های بخش آب و فاضلاب نبوده و می‌تواند در پروژه‌های BOT سایر بخش‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مدل مالی، پروژه‌های BOT، شبیه‌سازی پویایی سیستم، صنعت آب و فاضلاب.

دعوت به مناقصه، تسلیم پیشنهادات متقاضیان، انتخاب برنده مناقصه، مذاکره و تدوین توافقنامه واگذاری امتیاز، طراحی، ساخت، بهره‌برداری و انتقال تأسیسات به دولت میزبان می‌باشد. شیوه BOT به دلیل حضور عامل‌ها و ذی‌نفعان مختلف با مطلوبیت‌های متفاوت و متناقض، ساختار قراردادی پیچیده‌ای دارد.

قیمت محصول یکی از مهم‌ترین متغیرها در قراردادهای BOT است که تعیین‌کننده‌ی توجیه‌پذیری مالی و سودآوری بوده و در مرحله‌ی مذاکره به شدت مورد توجه ذی‌نفعان قرار دارد (Shen و همکاران، ۲۰۰۷). قیمت محصول، متغیر تصمیم‌گیری پیچیده و در عین حال در معرض ریسک می‌باشد. از نظر سرمایه‌گذار، هم‌زمان با تعیین قیمت محصول به‌صورت حداقل ممکن که احتمال برنده شدن در مناقصه را حداکثر می‌کند، این قیمت باید به‌گونه‌ای تعیین شود که سود مورد انتظار را حداکثر نماید (Yelin و همکاران، ۲۰۱۲). قیمت‌گذاری محصول برای قراردادهای مشارکت عمومی-خصوصی، به دلیل فقدان شیوه‌های علمی و مبنای تئوری منجر به تعیین قیمت‌های بسیار بالا یا پایین می‌شود (Li، ۲۰۰۷). بررسی گسترده‌ی ادبیات مرتبط با موضوع نشان می‌دهد که در قیمت‌گذاری محصول در قراردادهای BOT (به‌ویژه مدیریت بخشی آب) مطالعات چندانی انجام نشده و تعداد معدودی شیوه‌های عددی برای تعیین قیمت محصول با استفاده از ارزش فعلی خالص^۱، مدل برازش غیرخطی^۲ و شبیه‌سازی مونت کارلو تهیه شده است (Yelin و همکاران، ۲۰۱۲). شیوه‌ی NPV و تخصیص ریسک، مدلی برای تعیین حداقل قیمت آب در پروژه‌های آبرسانی کشور مالزی ارائه شده است (Cheng و Tiong، ۲۰۰۵). اثر تنظیم قیمت بر ظرفیت بزرگراه‌ها در قراردادهای BOT با الگوریتم ژنتیک بررسی شده است (Chen و Subprasom، ۲۰۰۷) با به‌کارگیری شبیه‌سازی فازی، مدلی برای تعیین قیمت محصول و طول دوره‌ی امتیاز ارائه شد (Ng و همکاران، ۲۰۰۷).

توجیه‌پذیری پروژه را از منظر هر یک از ذی‌نفعان مشخص می‌کند. از منظر سرمایه‌گذاران، معیار ارزیابی، حداقل نرخ داخلی بازگشت سرمایه می‌باشد. وام‌دهندگان با انجام آنالیز حساسیت با استفاده از مدل مالی، اطمینان از بازپرداخت اصل وام و پرداخت سود مورد انتظار را حتی در شرایط بدبینانه، کنترل و ارزیابی می‌کنند. دولت میزبان نیز در ارزیابی مالی پیشنهادات دریافتی در فرآیند مناقصه و تعیین برنده با توجه به معیار تعریف شده در مناقصه و همچنین اطمینان از حصول حداقل سود مورد انتظار و جلوگیری از تحصیل سود غیرمعتارف سرمایه‌گذار، مدل مالی را به‌کار می‌گیرد. شرکت پروژه، دولت میزبان و وام‌دهنده به‌طور معمول از یک مدل مالی مورد توافق استفاده می‌کنند، هر چند ورودی‌های مدل برای هر یک از ذی‌نفعان متفاوت است.

پارامترهای ورودی و متغیرهای تصمیم‌گیری یک مدل مالی به شرح زیر قابل دسته‌بندی هستند:

نیاز به احداث و بهره‌برداری پروژه‌های زیربنایی^۱ برای تأمین کالا یا خدمات عمومی و کمبود منابع مالی سبب شده دولت‌ها توجه ویژه‌ای به مکانیسم‌های مشارکت عمومی-خصوصی^۲ داشته باشند تا موفق به جذب سرمایه‌ی بخش خصوصی شوند. مشارکت‌های عمومی-خصوصی، نوعی توافق بلندمدت بین بخش دولتی و خصوصی برای اجرا یا مدیریت پروژه‌های زیرساخت خدمات بخش عمومی است (Lewis و Grimsy، ۲۰۰۲). این نوع از قراردادهای امکان انتقال ریسک‌های ساخت، سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری از پروژه را به بخش خصوصی فراهم می‌کند (Kwak و همکاران، ۲۰۰۹).

این نوع سیستم‌های قراردادی یکپارچه، با هدف انتقال وظایف دولت و استفاده از منابع مالی بخش خصوصی در انجام پروژه‌های بزرگ و پیچیده، به خصوص پروژه‌های زیربنایی، تسهیلات رفاهی و عمومی ایجاد شده‌اند.

از بین انواع شیوه‌های مشارکت عمومی-خصوصی، سیستم احداث-بهره‌برداری-واگذاری^۳ بنا به مشخصات و ویژگی‌های خاص قراردادی، تأمین منابع مالی مورد نیاز و قابلیت انتقال ریسک به بخش خصوصی جایگاه ویژه‌ای دارد. در این مدل، دولت میزبان امتیاز طراحی، ساخت و بهره‌برداری را به شرکت پروژه^۴ به‌عنوان صاحب امتیاز واگذار می‌نماید و صاحب امتیاز، مسئولیت تأمین منابع مالی مورد نیاز را به عهده داشته و در پایان دوره‌ی امتیاز، تأسیسات احداثی و بهره‌برداری از آن به دولت میزبان انتقال می‌یابد. صاحب امتیاز به‌طور معمول یک شرکت تک‌منظوره است (شرکت پروژه) و توسط حامیان پروژه تشکیل می‌شود. مراحل مختلف پیاده‌سازی پروژه به شیوه BOT^۵ شامل تعریف پروژه (که به‌طور معمول توسط دولت میزبان براساس مطالعات امکان‌سنجی اولیه صورت می‌گیرد)،

مواد و روش‌ها

۱- مدل مالی

مدل مالی شامل مجموعه‌ای از توابع ریاضی است که ارتباط بین پارامترها و متغیرهای مالی را تعریف می‌کند (Sandalkhan و همکاران، ۲۰۰۳). از مدل مالی به‌عنوان یک ابزار ضروری و پشتیبان تصمیم‌گیری در ارزیابی مالی پروژه استفاده می‌شود. اولین گام در تدوین یک مدل مالی، جمع‌آوری اطلاعات صحیح هزینه‌های پروژه و محاسبه‌ی جریان نقدی آتی پروژه می‌باشد. هر فرصت سرمایه‌گذاری می‌تواند به‌صورت کامل توسط جریان نقدی آتی پروژه توصیف شود (Bansal و Marshall، ۱۹۹۲). برای تعیین ارزش پروژه، پس از تخمین جریان نقدی، محاسبه‌ی ارزش زمانی پول^۶ حایز اهمیت است. اصل اساسی در تأمین مالی و ارزیابی مالی، ارزش زمانی پول است (Sandalkhan و همکاران، ۲۰۰۳). خروجی نهایی مدل مالی،

$$C_E = \sum_{i=1}^m C_E^i = \sum_{i=1}^m \left\{ C_B^i \left[\prod_{k=1}^i (1 + e_k) - 1 \right] \right\} \quad (3)$$

$$C_I = \sum_{i=1}^m C_I^i = (1 - R) \sum_{i=1}^m \left\{ C_B^i (1 + r_D)^{m-i+1} \prod_{k=1}^i (1 + e_k) - C_B^i \prod_{k=1}^i (1 + e_k) \right\} \quad (4)$$

در روابط فوق، C_T : کل هزینه اجرایی پروژه که به ابتدای دوره تنزیل شده. C_B : برآورد هزینه اجرایی بر مبنای سال محاسبه (ابتدای دوره). C_E : تعدیل قیمت ناشی از تورم در طول دوره اجرا. C_I : بهره وام در دوره اجرای C_B^i : برآورد هزینه اجرایی بر مبنای سال پایه برای سال i ام از دوره اجرا C_B^i میزان تعدیل ناشی از تورم در سال i ام از دوره اجرا. C_I^i : بهره متعلق به وام در سال i ام از دوره اجرا. M : طول دوره اجرای e_k : نرخ تعدیل هزینههای اجرایی در سال k ام از دوره اجرا ($e_1=0$). R : درصد آورده تأمین مالی پروژه. r_D : نرخ بهره وام.

$$E_i = RC_B^i \prod_{k=1}^i (1 + e_k) \quad (5)$$

$$D_i = (1 - R) C_B^i \prod_{k=1}^i (1 + e_k) \quad (6)$$

مطابق رابطه‌ی فوق برای $E_i, i=1,2,\dots,m$: سهم آورده از هزینه‌های اجرایی پروژه در سال i ام. D_i : سهم وام در تأمین هزینه‌های اجرایی سال i ام. فرض بر آن است که هزینه‌های اجرایی پروژه با ترکیبی از آورده حامیان پروژه و وام با درصد ثابتی به‌عنوان سهم هریک در دوره اجرا تأمین می‌شود.

$$P_D = (1 - R) \sum_{i=1}^m \left[C_B^i (1 + r_D)^{m-i+1} \prod_{k=1}^i (1 + e_k) \right] \quad (7)$$

در رابطه فوق، P_D : وام دریافتی به‌صورت تجمعی و با احتساب بهره متعلقه در دوره ساخت که برای زمان انتهایی دوره اجرای پروژه محاسبه شده است. r_D : نرخ بهره وام.

$$D_j = (1 - R) \frac{r_D(1 + r_D)^n}{(1 + r_D)^n - 1} \sum_{i=1}^m \left[C_B^i (1 + r_D)^{m-i+1} \prod_{k=1}^i (1 + e_k) \right] \quad (8)$$

مطابق رابطه فوق برای $j=1,2,\dots,n$ طول دوره بازپرداخت وام D_j اقساط وام (بازپرداخت اصل و بهره) که در پرداخت‌های مساوی سالیانه تنظیم شده است.

$$I_j = D_j - DP_j = D_j - \frac{D_j}{(1 + r_D)^{n-j+1}} \quad (9)$$

در رابطه فوق، I_j : قسط بهره وام که در سال j ام از دوره بهره‌برداری باید پرداخت شود. DP_j : میزان قسط بازپرداخت اصل وام در سال j ام از دوره بهره‌برداری.

$$PBIT_j = RE_j - OM_j - DE_j \quad (10)$$

مطابق رابطه فوق برای $j=1,2,\dots,p$: طول دوره بهره‌برداری حامیان از تأسیسات احداثی. $PBIT_j$: سود شرکت پروژه از محل فروش محصول و قبل از پرداخت وام و مالیات. RE_j : کل دریافتی. OM_j : هزینه سالیانه بهره‌برداری و نگهداری. DE_j : استهلاک سرمایه‌گذاری. $NATCI_j = PBIT_j + DE_j - D_j - TAX_j = RE_j - OM_j - D_j - TAX_j$ (11)

- پارامترهای اقتصاد کلان: نرخ تورم، قیمت مواد اولیه، نرخ بهره و تسعیر ارز، نرخ مالیات، نرخ سود سپرده.

- هزینه‌های دوره اجرا: هزینه‌های مستقیم دوره اجرا، هزینه تملک اراضی، هزینه‌های بالاسری شرکت پروژه و بیمه دوره اجرا.

- هزینه‌های تعمیر، نگهداری و درآمدهای دوره بهره‌برداری.

- مشخصات وام: میزان وام، نرخ بهره وام، دوره تنفس وام^۱ و دوره بازپرداخت وام.

- ویژگی‌های پروژه BOT مورد نظر: طول دوره طراحی و اجرا، طول دوره امتیاز، نسبت آورده به وام، قیمت محصول (کالا یا خدمت) تولیدی پروژه.

برخی از پارامترهای ورودی مدل مالی به‌طور مستقیم مربوط به پروژه خاص، مد نظر نیست ولی بر توابع مطلوبیت ذی‌نفعان و معیارهای ارزیابی مالی تأثیر می‌گذارند (نرخ تورم یا تسعیر ارز). در مورد سایر پارامترهای ورودی مدل مانند مشخصات وام (میزان وام و نرخ بهره وام)، باید بین ذی‌نفعان توافق شود، و یا این که به‌عنوان متغیر تصمیم‌گیری در نظر گرفته شوند به‌طوری‌که این متغیرها چنان تعیین شوند که با به‌کارگیری مدل، معیارهای ذی‌نفعان حاضر در پروژه را ارضا کنند. برای نمونه، قیمت محصول می‌تواند به‌عنوان پارامتر ورودی مدل مالی توافق شود و با استفاده از مدل، طول دوره امتیاز به‌عنوان متغیر چنان تعیین شود که ضمن تأمین حداقل نرخ بازگشت سرمایه برای حامیان پروژه، بازپرداخت اصل وام و پرداخت بهره وام را با اطمینان مناسبی امکان‌پذیر نماید. در مقابل می‌توان طول دوره امتیاز را ثابت و به‌عنوان پارامتر ورودی مدل مالی در نظر گرفت و قیمت محصول را به‌عنوان متغیر چنان تعیین کرد که معیارهای قابل قبول حامیان پروژه و وام‌دهندگان را تأمین نماید. در نتیجه متغیرهای تصمیم‌گیری و ساختار مدل مالی برای هر پروژه BOT باید به‌صورت ویژه و سفارشی تعریف شود. به‌طور خلاصه هر مدل مالی از اجزای زیر تشکیل می‌شود:

- فرضیات مدل مالی.
- پارامترهای ورودی (قطعی و یا تحت تأثیر ریسک‌ها غیرقطعی باشند)
- متغیرهای تصمیم‌گیری (شاخص‌های ارزیابی مناقصه‌گران در مناقصه و تعیین برنده مناقصه)
- توابع مطلوبیت (معیارهای ارزیابی مالی ذی‌نفعان پروژه).

۲- روابط محاسباتی مدل مالی

Ranasinghe (۱۹۹۶) روابط محاسباتی برآورد کل هزینه اجرایی پروژه را ارائه کردند، این روابط توسط سایر محققین توسعه یافت و در مدل مالی پروژه‌های BOT به‌کارگرفته شد. این مدل در این بخش به‌اختصار مرور می‌شود (Xueqing Zhang, ۲۰۰۵).

$$C_T = C_B + C_E + C_I \quad (1)$$

$$C_B = \sum_{i=1}^m C_B^i \quad (2)$$

دهنده دارد و از منظر نهادهای مالی بین المللی این حداقل برابر ۱/۵ می باشد (bakatjan و همکاران، ۲۰۰۳).

۳- شبیه سازی پویایی سیستم^{۱۴}

شبیه سازی پویایی سیستم یک شیوه و تکنیک مدل سازی ریاضی برای فهم بهتر و تحلیل دقیق تر و ابزاری برای پیش بینی رفتار سیستم های پیچیده می باشد. شبیه سازی پویایی سیستم در تحلیل سیستم های پیچیده که دارای رفتار غیرخطی پیوسته و یا گسسته در بستر زمان هستند ابزاری کارآمد می باشد و در گستره وسیعی از علوم مختلف از قبیل جامعه شناسی، مدیریت، صنعت، زیست شناسی اقتصاد و مهندسی کاربرد دارد. این شبیه سازی با توصیف روابط و تأثیر و تأثر عامل های حاضر در سیستم با استفاده از نمودارهای علت معلولی^{۱۵} و با بکارگیری ابزارهایی مانند انبار^{۱۶}، جریان^{۱۷} و حلقه های بازگشتی^{۱۸}، امکان فهم بهتر و دقیق تر از رفتار سیستم را فراهم می آورد (Ogunlana و همکاران، ۲۰۰۳). مراحل پیاده سازی شبیه سازی پویایی سیستم در شکل (۱) نشان داده شده است (Law و Le، ۲۰۰۹).



شکل ۱ - مراحل اصلی پیاده سازی شبیه سازی پویایی سیستم

مدل مالی در قراردادهای BOT سیستم پیچیده از عامل های مختلف با رفتار غیرخطی است. در این پژوهش تلاش شده با به کارگیری شبیه سازی پویایی سیستم ضمن مفهومی سازی^{۱۹} مدل مالی، ابزاری برای تحلیل و آنالیز حساسیت به عنوان پشتیبان تصمیم گیری ارائه شود. تا با به کارگیری آن، حامیان پروژه قادر باشند قیمت محصول را به گونه ای پیشنهاد دهند که ضمن افزایش شانس برنده شدن در مناقصه (ارائه ی حداقل قیمت ممکن برای محصول) و اطمینان از حداقل نرخ بازگشت سرمایه مد نظر، مطلوبیت وام دهندگان را در بازپرداخت وام دریافتی تأمین نمایند.

به عنوان یک سیستم پیچیده و نحوه تأثیر و تأثر پارامترها و متغیرها و توابع مطلوبیت مدل بر یکدیگر به دست می آید.

- فرمول بندی مدل: در این بخش با استفاده از دیاگرام جریان و انبار^{۲۰} و به کارگیری ابزارهایی مانند انبار و جریان و سپس تعریف توابع ریاضی که بیان کننده ی روابط کمی بین متغیرها و پارامترهای مدل هستند مدل ریاضی آماده تحلیل مسأله می گردد. - تحلیل و صحت سنجی: رفع ایرادات احتمالی مدل^{۲۱} و تحلیل مدل^{۲۲} (رفتار خروجی های سیستم) در این مرحله انجام می گیرد. با به کارگیری اطلاعات تاریخی از نحوه ی رفتار سیستم، رفتار مدل به عنوان خروجی مدل ریاضی تهیه شده و صحت سنجی می شود (در صورت در اختیار داشتن داده های تاریخی). انجام آنالیز حساسیت در بررسی صحت

در رابطه فوق، $NATCI_j$: خالص باقی مانده جریان نقدی در سال j ام از دوره ی بهره برداری پس از پرداخت هزینه های بهره برداری، نگهداری و پرداخت اقساط وام و مالیات، DE_j : استهلاک سالیانه تأسیسات احداثی است که در محاسبه درآمد مشمول مالیات جزء هزینه ها لحاظ شده و مطابق رابطه (۱۲) به شیوه خطی مستقیم^{۲۳} محاسبه می شود.

$$DE_j = C_T / n_d \quad (12)$$

در رابطه فوق، C_T : کل هزینه های اجرایی پروژه، n_d : طول دوره بهره برداری.

$$TAX_j = r_{tax}^j (RE_j - OM_j - DE_j - I_j) \quad (13)$$

در رابطه فوق، TAX_j : مالیات بر درآمد شرکت پروژه در سال j ام. r_{tax}^j : نرخ مالیات بر درآمد.

همانطور که مشاهده می شود در محاسبه مالیات بر درآمد، استهلاک سالیانه و میزان بهره وام به عنوان هزینه لحاظ شده که عامل اخیر یکی از انگیزه های حامیان در استفاده از وام است.

$$NPV_E = \sum_{j=1}^p \frac{NATCI_j}{(1+r)^{j+m}} - \sum_{i=1}^m \frac{E_i}{(1+r)^{i-1}} \quad (14)$$

در رابطه فوق برای $i = 1, 2, \dots, m$ و $j = 1, 2, \dots, p$: NPV_E : ارزش فعلی خالص پروژه از دیدگاه حامیان، r : نرخ تنزیل^{۲۴} از منظر حامیان پروژه و نرخ داخلی بازگشت سرمایه برای حامیان پروژه ($IRRE$) نرخ تنزیلی است که NPV_E به ازای آن معادل صفر می شود.

از منظر حامیان پروژه، در صورتی که $NPV_E \geq 0$ یا $IRRE \geq IRRE_{min}$ باشد، پروژه مالی قابل قبول است.

$$DSCR_j = (RE_j - OM_j - TAX_j) / D_j \quad (15)$$

در رابطه فوق، $DSCR_j$: نسبت پوشش بازپرداخت وام^{۲۵} (معیاری برای ارزیابی وام اعطایی).

از منظر وام دهنده، زمانی جریان نقدی پروژه قابلیت بازپرداخت اصل و پرداخت بهره وام اعطایی را خواهد داشت که رابطه $DSCR_j \geq DSCR_{min}$ برقرار باشد. حداقل قابل قبول نسبت پوشش بازپرداخت وام بستگی به عامل های مختلفی مانند نوع پروژه، شرایط کشور میزبان، ریسک های پروژه و فرصت های دیگر در اختیار وام

نتایج و بحث

• به کارگیری شبیه سازی پویایی سیستم در مدل مالی قرارداد BOT مراحل چهارگانه ی شبیه سازی پویایی سیستم در خصوص مدل مالی قرارداد BOT به شرح زیر است:

- تعریف مسأله: مدل مالی قرارداد BOT به عنوان یک سیستم پویا با پارامترهای مختلف و با رفتار غیرخطی در بستر زمان لحاظ می شوند. مسأله عبارت است از تعیین قیمت محصول به گونه ای که مطلوبیت ذی نفعان مختلف را تأمین نماید.

- مفهومی سازی سیستم: با استفاده از نمودارهای علت معلولی و حلقه های بازگشتی، تصویری کامل و قابل فهم از مدل مالی

۱- نمودار علت معلولی در مدل مالی قرارداد BOT

[illegible]

۳- آنالیز حساسیت و تعیین قیمت محصول به عنوان متغیر تصمیم گیری

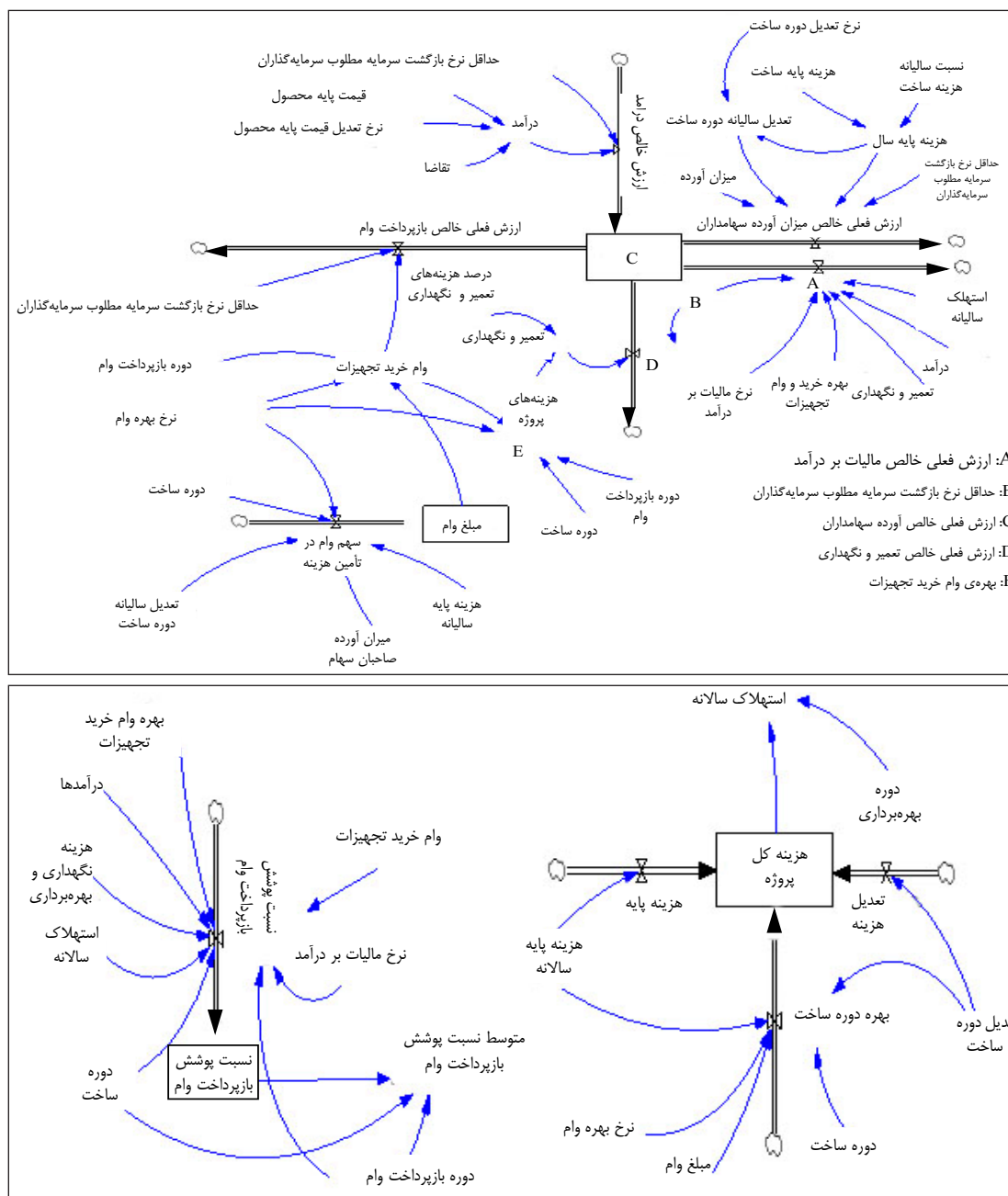
در این بخش با استفاده از مدل ریاضی تهیه شده و در خصوص یک پروژه BOT فرضی سدسازی با مشخصات مندرج در جدول (۱) و با تکنیک آنالیز حساسیت قیمت پایه محصول محاسبه شده است. هرگونه الگوی قیمت^{۱۳} در مدل قابل پیاده سازی است، اما در مثال کاربردی، قیمت محصول در دوره‌ی بهره‌برداری به صورت ثابت فرض شده است و قیمت محصول (سنت برای هر مترمکعب آب تنظیمی سد) به گونه‌ای تعیین شده که ضمن برآورده کردن مطلوبیت سرمایه‌گذاران ($NPV_{equity\ holders} \geq 0$) مطلوبیت مد نظر وام‌دهندگان $DSCR \geq DSCR_{min}$ در طول سال‌های بازپرداخت وام نیز تأمین شود. در این مدل‌سازی فرض شده که قیمت محصول و تقاضا بر یکدیگر تأثیری ندارند.

۲- **نمودار جریان در مدل مالی قرارداد BOT**

پس از تعیین چارچوب اصلی مدل و مشخص شدن نحوه ارتباط بین متغیرهای کلیدی در قالب نمودار علت و معلولی و با استفاده از نمودارهای جریان، مدل مالی صورت‌بندی می‌شود.

نمودارهای علت و معلولی، درک تصویری از ساختار سیستم ارائه می‌کنند؛ ولی این نمودارها برای بررسی رفتار سیستم در طول زمان کافی نیستند و برای درک بهتر رفتار سیستم باید روابط بین متغیرهای سیستم تدوین شوند و مقدار متغیرها در طول زمان شبیه‌سازی شود. برای انجام این کار باید نمودارهای جریان طراحی شوند (Stermann, ۲۰۰۰).

در شکل (۳) نمودار جریان برای مدل مالی قرارداد BOT بساده‌سازی شده است.



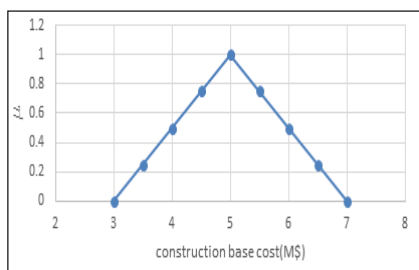
شکل ۳- نمودار جریان در مدل مالی قرارداد BOT

جدول ۱- فرضیات مثال کاربردی

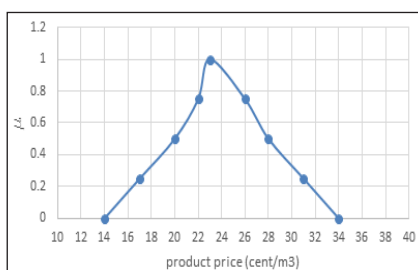
پروژه BOT: سد مخزنی با حجم آب قابل تنظیم سالیانه ۱۰ میلیون مترمکعب برای مصارف کشاورزی	هزینه پایه اجرای پروژه (برآورد شده براساس نرخهای سال اول شروع پروژه): ۵ میلیون دلار
دوره اجرا: ۵ سال	توزیع هزینه پایه اجرای پروژه در سالهای اجرا: ابتدای پروژه ۱۰ درصد، سال اول ۱۵ درصد، سالهای دوم و سوم و چهارم هر کدام ۲۰ درصد، سال پنجم ۱۵ درصد
دوره امتیاز (ساخت و بهره‌برداری): ۳۵ سال	قیمت فروش محصول به صورت ثابت در دوره بهره‌برداری
دوره بازپرداخت وام: ۱۵ سال	ضریب پوشش بازپرداخت وام مطلوب وام دهندگان ۱/۵
دوره تنفس وام = طول دوره ساخت: ۵ سال	هزینه تعمیر و نگهداری هر سال ۰/۵ درصد سرمایه‌گذاری
نرخ بهره وام: ۱۵ درصد	استهلاک سرمایه‌گذاری به صورت خطی در دوره بهره‌برداری
آورد سرمایه‌گذاران: ۲۰ درصد	مالیات تنها بر درآمد با نرخ ۲۰ درصد
نرخ داخلی بازگشت سرمایه مطلوب سرمایه‌گذاران: ۲۵ درصد	بازپرداخت وام در اقساط مساوی در دوره بازپرداخت وام



شکل ۵- تغییرات قیمت محصول با نرخ بهره وام



شکل ۶- عدم قطعیت در برآورد هزینه پایه پروژه

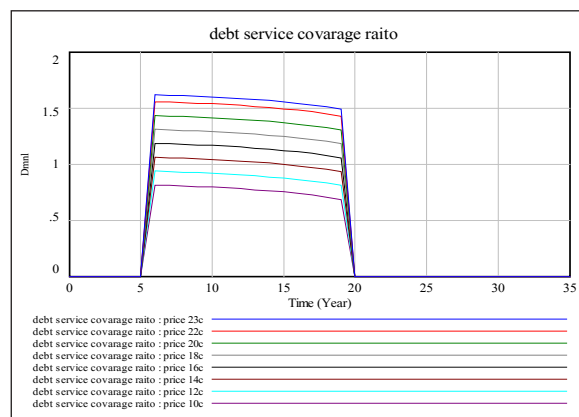
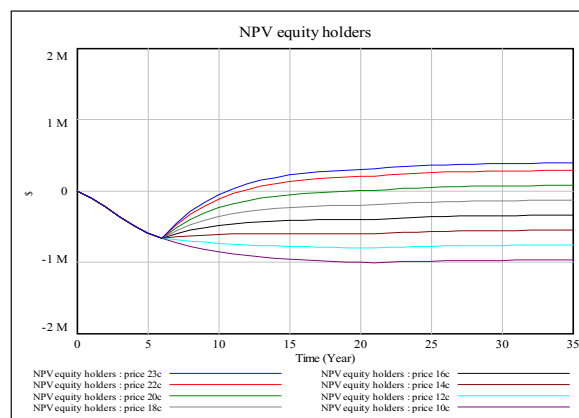


شکل ۷- عدم قطعیت در خروجی مدل (قیمت فروش محصول)

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مدل مالی در قراردادهای BOT به‌عنوان مدل قراردادی فراگیر و شناخته شده از مشارکتهای عمومی - خصوصی، با وجود پارامترهای متنوع و معیارهای تصمیم‌گیری گوناگون و حضور ذی‌نفعان مختلف با مطلوبیت‌های مختلف و بعضاً متضاد، سیستمی پیچیده است که تصمیم‌گیری را دشوار می‌کند. در این پژوهش، با به‌کارگیری شبیه‌سازی پویایی سیستم و نگرش به مدل مالی به‌عنوان یک سیستم پویا، روابط علت - معلولی بین عامل‌های مختلف مدل مالی با استفاده از دیاگرام تأثیر، تصویرسازی می‌شود، که درک قابل فهمی از ماهیت مدل مالی ارایه می‌کند. در مرحله بعد با استفاده از دیاگرام جریان و توابع ریاضی که بیانگر نحوه تأثیر و تأثر پارامترها و متغیرهای مدل بر یکدیگر می‌باشد شبیه‌سازی مدل مالی تکمیل شد. در نهایت با به‌کارگیری مدل ریاضی تهیه شده در بستر یک نمونه کاربردی از یک پروژه BOT فرضی، قیمت محصول تولیدی به‌گونه‌ای تعیین شد که مطلوبیت سرمایه‌گذاران و وام‌دهندگان را به‌طور هم‌زمان تأمین نماید.

همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، پایینترین قیمتی که هم‌زمان مطلوبیت سرمایه‌گذاران و وام‌دهندگان را تأمین می‌کند، ۲۳ سنت برای هر مترمکعب آب کشاورزی است. قیمت ۲۰ و ۲۲ سنت برای هر مترمکعب آب، گرچه مطلوبیت سرمایه‌گذاران را تأمین می‌کند، اما به دلیل عدم تأمین معیار مطلوب وام‌دهندگان قابل قبول نخواهد بود. مدل تهیه شده امکان انجام هرگونه آنالیز حساسیت و سناریوسازی را در اختیار تحلیلگر قرار می‌دهد. به‌عنوان نمونه، حداقل قیمت قابل قبول محصول براساس تابعی از میزان بهره وام در شکل (۵) نمایش داده شده است. امکان لحاظ کردن ریسک‌ها و عدم قطعیت‌ها در مدل وجود دارد و پارامترهای ورودی مدل به‌صورت غیرقطعی (فازی) می‌توانند در نظر گرفته شوند که در این صورت خروجی‌های مدل (معیارهای تصمیم‌گیری) نیز اعداد فازی خواهند بود. امکان تلفیق مدل تهیه شده با شبیه‌سازی مونت کارلو^{۲۴} و اعمال ریسک‌ها و عدم قطعیت‌ها در مدل با استفاده از توابع توزیع احتمال پارامترهای ورودی مدل وجود دارد. به‌عنوان نمونه چنانچه عدم قطعیت در برآورد هزینه پایه اجرای پروژه مطابق شکل (۶) به‌صورت یک عدد فازی در نظر گرفته شود، خروجی مدل (قیمت محصول) مطابق شکل (۷) عددی فازی خواهد بود.



شکل ۴- اثر قیمت محصول بر معیارهای تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران و وام‌دهندگان

مدل تهیه شده قابلیت اعمال ریسک‌ها و عدم قطعیت‌ها را در مدل مالی پروژه BOT فراهم می‌کند که امکان تلفیق آن با تئوری‌های فازی و شبیه‌سازی مونت کارلو وجود دارد. در این مدل فرض شده، قیمت محصول و تقاضا بر یکدیگر تأثیری ندارند و مستقل از یکدیگرند که فرض صحیحی نیست. چنانچه منحنی تغییرات

پی‌نوشت

- 1- Infrastructure Projects
- 2- Public - Private Partnership (PPP)
- 3- Build – Operate - Transfer
- 4- Project Company (Single Purpose Vehicle or SPV)
- 5- Build–operate–transfer
- 6- Net Present Value (NPV)
- 7- Nonlinear Regression Model
- 8- Time Value of Money
- 9- Exchange Rate
- 10- Grace Period
- 11- Straight-line Depreciation
- 12- Discount Rate
- 13- Debt Service Coverage Ratio (DSCR)
- 14- System Dynamic Simulation (SDS)
- 15- Causal Loop Diagram (Influence Diagram)
- 16- Stock
- 17- Flow
- 18- Feedback Loop
- 19- System Conceptualization
- 20- Stock and Flow Diagram
- 21- Debugging
- 22- Model Analysis
- 23- Price Pattern
- 24- Monte carlo simulation

منابع

تقاضا مشخص باشد، امکان پیاده‌سازی آن در مدل وجود دارد. برای توسعه مدل و سفارشی‌سازی آن برای پروژه‌های مشخص، می‌توان با تعیین پارامترهای موثر بر قیمت محصول، تقاضا و نحوه اثر آن‌ها بر یکدیگر و تعریف توابع ریاضی مربوطه، این موضوع را در مدل پیاده‌سازی کرد.

- Kwak Y.H., Chih Y. and Ibbs. C.W. 2009. Towards a Comprehensive Understanding of Public Private Partnerships for Infrastructure Development. *Calif. Manage. Rev*, 51(2): 51-78.
- Le M.A.T. and Law K.H. 2009. System dynamic Approach for simulation of experience transfer in the AEC industry. *J. Constr. Eng. Manage*, 25(4): 195-203.
- Li J.H. 2007. Pricing model and empirical analysis of PPP projects' product or service. Master thesis. Southeast University. China.
- Marshall J.F. and Bansal V.K. 1992. Valuation relationships and applications. *Financial Engineering*. New York Institute of Finance. Allyn and Bacon Inc. New York.
- Ng S.T., Xie J., Chung Y.K. and Jefferies M. 2007. A Simulation Model for Optimizing the Concession Period of Public-Private Partnerships Schemes. *International Journal of Project Management*, 25: 791-798.
- Ogunlana S.O., Li H. and Sukhera F.A. 2003. System dynamics approach to exploring performance enhancement in construction organization. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(5): 528-536.
- Shen L.Y., Bao H.J., Wu Y.Z. and Lu W.S. 2007. Using Bargaining-Game Theory for Negotiating Concession Period for BOT-Type Contract. *J.Constr. Eng. Manage*, 133: 385-392.
- Sterman J. 2000. *Business Dynamics System Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw –Hill Publication, ISBN-10: 9780072389159.
- Subprasom K. and Chen A. 2007. Effects of regulation on highway pricing and capacity choice of build-operate-transfer scheme. *J. Constr. Eng. Manag*, 1331: 64-71.
- Ranasinghe M. 1996. Total project cost: A simplified model for decision makers. *Constr. Manage. Econom*, 14: 497–505.
- Yelin X., Chengshuang S., Mirosław J.S., Albert. P.C.C., John, F.Y.Y. and Hu C. 2012. System Dynamics SD-based concession pricing model for PPP highway projects. *International Journal of Project Management*, 30: 240-251.
- Zhang X. 2005. Financial viability Analysis and capital structure optimization in privatized public Infrastructure projects. *J. Constr. Eng. Manage*, 131: 656-668.

- Bakatjan S., Arian M. and Tiong R.L.K. 2003. Optimal capital structure Model for BOT Power Projects in Turkey. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(1): 89-97.
- Cheng L.Y. and Tiong R.L.K. 2005. Minimum feasible tariff model for BOT water supply projects in Malaysia. *Construction Management and Economics* 233: 255-263.
- Grimsy D. and Lewis M. K. 2002. Evaluation the Risks of Public-Private Partnerships for Infrastructure projects. *Int. J. Proj. Manag*, 20(2): 107-118.

Introduction and Economic Analysis of the City of Birjand's Water Treatment Plant

M. Azizi¹, A. Shahidi^{2*}

1,2- PhD. Student & Associate Professor, Department. of Science and Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

*(Corresponding Author Email: ashahidi@birjand.ac.ir)

Received: 24-02-2017

Accepted: 11-03-2018

معرفی و تحلیل اقتصادی تصفیه‌خانه آب شرب شهر بیرجند

محسن عزیزی^۱، علی شهیدی^{۲*}

۱، ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری منابع آب و دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: ashahidi@birjand.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۰

Abstract

The chemical and microbiological quality of Birjand's underground water sources are lower than the desirable range of water quality indicators due to the geological structure of the area, the high thickness of the alluvial deposits on which the city is located, and the continuous and increasing harvesting of these sources as a result of population growth. In this research, along with the introduction of the Birjand Drinking Water Refinery, an economic analysis is presented regarding the initial capital of construction and monthly maintenance and management of this refinery. The raw water entering the Birjand refinery, which is supplied from underground water sources, has an excess amount of chromium, hardness, and salinity. In the design of the refinery process, two main methods of hardness removal via reactor pellet and filter membrane using Nano-filter and reverse osmosis techniques were used to simultaneously remove sulfate and heavy metals, convert chromium VI to III, and eliminate the possible contaminations. Using the water reactor pellet technology reduces the purification effluent from 160 to 50 liters per second, which is a unique difference between the Birjand refinery and other refineries.

Keywords: Pellet Reactor, Hardness Removal, Filter Membranes.

چکیده

کیفیت شیمیایی و میکروبیولوژیک منابع زیرزمینی تأمین آب شهر بیرجند به دلیل ساختار زمین‌شناسی منطقه، ضخامت بالای رسوبات آبرفتی که شهر بر روی آن قرار گرفته است و برداشت‌های مستمر و روز افزون از این منابع به علت افزایش جمعیت، سبب شده شاخص‌های کیفی آب، از حدود مطلوب فاصله بگیرد. در این تحقیق ضمن معرفی تصفیه‌خانه آب شرب شهر بیرجند یک تحلیل اقتصادی در خصوص سرمایه اولیه ساخت، تعمیر و نگهداری و راهبری ماهانه این تصفیه‌خانه ارائه شده است. آب خام ورودی به تصفیه‌خانه بیرجند، که از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود، دارای میزان بیش از حد مجاز کروم، سختی و شوری می‌باشد. در طراحی فرآیند تصفیه‌خانه، تلاش شده است با دو روش اصلی سختی‌گیری به کمک پلت راکتور و فیلتر غشایی به روش‌های نانو فیلتر و اسمز معکوس، هم‌زمان حذف سولفات، فلزات سنگین و تبدیل کروم ۶ ظرفیتی به ۳ ظرفیتی، قابلیت حذف آلودگی‌های احتمالی نیز ایجاد شود. استفاده از فناوری پلت راکتور آب موجب کاهش پساب تصفیه از ۱۶۰ لیتر در ثانیه به ۵۰ لیتر در ثانیه می‌شود، که یک تفاوت منحصر به فرد تصفیه‌خانه بیرجند با سایر تصفیه‌خانه‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پلت راکتور، سختی‌گیری، فیلتر غشایی.

بسیاری از مشکلات بهداشتی کشورهای درحال پیشرفت، عدم برخورداری از آب آشامیدنی سالم است. از آنجایی که محور توسعه پایدار، انسان سالم است و انسان سالم در گرو بهره‌مندی از آب آشامیدنی مطلوب می‌باشد بدون تأمین آب سالم، جایی برای سلامت و رفاه جامعه، وجود ندارد. آب از دو بعد بهداشتی و اقتصادی حائز اهمیت است. از بعد اقتصادی به حرکت درآورنده چرخ صنعت و رونق بخش فعالیت کشاورزی است. از بعد بهداشتی آب با کیفیت، تضمین‌کننده سلامت انسان است. بنابراین برنامه‌ریزی و هزینه در جهت تأمین آب سالم، سرمایه‌گذاری قابل توجهی برای آینده خواهد بود (قوی‌پنجه و احسانی، ۱۳۹۲).

قرار داشتن ایران در منطقه گرم و خشک موجب شده تا استحصال و بهره‌وری از آب، به‌ویژه آب شرب و سالم برای تأمین نیازهای حیاتی جوامع انسانی کشور، موضوع مهمی به‌شمار رود. دراین‌راستا استان‌های مرکزی و شرقی به‌ویژه استان خراسان جنوبی، باتوجه‌به شرایط نامساعد اقلیمی، کانون توجه می‌باشند و ایجاد بسترهای مناسب به‌منظور دسترسی به منابع آبی سالم جزء اهداف و برنامه‌های مسئولین و دستگاه‌های اجرایی در این منطقه می‌باشد. این تحقیق به بررسی فرآیند منحصر‌به‌فرد تصفیه آب شرب شهر بیرجند، به‌منظور تأمین آب سالم، باتوجه‌به وضعیت نامناسب کیفی منابع آب موجود در این شهر می‌پردازد. شهر بیرجند مرکز استان خراسان جنوبی و مرکز شهرستان بیرجند در شرق ایران است. این شهر در سال ۱۳۹۰، تعداد ۱۸۴۶۴۷ نفر جمعیت داشته و چهل و نهمین شهر ایران بوده است. بیرجند نخستین شهر در ایران است که دارای سازمان آبرسانی بوده و دومین شهر در ایران است که در سال ۱۳۰۲ و پیش از تهران از لوله‌کشی آب شهری برخوردار شد. از نظر تأمین آب شرب، این شهر به‌طورکامل به منابع آب زیرزمینی وابسته است. در رابطه با آب‌های زیرزمینی دشت بیرجند، دو محدودیت کلی وجود دارد:

الف) محدودیت کمی: توسعه شدید بهره‌برداری در سال‌های اخیر، وضعیت تعادلی سفره آب بیرجند را به‌هم‌زده و کسری

مخزن نگران‌کننده‌ای در آبخوان ایجاد نموده است.

ب) محدودیت کیفی: از منظر کیفی، منابع آب تأمین‌کننده، شرایط مطلوبی را دارا نمی‌باشند. نتایج آنالیز شیمیایی آب چاه‌ها، وجود میزان بالای کروم شش ظرفیتی در برخی از چاه‌های منطقه را نشان می‌دهد که به دلیل ویژگی‌های بیماری‌زای ناشی از آن، گزینه‌ی تصفیه و پالایش آن امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. علاوه‌بر میزان بالای کروم، مقادیر سولفات و شوری نیز در بسیاری از چاه‌ها بیش‌ازحد مجاز استاندارد است.

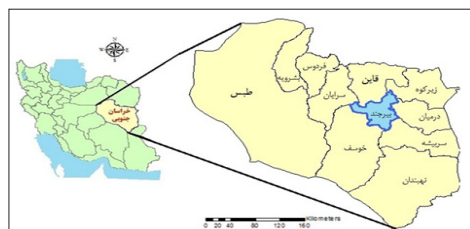
باتوجه‌به موارد فوق برای تأمین آب با کیفیت مطلوب مورد نیاز شهر بیرجند، احداث تصفیه‌خانه آب با دو هدف حذف کروم شش ظرفیتی و یا تبدیل آن به کروم سه ظرفیتی و همچنین بهبود کیفیت شیمیایی، گامی موثر در جهت بهبود کیفیت آب آشامیدنی این شهر تلقی می‌شود.

عملیات اجرایی ساخت تصفیه‌خانه آب شرب شهر بیرجند در سال ۱۳۸۶ در زمینی به مساحت پنج هکتار آغاز شده و در سال ۱۳۹۴ به بهره‌برداری رسیده است. به نقل از گزارشات شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، هزینه پروژه آبرسانی به شهر بیرجند ۶۲ میلیارد تومان می‌باشد که از این مبلغ ۲۳ میلیارد تومان در اجرای تصفیه‌خانه آب شرب، ۳۳ میلیارد تومان خطوط انتقال آن و مبلغ ۶ میلیارد تومان در طرح انتقال آب از سربیشه به بیرجند هزینه شده است.

تصفیه‌خانه آب شرب شهر بیرجند از دو واحد اسمز معکوس^۱ و سختی‌گیری آب پلت راکتور^۲ تشکیل شده که استفاده از واحد سختی‌گیری آب موجب کاهش پساب تصفیه از ۱۶۰ لیتر در ثانیه به ۵۰ لیتر در ثانیه می‌شود، این موضوع زمینه استفاده بهینه از آب زیرزمینی را فراهم آورده است، همچنین استفاده از این روش کاهش مصرف انرژی را نیز به‌دنبال خواهد داشت این مهم تفاوت منحصر‌به‌فرد تصفیه‌خانه شیمیایی بیرجند با دیگر تصفیه‌خانه‌ها می‌باشد.

به‌دنبال ورود دانش و تکنولوژی ساخت این تصفیه‌خانه به ایران و بومی‌سازی آن در استان خراسان جنوبی، درحال حاضر توانایی ساخت چنین تصفیه‌خانه‌ای در سایر نقاط کشور نیز فراهم شده است.

خانوار و ۱۳۸ روستای بالای ۲۰ خانوار در استان وجود دارد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهرستان بیرجند را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

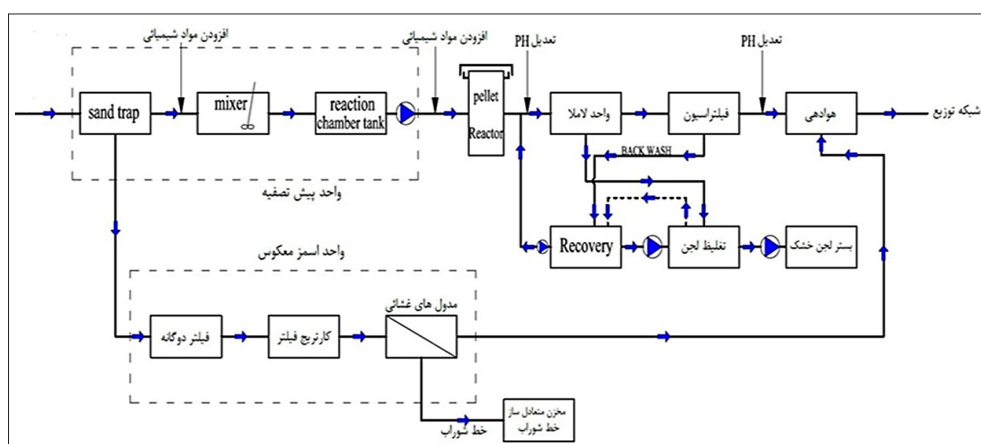
مواد و روش‌ها

• معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان بیرجند با وسعتی معادل ۶۸۰۰ کیلومتر مربع (حدود ۵ درصد مساحت کل استان)، در مرکز استان خراسان جنوبی قرار دارد. براساس آخرین تقسیمات کشوری این شهرستان دارای ۱ بخش، ۱ شهر، ۶ دهستان می‌باشد. طبق سرشماری انجام شده در سال ۱۳۹۰ در سطح شهرستان بیرجند در مجموع ۳۲۴ آبادی دارای سکنه گزارش شده است. از این تعداد ۱۸۶ روستای کمتر از ۲۰

بیرجند با دیگر تصفیه‌خانه‌ها می‌باشد. ظرفیت نهایی تصفیه‌خانه شهر بیرجند در پایان دوره طرح معادل ۹۲۰ لیتر در ثانیه پیش‌بینی شده است. بخش اعظم این ظرفیت به واحد پلت راکتور و باقیمانده به واحد اسمز معکوس اختصاص می‌یابد. براین اساس ظرفیت کل این تصفیه‌خانه در ابتدای طرح معادل ۶۴۰ لیتر در ثانیه طراحی شده است (قوی‌بنجه و احسان، ۱۳۹۲).

محل احداث تصفيه‌خانه آب شرب شهر بيرجند در منطقه جنوب شهرى بيرجند محدود به دامنه كوه‌هاى باقران تعيين شده‌است. جاىنامى مناسب تصفيه‌خانه سبب شده است تا امكان انتقال آب از تصفيه‌خانه به كليۀ مخازن شهر به‌صورت ثقلى فراهم آيد. تصفيه خانه آب شرب شهر بيرجند از دو واحد فيلتر غشايى و سختى‌گيرى آب پلت راکتور تشكيل شده كه استفاده از واحد سختى‌گيرى آب موجب كاهش پساب تصفيه از ۱۶۰ ليتر در ثانيه به ۵۰ ليتر در ثانيه مى‌شود، اين موضوع زمينه استفاده بهينه از آب زيرزمينى را فراهم آورده است، همچنين استفاده از اين روش كاهش مصرف انرژى را نيز به‌دنبال خواهد داشت اين مهم تفاوت منحصر به‌فرد تصفيه‌خانه شىمانى



برروی این عنصر معطوف خواهد شد. اغلب صخره‌ها و خاک‌ها حاوی مقادیر کمی کروم می‌باشند. سنگ معدن متعارف آن کرومیت هست، که از آن فلز سه ظرفیتی کروم بدست می‌آید. کروم شش ظرفیتی به ندرت به صورت طبیعی یافت می‌شود. فقط شکل سه ظرفیتی کروم پایدار می‌باشد و کروم شش ظرفیتی به سرعت به وسیله مواد آلی احیا می‌شود. کروم در نتیجه سوخت سوخت‌های فسیلی چوب و کاغذ و نیز از ته نشست مواد در صنایع و اکسیداسیون کروم معدنی و غیره بوجود می‌آید.

• واحد سختی گیری

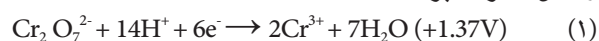
این واحد با ظرفیت ۴۲۰ لیتر در ثانیه شامل سه قسمت اصلی پیش‌تصفیه، تصفیه و تصفیه نهایی می‌باشد. واحد پیش‌تصفیه شامل تجهیزات ورودی آب، واحد هوادهی و تجهیزات دوزینگ، ته‌نشینی اولیه و واحد پلت راکتور شامل کل تجهیزات مورد نیاز جهت سختی‌گیری، تزریق مواد شیمیایی و کنترل pH آب می‌باشد.

در مرحله پیش‌تصفیه پس از ته‌نشینی اولیه، آب وارد بخش هیدرولیک میکسر می‌شود، در این بخش ماده منعقد کننده بیوسولفیت سدیم (NaHSO_4) با دوز مشخص تزریق می‌شود و در ادامه مسیر، آب وارد مخزن واکنش برای زمان ماند و اجازه واکنش شیمیایی برای تبدیل کروم شش ظرفیتی به سه ظرفیتی خواهد شد، به همین دلیل آب خروجی از این واحد فاقد کروم شش ظرفیتی می‌باشد. همچنین باتوجه به انجام واکنش شیمیایی تجهیزات تنظیم pH جهت تنظیم pH قبل از ورود به پلت راکتورها مدنظر قرار گرفته است (قوی‌بنجه و احسانی، ۱۳۹۲).

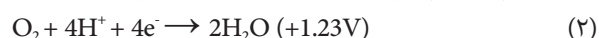
مهمترین فلزات سنگین کروم، مس، سرب، کادمیوم، آرسنیک، نیکل، نقره، آلومینیوم، واندیم و کبالت می‌باشند. به‌دلیل بالا بودن میزان کروم در آب‌های سرچند و اهمیت آن در این مطالعات، توجه بیشتر

کروم دارای خاصیت اکسایشی - کاهش می‌باشد و باید کروم شش ظرفیتی به گونه‌ای بی‌ضرر کروم سه ظرفیتی تبدیل شود. لذا حذف کروم شش ظرفیتی با بهره‌گیری از یک ماده کاهنده و تبدیل آن به شکل کروم سه ظرفیتی امکان‌پذیر خواهد بود. در واقع کروم سه ظرفیتی به صورت $\text{Cr}(\text{OH})_3$ با قابلیت حلالیت کم در pH بیشتر از ۹، به شکل رسوبات لخته‌ای یا کریستالی حذف می‌شود. این درحالی است که رگه‌هایی از کروم شش ظرفیتی نیز روی رسوبات لخته‌ای یا کریستالی تشکیل شده، جذب می‌شوند (هاشم‌زاده، ۱۳۹۰).

واکنش احیای کروم شش ظرفیتی به کروم سه ظرفیتی به صورت واکنش ۱ خواهد بود:



مسئله‌ای دیگر که در احیای کروم شش ظرفیتی مطرح می‌شود وجود غلظت‌های نسبتاً بالای اکسیژن است. برای رسیدن به پتانسیل اکسایش کافی جهت واکنش احیای کروم شش ظرفیتی در ابتدا باید اکسیژن کاهش پیدا کند. مقدار عامل کاهنده مورد نیاز برای احیای اکسیژن بیش از ۱۰۰ برابر مقدار مورد نیاز برای احیای کروم است (هاشم‌زاده، ۱۳۹۰). واکنش احیای اکسیژن به صورت واکنش (۲) خواهد بود:



در طول تصفیه باید به این نکته توجه داشت که اکسیژن هوا بسیار راحت‌تر در آب بدون اکسیژن حل می‌شود بنابراین تماس آب و هوا تا حد ممکن باید به حداقل برسد.

برای پدید آوردن شرایط حذف کروم به صورت رسوبات کریستاله، ابتدا باید امکان حذف اکسیژن فراهم آید. به طور کلی عوامل کاهنده NaHS ، FeSO_4 و NaHSO_3 را می‌توان با واکنش‌های اکسایش متناظرشان برای کاهش اکسیژن به کار برد.

از نقطه نظر مصرف شیمیایی، مصرف FeSO_4 مناسب نمی‌باشد زیرا تا حد قابل ملاحظه‌ای غلظت سولفات را افزایش می‌دهد و مقدار بسیار زیادی آب غنی از لجن هیدروکسید آهن $\text{Fe}(\text{OH})_3$ تولید می‌کند. از طرفی به خاطر پتانسیل اکسایش نسبتاً بالا می‌توان انتظار داشت که واکنش کاهش کند انجام شود و به زمان واکنش کافی و تانک واکنش نسبتاً بزرگی نیاز خواهیم داشت. این امر بخاطر اثر انعقاد شدید بر تشکیل کریستال اثرات منفی دارد. بنابراین پیشنهاد نمی‌شود کاهش از طریق FeSO_4 اعمال شود (هاشم‌زاده، ۱۳۹۰).

فقط مقدار کمی NaHS برای کاهش کروم شش ظرفیتی جهت تولید عنصر سولفور لازم است. حذف این عنصر کار آسانی نیست به دلیل اینکه دارای خاصیت کلوئیدی است. برای این کار به لخته‌سازها و منعقد کننده و فیلتراسیون نیاز است. عنصر سولفور به آب بو و مزه بسیار بدی می‌دهد که مجاز نیست. علاوه بر این، در تانک ذخیره NaHS به مرور گاز سولفید هیدروژن (H_2S) تولید خواهد شد. گاز سولفید هیدروژن می‌تواند از تانک ذخیره NaHS فرار کند، به همین دلیل به سیستم تهویه و اخطار دهنده H_2S نیاز است. سولفید هیدروژن بالای ۱۰ میلی گرم در نانومتر مکعب سمی می‌باشد که حد آشکار سازی انسان

تقریباً ۰/۲ میلی گرم در نانومتر مکعب می‌باشد. این گاز خطرات جدی برای ایمنی اشخاص ایجاد کرده و هر ساله موجب معلولیت‌های زیادی می‌شود. بخاطر پتانسیل اکسایش - کاهش نسبتاً بالای آن می‌توان انتظار داشت که واکنش کاهش کند باشد، به همین دلیل به زمان کافی و تانک واکنش بزرگتری نیاز دارد. به دلایل بالا پیشنهاد می‌شود از به کار بردن احیای سولفید خودداری شود (هاشم‌زاده، ۱۳۹۰).

سدیم بی‌سولفیت (NaHSO_3) یک عامل کاهنده قوی است که به طور گسترده برای احیای کروم به کار می‌رود. غلظت سولفات در اینجا افزایش داده می‌شود اما هیچ گونه لجنی تولید نمی‌شود. برای این کار به یک تانک اختلاط و انجام واکنش با زمان ماند ۲۰ دقیقه‌ای و یک تانک ذخیره و چند پمپ تزریق نیاز است. سدیم بی‌سولفیت هیچ گونه خطری ندارد اما در تماس با اسیدهای قوی، گاز سمی دی‌سولفید هیدروژن آزاد می‌شود و به شدت با اکسندهای قوی مثل هیپرکلریت سدیم و کلسیم واکنش می‌دهد. می‌توان تمامی این مشکلات را با قراردادن تجهیزات تزریق، ذخیره و ترکیب کننده در یک اتاقک مجهز به تهویه، دور از اسیدها و اکسندهای قوی برطرف کرد. بنابراین توصیه می‌شود که برای کاهش کروم شش ظرفیتی از سدیم بی‌سولفیت استفاده شود (هاشم‌زاده، ۱۳۹۰).

• شناخت سیستم پلت راکتور

امروزه یکی از روش‌هایی که در سطح دنیا به عنوان فرآیندی موثر و کارآمد در راستای حذف سختی، سولفات، سیلیس، فلورید، فلزات سنگین، ترکیبات فسفره و غیره مدنظر قرار گرفته، فرآیند کریستال سازی بسترهای غوطه‌ور موسوم به پلت راکتور می‌باشد (هاشم‌زاده، ۱۳۹۰). در این مورد می‌توان گفت پلت راکتور توانایی حذف عواملی چون Fe ، Mn ، Sr و Ca را به خوبی دارد (Todd و همکاران، ۱۹۹۴). فرآیند کریستال سازی با بستر غوطه‌ور^۲، یک پروسه فیزیکی-شیمیایی بوده که در طی آن ابتدا آب خام با جریان Up-Flow وارد یک راکتور استوانه‌ای شکل به قطر موثر ۰/۵ تا ۴ متر و ارتفاع ۶ تا ۱۲ متر می‌شود (هاشم‌زاده، ۱۳۹۰).

این راکتورها حاوی دانه‌های ریز ماسه در ابعاد ۰/۲ تا ۰/۴ میلی متر بوده که به واسطه نوع جریان حاکم در حالت غوطه‌ور، امکان تماس آن‌ها با فلوک‌های بسیار ریز ناخالصی که به واسطه افزایش مواد منعقدکننده تبلور یافته‌اند را فراهم می‌آورد. درواقع ذرات ناخالصی براساس خاصیت جذب سطحی بر روی دانه‌های ریز ماسه نشسته و با گذشت زمان ضمن تمرکز بیشتر، پلت‌های کریستاله شده را در ابعاد ۱ تا ۲ میلی متر پدید می‌آورند. براین اساس چهار فرآیند انعقاد، لخته سازی، ته نشینی و آب گیری در یک راکتور انجام پذیرفته و عملاً پلت‌های کریستاله دفعی باتوجه به ساختار متبلور خود به راحتی و بدون نیاز به آب گیری قابل حمل و استفاده در راه سازی یا برخی صنایع دیگر خواهند بود (Dijk و همکاران، ۱۹۸۳).

شدت فرآیند کریستالیزاسیون به عواملی چون دما، کیفیت آب خام ورودی و میزان تزریق مواد شیمیایی وابسته می‌باشد. از این رو

مجموعه راکتور مجهز به سنسورهای اندازه‌گیری فشار، قلیائیت، سختی و دما در بخش‌های ورودی و خروجی خواهد بود. با رشد اندازه پلت‌ها، به‌مرور افت فشار در بخش انتهایی سیستم افزایش می‌یابد. درحالی‌که کیفیت آب خروجی نیز به‌مرور دست‌خوش تغییر شده و از ماهیت کیفی آن کاسته خواهد شد. کاهش کیفیت و بالا رفتن افت فشار از حد مجاز ۱۶/۲ تا ۱۶/۹ کیلوپاسکال بیانگر ضرورت خروج ذرات کریستاله انتهایی و جایگزینی ذرات ماسه شسته شده تازه خواهد بود. اثبات شده است که تعیین میزان اختلاف فشار در فاصله ۵۰ سانتی‌متری بالای کف بستر نتایج دقیق‌تری جهت تخلیه پلت‌ها می‌دهد. دراین‌حالت با عمل اتوماتیک شیرهای خروج ذرات کریستاله، بخشی از آن‌ها تخلیه می‌شود. در شرایط عدم تخلیه ذرات کریستال شده درشت، در پروسه راکتور به‌واسطه افت ناگهانی جریان اختلال ایجاد شده و منجر به بروز برخی تلاطم‌های ناهمسان در راستای کریستالیزاسیون ذرات و نهایتاً تخریب آن‌ها خواهد شد. ازاین‌رو شیر تخلیه ذرات کریستاله پلت می‌بایست متناوباً با بازه‌های زمانی مناسب باز و بسته گشته تا افت فشار موجود مرتفع شود. با عبور آب از بستر غوطه‌ور و کریستالیزاسیون ناخالصی‌ها بر روی ذرات ماسه، مقدار ناخالصی‌های هدف در آب به‌صورت چشمگیری کاهش یافته و خروجی راکتور از کیفیت خوبی برخوردار می‌باشد. اما نکته قابل توجه عبور بخشی از ناخالصی‌های هدف به‌همراه آب خروجی و نیز افزایش تدریجی آن به‌واسطه بالا رفتن کریستالیزاسیون ذرات خواهد بود. در این حالت راندمان سیستم بسته به نوع ناخالصی تحلیل رفته و غلظت افزایش می‌یابد. ازاین‌رو جهت کنترل کیفیت آب استحصال و ارتقا آن همواره بخشی از آب خروجی سرریزها دوباره به محفظه ورودی راکتور بازگشت داده می‌شود تا ضمن پدید آمدن فرصت کریستال‌سازی دوباره درصد خلوص آب استحصالی افزایش یابد (هاشم‌زاده، ۱۳۹۰). در جدول (۱) مشخصات سیستم پلت راکتور تصفیه‌خانه آب شرب شهر بیرجند ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات سیستم پلت راکتور تصفیه‌خانه آب شرب شهر بیرجند (قوی‌پنجه و احسانی، ۱۳۹۲)

شرح	واحد	مقدار
تعداد راکتور pH بالا	مورد	۱
تعداد راکتور pH پایین	مورد	۳
دبی راکتور pH بالا	مترمکعب بر ساعت	۴۰۰
دبی راکتور pH پایین	مترمکعب بر ساعت	۱۶۰۰
قطر راکتور	متر	۲/۶
ارتفاع راکتور	متر	۱۰/۹
تعداد پمپ	مورد	۵
هد پمپاژ	متر	۲۰
بار سطحی	متر بر ساعت	۷۰

• فرآیند حذف سختی آب

سختی آب را می‌توان با افزایش pH رفع کرد. در pHهای بیشتر از ۸، CaCO_3 رسوب خواهد کرد که حد بهینه آن در pH برابر با ۸/۵ تا ۹/۵ می‌باشد. در pHهای بیشتر از ۱۰، Mg(OH)_2 رسوب خواهد کرد که حد بهینه آن در pH برابر با ۱۰/۵ تا ۱۱/۵ است. امکان تشکیل ذرات لخته‌ای جهت حذف سختی ناشی از کلسیم و منیزیم و همچنین کاتیون‌های دیگر مستلزم فراهم آوردن شرایط در راستای تولید ترکیباتی با قابلیت انحلال پایین می‌باشد. برای این منظور با افزایش آهک در محیط طبق واکنش‌های ۳ و ۴، سختی کربناته به‌طور مستقیم و به‌واسطه تشکیل کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم که انحلال کمتری دارند تشکیل فلوک‌های قابل حذفی را می‌دهد که به‌راحتی قابلیت کریستالیزاسیون و تبلور بر روی دانه‌های ریز بستر را دارند.

(۳) $2\text{Ca(HCO}_3)_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow 2\text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$
 (۴) $\text{Mg(HCO}_3)_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{Mg(OH)}_2 \downarrow + \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \downarrow$
 بااین‌وجود بخشی از سختی که همان سختی غیرکربناته می‌باشد در بستر آب باقیمانده است. این سختی بر پایه افزایش تلفیقی آهک و سودا اش طبق واکنش‌های ۵ الی ۸ به کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم تبدیل می‌شود.

(۵) $\text{MgSO}_4 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{Mg(OH)}_2 \downarrow + \text{CaSO}_4$
 (۶) $\text{MgCl}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{Mg(OH)}_2 \downarrow + \text{CaCl}_2$
 (۷) $\text{CaSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$
 (۸) $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{NaCl}$

تشکیل کریستال CaCO_3 در گستره pH ۸ تا ۹/۵ به‌خوبی صورت می‌گیرد. کاتیون کلسیم Ca^{2+} در سیستم پلت راکتور تا کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر حذف می‌شود. اما در این محدوده pH کاتیون منیزیم Mg^{2+} اصلاً حذف نمی‌شود. بعد از تزریق سود NaOH (۶ تا ۱۲ میلی‌مول در لیتر) در $\text{pH} < 11/5$ ، Mg^{2+} تا کمتر از ۳۰ میلی‌مول در لیتر حذف می‌شود و باعث می‌شود Mg(OH)_2 کلوئیدی تشکیل شود که ته‌نشست ضعیفی دارد و با فیلتراسیون ماسه‌ای که معمولاً در قسمت خروجی پلت راکتورها تعبیه می‌شوند، به‌خوبی باقیمانده آن حذف می‌شود. نکته حائز اهمیت در کاربرد فیلترهای شنی ضرورت بهره‌گیری از فیلترهای جریان پیوسته است. چراکه ماهیت ذرات فلوکوله هیدروکسید منیزیم چسبنده است و منجر به چسبیدن ذرات ماسه فیلتر در طی زمان می‌شود (هاشم‌زاده، ۱۳۹۰).

• روش‌های سختی‌گیری

از متداول‌ترین روش‌های حذف سختی به‌کارگیری از آهک و سود می‌باشد. این فرآیند به روش‌های گوناگونی صورت می‌پذیرد. فرآیند متداول سختی‌گیری شامل فرآیندهای انعقاد، تجمع، جداسازی آب و لجن، فیلتراسیون و تغلیظ لجن می‌باشد، درحالی‌که در فرآیند نوین سختی‌گیری در راکتور دانه‌ای بستر سیال تنها فرآیندهای سختی‌گیری و فیلتراسیون را خواهیم داشت. در راکتور دانه‌ای با به‌کارگیری دانه‌ها سیال

شده و با ایجاد بستری بسیار گسترده برای رسوب‌گذاری که به حذف سریع رسوبات از محلول اشباع می‌شود، بازده سختی‌گیری به شدت افزایش می‌یابد. سطح ایجاد شده در این روش بسیار زیاد و معادل $4000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ می‌باشد. در راکتورهای دانه‌ای شانس حذف فلزات سنگین علاوه بر کلسیم و منیزیم نیز وجود دارد (فرهمند و فریور، ۱۳۹۰). روش‌های متداول سختی‌گیری شامل مراحل انعقاد، تجمع و ته‌نشینی است. در این روش مقادیر زیادی لجن آبدار تولید می‌شود که برای آب‌گیری باید به واحد آب‌گیری لجن و بسترهای لجن خشک‌کن برده

شود، در هر صورت با هدررفت زیاد آب روبرو هستیم. درحالی‌که با جایگزینی چند فرآیند پیشین با فرآیند نوین سختی‌گیری بستر سیال علاوه بر کاهش هزینه‌ها دیگر لجنی وجود نخواهد داشت و تنها خروجی مازاد راکتور دانه‌ای، توده‌ای از دانه‌های خشک خواهد بود. در این صورت نه تنها مشکلات لجن‌های متعارف فرآیندهای پیشین سختی‌گیری را ندارد، بلکه مصارف صنعتی نیز می‌توان برای آن متصور بود. جدول (۲) مقایسه فرآیندهای متداول سختی‌گیری و راکتور دانه‌ای ارائه شده است (فرهمند و فریور، ۱۳۹۰).

جدول ۲- مقایسه فرآیندهای متداول سختی‌گیری و پلت راکتور (فرهمند و فریور، ۱۳۹۰)

روش سختی‌گیری	هدررفت آب	سطح بستر لجن خشک‌کن	انرژی مصرفی	محیط زیست	دفع لجن
روش‌های متداول	همراه با لجن	برای آب‌گیری لجن	سیستم تغلیظ و آب‌گیری لجن	دفع مقدار زیاد لجن	زمین کشاورزی
پلت راکتور	ندارد	ندارد	پمپ شناورسازی بستر	بدون آلودگی	مصرف طیور و راه‌سازی

• واحد لاملا و فیلتراسیون

آب خروجی از واحد پلت راکتور باتوجه به تزریق آهک، کدورت بسیار بالایی دارد. برای حذف بخشی از این کدورت، قبل از انتقال آب به واحد فیلتراسیون، واحد ته‌نشینی^۴ پیش‌بینی شده است (قوی‌پنجه و احسانی، ۱۳۹۲). در صورت استفاده از آهک پس از مرحله سختی‌گیری نیاز به فیلترسازی آب وجود دارد که در صورت استفاده از سود با روی، فیلترها کاهش می‌یابد ولی شوری آب افزایش می‌یابد. برای حذف کلسیم به راکتوری با pH بالای ۸ و برای حذف منیزیم به pH بالای ۱۰ نیاز داریم. در صورت کارکرد راکتور در pH بالا باتوجه به چسبندگی ناکافی رسوبات منیزیم به دانه‌های سیال شده، پس از راکتور برای حذف سرباره فرار کرده از راکتور نیاز به زلال‌سازی در واحد زلال‌ساز یا لاملا پیش از ورود به فیلتر می‌باشد. هوازنی آب‌های زیرزمینی پیش از ورود به راکتور با کاهش دی اکسید کربن از آب باعث افزایش راندمان و کاهش آهک مصرفی در راکتور می‌شود. pH آب خروجی از راکتور با تزریق گاز CO_2 یا تزریق اسید سولفوریک و یا HCl باید تنظیم شود. متداول‌ترین روش تنظیم pH تزریق گاز CO_2 می‌باشد که در صورت تزریق گاز کربنیک یک مرحله رسوب‌گذاری پس از آن را نیز خواهیم داشت و تزریق گاز CO_2 به بهبود شرایط بافری آب نیز می‌انجامد. این تنظیم pH پیش از ورود آب به فیلتر صورت می‌گیرد تا با انحلال رسوبات ریز ته‌نشین نشده از گرفتگی و تخریب فیلتر جلوگیری شود. در صورت تزریق اسید سولفوریک افزایش یون سولفات و در صورت تزریق HCl افزایش یون کلر را داریم (فرهمند و گیفانی، ۱۳۸۸).

• واحد فیلتر غشایی

حرکت آب‌های زیرزمینی از بین سازندهای مختلف زمین‌شناسی و همچنین قابلیت آب به عنوان یک حلال مناسب، سبب انحلال نمک‌های مختلف موجود در مسیر آب و افزایش املاح موجود در

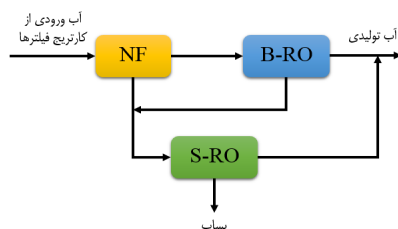
آن خواهد شد (اسداله فردی و همکاران، ۱۳۹۰). میزان بالای املاح که به صورت کاتیون‌ها و آنیون‌های یک یا چند ظرفیتی می‌باشند باعث بروز مشکلاتی چه در بعد صنعتی و چه در بعد مصارف عمومی خواهد شد (ضوابط فنی و بررسی و تصویب طرح‌های تصفیه آب شهری، ۱۳۷۱). به‌طور کلی در تصفیه آب، دو روش اصلی متعارف و نوین تصفیه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش متعارف تصفیه آب قادر به حذف املاح موجود در آب نمی‌باشد. لذا به این منظور از روش‌های نوین تصفیه آب استفاده می‌شود. از جمله روش‌های مذکور که جهت حذف TDS از آب مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتند از: روش الکترودیالیز، روش تبادل یونی و روش غشایی (تراپیان و قدیم‌خانی، ۱۳۸۶).

جهت حذف املاح آب و رساندن به حد استانداردهای مربوط به این پارامتر که تحت عنوان شوری نیز مطرح می‌شود، گزینه‌های مختلفی وجود دارد، از این میان فرآیندهای غشایی به دلایل اقتصادی و راهبری ساده آن در این زمینه موفقیت زیادی کسب نموده است (Crittenden و همکاران، ۲۰۰۵). فرآیندهای غشایی به شیوه‌های جداسازی فیزیکی و شیمیایی املاح مختلف از حلال با استفاده از غشاهای نیمه تراوا اطلاق می‌شود. غشا به ماده‌ای اطلاق می‌شود که از یک دیواره نازک تشکیل شده است و قادر به ایجاد مقاومت انتخابی در برابر انتقال ترکیبات مختلف یک سیال می‌باشد که با این عمل سبب جداسازی بعضی از مواد محلول یا معلق از سیال می‌شود (غلامی، ۱۳۸۶).

چهار نوع غشاهای صافسازی تحت فشار در تصفیه آب و فاضلاب کاربرد دارند. این تقسیم‌بندی براساس اندازه منافذ آن‌ها می‌باشد و عبارتند از: میکروفیلتراسیون، اولترفیلتراسیون، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس (Mnif و همکاران، ۲۰۰۷).

ظرفیت واحد فیلتر غشایی تصفیه‌خانه آب شرب شهر بیرجند ۲۲۰ لیتر در ثانیه بوده و به‌منظور کاهش میزان جامدات محلول TDS و تعدیل غلظت سدیم و سولفات موجود در آب در نظر گرفته شده

پایین بودن راندمان آبی سیستم‌های مبتنی بر ممبران‌ها، این واحد به‌صورت Hybrid Multistage طراحی شده است. به‌این‌منظور پساب بخش نانو فیلتر پس از اختلاط با پساب بخش B-RO جهت تصفیه ثانویه به بخش S-RO جهت حذف کلیه پارامترهای ناخواسته هدایت می‌شود (قوی‌پنجه و احسانی، ۱۳۹۲).



شکل ۳ - دیاگرام جریان در بخش‌های اصلی واحد فیلتر غشایی

۱۳۸۶ در زمینی به مساحت پنج هکتار آغاز و در سال ۱۳۹۴ به بهره‌برداری رسیده است. به نقل از گزارشات شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، هزینه پروژه آبرسانی به شهر بیرجند ۶۲ میلیارد تومان می‌باشد که از این مبلغ ۲۳ میلیارد تومان در اجرای تصفیه‌خانه آب شرب، ۳۳ میلیارد تومان خطوط انتقال آن و مبلغ ۶ میلیارد تومان در طرح انتقال آب از سربیشه به بیرجند هزینه شده است.

۲- استهلاك، تعمیر و نگهداری سالانه:

باتوجه به محاسبات انجام‌شده و هزینه سرمایه اولیه ۲۳۰ میلیارد ریالی ساخت تصفیه‌خانه و در نظر گرفتن هزینه‌های استهلاك، تعمیرات و نگهداری و تعویض ممبران‌ها (هر ۴ سال یک‌بار) به اندازه ۱۵ درصد هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های استهلاك، تعمیر و نگهداری سالانه تصفیه‌خانه حدود ۸ میلیارد ریال برآورد شد.

۳- راهبری ماهیانه:

هزینه‌های راهبری ماهانه تصفیه‌خانه آب شرب شهر بیرجند شامل هزینه‌های نیروی انسانی، مواد شیمیایی مصرفی، برق مصرفی و ... می‌باشد، در صورتی که تصفیه‌خانه با تمام ظرفیت ۶۴۰ لیتر در ساعت در مدار باشد برابر ۵۹۹۱ میلیون ریال برآورد شده است. ریز هزینه‌های راهبری ماهیانه به شرح جداول (۴، ۵ و ۶) ارائه شده است.

جدول ۴- هزینه ماهیانه نیروی انسانی

تعداد نیروی انسانی	حقوق ماهیانه (میلیون ریال)	کل هزینه نیروی انسانی (میلیون ریال)
۱۵	۲۰	۳۰۰

جدول ۵- هزینه برق مصرفی در ماه

قرارداد (کیلووات ساعت)	قیمت واحد (کیلووات)	کیلووات مصرفی در ماه	قیمت کل (میلیون ریال)
۶۵۰	۴۷۲	۱۴۴۰۰۰	۶۸

است. این تصفیه‌خانه به‌صورت Hybrid multistage طراحی شده و شامل سه بخش اصلی زیر می‌باشد که مطابق شکل (۳) ارائه شده است (قوی‌پنجه و احسانی، ۱۳۹۲).

- اسمز معکوس فشار بالا (نمک‌زدایی آب دریا)^۵

- اسمز معکوس فشار پایین (نمک‌زدایی آب‌های لب‌شور)^۶

- اسمز معکوس فشار بسیار پایین یا نانو فیلتراسیون^۷

دبی ورودی به واحد اسمز معکوس تصفیه‌خانه در ابتدا وارد بخش نانو ممبران شده، در این بخش آنیون‌ها و کاتیون‌های چند ظرفیتی از دبی ورودی حذف می‌شود. محصول تولیدی این بخش، جهت حذف آنیون‌ها و کاتیون‌های تک‌ظرفیتی به بخش B-RO انتقال می‌یابد، خروجی آب این واحد دارای حداقل میزان TDS خواهد بود. باتوجه به کمبود جدی منابع آبی در منطقه شهرستان بیرجند و

نتایج و بحث

• مواد شیمیایی مصرفی تصفیه‌خانه آب بیرجند

مواد شیمیایی مصرفی در واحدهای پلت راکتور و فیلتر غشایی تصفیه‌خانه آب شرب شهر بیرجند به همراه هدف و میزان تزریق در جدول (۳) ارائه می‌شود.

جدول ۳- مواد شیمیایی مصرفی در تصفیه‌خانه آب شرب شهر بیرجند

ماده شیمیایی مصرفی	هدف	میزان تزریق (mg/Lit)
سدیم بی‌سولفیت	تزریق به واحد سختی‌گیر جهت احیا کروم	۵۰
آهک	تزریق به واحد سختی‌گیر	۲۷۰
سود	تزریق به واحد سختی‌گیر	۱۰۴
آنی اسکالانت	جلوگیری از تشکیل رسوب در سطح ممبران اسمز معکوس	۷
کلر	ضد عفونی	۱/۴۲
اسید	تزریق به خروجی لاملا و RO برای تنظیم pH	-----

• هزینه‌های تصفیه‌خانه آب بیرجند

به‌طور کلی هزینه‌های تصفیه‌خانه آب شرب شهر بیرجند را می‌توان در قالب ۳ بخش مجزا به شرح ذیل تقسیم‌بندی نمود:

۱- سرمایه‌گذاری اولیه و ساخت تصفیه‌خانه

۲- هزینه‌های استهلاك، تعمیر و نگهداری سالانه

۳- هزینه‌های راهبری ماهیانه شامل هزینه مواد شیمیایی مصرفی، نیروی انسانی، برق مصرفی و ...

۱- سرمایه‌گذاری اولیه:

عملیات اجرایی ساخت تصفیه‌خانه آب شرب شهر بیرجند در سال

جدول ۶- هزینه مواد شیمیایی مصرفی در ماه

ماده شیمیایی	میانگین تزریق (mg/lit)	میزان مصرف (Kg)	قیمت واحد (ریال بر کیلوگرم)	قیمت کل (میلیون ریال)
سدیم بی سولفیت	۵۰	۵۴۴۳۲	۳۶۰۰۰	۱۹۶۰
آهک	۲۷۰	۲۹۳۹۳۳	۴۰۰۰	۱۱۷۶
سود	۱۰۴	۱۱۳۲۱۹	۱۴۰۰۰	۱۵۸۵
آنتی اسکالانت	۷	۳۹۹۲	۲۲۲۰۰۰	۸۸۶
کلر	۱/۴۲	۲۰۴۳	۸۰۰۰	۱۶
هزینه کل				۵۶۲۳

می باشد. با توجه به هزینه یک سیستم تصفیه آب خانگی که معادل ۷۰۰۰ هزار ریال می باشد، اگر وزارت نیرو به جای احداث این تصفیه خانه برای هر یک از مشترکین یک عدد سیستم تصفیه آب خانگی تهیه کرده و در اختیار مشترکین قرار داده بود، هزینه این اقدام حدود ۳۶۸ میلیارد تمام می شد. این مبلغ معادل سرمایه اولیه ساخت تصفیه خانه و هزینه راهبری و نگهداری ۲۱ ماه تصفیه خانه آب شرب برآورد شد.

پژوهش های کاربردی منابع آب ایران، زنجان. فرهمند، ع. و گیفانی، ن. ۱۳۸۸. سختی گیری با استفاده از راکتور دانه ی بستر سیال در حذف کروم و منیزیم از آب شهر بیرجند و اثرات آن در کاهش پساب، سومین همایش ملی آب و فاضلاب با رویکرد اصلاح الگوی مصرف، تهران. قوی پنجه، م. و احسانی، ع. ۱۳۹۲. نگرشی بر شاخص های تصفیه خانه آب شرب شهر بیرجند (نخستین تصفیه خانه شیمیایی در خاورمیانه)، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. هاشم زاده، م. ۱۳۹۰، کاربرد Pellet Reactor در حذف ترکیبی سختی و کروم، کنفرانس بین المللی آب و فاضلاب با رویکرد خصوصی سازی، تهران.

Crittenden J.C., Rhodes T.R., Hand D.W., Howe K.J. and Tchobanoglous G. 2005. Water Treatment: Principles and Design, 2nd edition, John Wiley & Sons Inc.

Dijk J.C. van., Graveland A., De Moel P.J. de. and Oomen J.H.C.M. 1983. Developments in water softening by means of pellet reactor, Journal AWWA, p.619-625.

Mnif A., Bouguecha S., Hamrouni B. and Dhahbi M. 2007. Coupling of Membrane Processes for Brackish Water Desalination, 203(1-3).

Todd I.A., Verdoes D., Sijstermans L., Meter J.V.D. and Hanemaaijer J.M.H. 1994. The removal of strontium and calcium from aqueous Streams, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, p.181-195.

هزینه های تصفیه خانه آب شرب شهر بیرجند در سه بخش سرمایه اولیه، استهلاک، تعمیر و نگهداری و راهبری ماهانه برآورد شد. سرمایه اولیه احداث تصفیه خانه ۲۳۰ میلیارد ریال بوده و سایر هزینه های راهبری و نگهداری هر سال حدود ۸۰ میلیارد ریال می باشد. این تصفیه خانه برای شهروندان محترم شهر بیرجند احداث شده است و مطابق آخرین آمار شرکت آب و فاضلاب استان خراسان جنوبی، شهر بیرجند دارای ۵۲۶۷۶ مشترک آب

پی نوشت

- 1- Reverse Osmosis
- 2- Reactor Pellet
- 3- Fluidized Bed Crystallization
- 4- Lamella
- 5- Sea Water Reverse Osmosis Membrane (S-RO)
- 6- Brackish Water Reverse Osmosis Membrane (B-RO)
- 7- NanoFiltration Membrane (NF)

منابع

اسداله فردی، غ.ر.، رضوانی، ع.، جمالی، ی.ا.، قدیم خانی، ع. و قیاسی، ب. ۱۳۹۰. بررسی روش غشایی در حذف کل مواد جامد از آب شرب شهر بیرجند، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

ترابیان، ع. و قدیم خانی، ع.ا. ۱۳۸۶. طراحی و راهبری جامع تأسیسات تصفیه آب، انتشارات دانشگاه تهران.

ضوابط فنی و بررسی و تصویب طرح های تصفیه آب شهری. ۱۳۷۱. نشریه شماره ۳-۱۲۱، سازمان برنامه و بودجه.

غلامی، م. ۱۳۸۶. کاربرد فناوری غشا جهت حذف رنگ از فاضلاب نساجی، پایان نامه دکتری بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

فرهمند، ع. و فریور، م. ۱۳۹۰. جایگزینی پساب سختی گیری با پسماند خشک دارای کاربرد صنعتی، دومین کنفرانس ملی

Introduction to the Concept of Energy Efficiency in Agricultural Water Pumping Stations

A. Uossef Gomrokchi^{1*}, A. Parvaresh Rizi²

1- PhD., Hydraulic Structures Engineering, Agricultural Engineering Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qazvin, Iran. 2- Assist. Professor of Irrigation & Reclamation Engineering, Department of Agriculture & Natural Resources Campus, University of Tehran, Iran.

*(Corresponding author Email: gomrokchi@gmail.com)

Received: 20-02-2017
Accepted: 08-01-2018

نگرشی بر مفهوم بازده انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ آب کشاورزی

افشین یوسف گمرکچی^{۱*}، عاطفه پرورش ریزی^۲

۱- دکتری سازه های آبی، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران. ۲- استادیار گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: a.gomrokchi@areeo.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۸

Abstract

In recent years, energy costs have had a greater increase compared to other agricultural expenditures. Revising the conditions of agricultural pumping stations, their energy consumption, and using new methods to improve efficiency have an important role in saving energy. In this study, the methodology of determining energy efficiency in agricultural pumping stations is investigated. The energy efficiency of the pumping station is studied according to three factors of: inherent efficiency of the pump, the energy consumption efficiency from input and output power differences, and the potential efficiency differences due to the level of similarity of the pump characteristic curve with the system resistance curve. The evaluation of the pump energy and operation efficiency, on a case study, indicates that the pump is operating at the optimum performance based on the results of the comparison between the measured values of discharge and the pump operation curve. However, the energy efficiency index was 25% during pump operation and the energy consumption efficiency from input and output power differences based on the Nebraska pumping criteria was 52% due to the mismatch of the pump characteristic curve with the system resistance curve. Results show that the total efficiency of the consumed energy in the pumping station, based on the aforementioned factors, is estimated at 11% where the greatest amount of energy losses in the studied system was due to the wrong pump selection.

Keywords: Best efficiency point, Energy efficiency index, Nebraska criteria, System resistance curve.

چکیده

در سال‌های اخیر، هزینه انرژی در مقابل سایر هزینه‌های کشاورزی، افزایش بیشتری داشته است. بازنگری شرایط ایستگاه‌های پمپاژ کشاورزی، چگونگی مصرف انرژی در آنها و استفاده از شیوه‌های جدید طراحی به منظور افزایش بازده، نقش مهمی در مهار مصرف انرژی خواهد داشت. در این تحقیق روش‌شناسی تعیین بازده انرژی در ایستگاه پمپاژ کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا بازده انرژی ایستگاه پمپاژ، باتوجه به تأثیر سه عامل بازده ذاتی کارکرد پمپ، بازده مصرف انرژی ناشی از تفاوت توان ورودی و خروجی و پتانسیل تفاوت بازده به دلیل تطبیق و یا عدم تطبیق با منحنی مقاومت سامانه، در یک ایستگاه پمپاژ آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفته است. ارزیابی بازده انرژی ایستگاه پمپاژ بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده دبی و تطبیق آن با منحنی عملکرد پمپ در یک مورد مطالعاتی، نشان دهنده آن است که پمپ موجود در بهترین نقطه کارکرد قرار گرفته است. لیکن به دلیل عدم تطابق منحنی مشخصه پمپ و منحنی مقاومت سامانه، شاخص بازده انرژی در طی دوره بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ ۲۵ درصد و بازده مصرف انرژی ناشی از تفاوت توان ورودی و خروجی به ایستگاه پمپاژ بر اساس معیار پمپاژ نبراسکا، ۵۲ درصد بوده است. نتایج تحقیق نشان داد بازده کل انرژی مصرفی ایستگاه پمپاژ، با توجه به تأثیر عوامل مورد بررسی ۱۱ درصد برآورد شده که بیشترین مقدار تلفات انرژی در سامانه مورد مطالعه، متأثر از انتخاب ناصحیح پمپ بوده است.

واژه‌های کلیدی: بهترین نقطه کارکرد، شاخص بازده انرژی، معیار نبراسکا، منحنی مقاومت سامانه.

اکثر مشکلات سامانه‌های انتقال و توزیع آب، در ایستگاه‌های پمپاژ بروز می‌نماید. مسائلی چون نوسانات ارتفاع آب در فصول مختلف، استهلاک بالای الکتروپمپ‌ها، عدم اعتماد به سرویس منظم و مرتب، نوسانات برق و عدم حفاظت موتورهای الکتریکی در مقابل آنها، مصرف بالای انرژی، مصرف انرژی راکتو، استهلاک خطوط انتقال و اتصالات مربوطه، ضربه قوچ، عدم امکان مدیریت و کنترل متمرکز ایستگاه‌ها، مشکلات مربوط به کیفیت طراحی و کیفیت تجهیزات به کار رفته و شیوه بهره‌برداری، از مسائل عمده و قابل تأمل در ایستگاه‌های پمپاژ بوده است (بهشتیان و همکاران، ۱۳۸۷). از سوی دیگر گذشت زمان و تغییر در شرایط هیدرولیکی سامانه نیز می‌تواند بر روی عملکرد ایستگاه پمپاژ، بازده پمپ و بازده کل سامانه تأثیرگذار باشد (طاهری اصل و همکاران، ۱۳۸۸).

با افزایش کاربرد پمپ‌ها در بخش کشاورزی (به‌ویژه با توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار در چند دهه اخیر)، بحث کنترل و تطبیق شرایط ایستگاه پمپاژ با مشخصات هیدرولیکی سامانه، به‌منظور افزایش بازده ایستگاه پمپاژ و مدیریت مصارف انرژی اهمیت زیادی یافته است. در این میان ایستگاه پمپاژ مهم‌ترین بخش یک سامانه آبیاری و در واقع قلب آن محسوب شده که هرگونه ناکارآمدی در آن منجر به پایین آمدن بازده مجموعه خواهد شد. این بخش از سامانه با توجه به خصوصیات ذاتی خود نیاز بیشتری به رویکرد سیستمیک، برای بالا بردن بازده کاری دارد. در محاسبات متداول مهندسی طراحی ایستگاه‌های پمپاژ با استفاده از نمودارهای منحنی مشخصه پمپ‌ها، منحنی مشخصه سامانه و با در نظر گرفتن این مسئله که سیستم در حالت پایدار است صورت می‌گیرد. این درحالی است که سامانه‌های انتقال سیال متأثر از عوامل دینامیکی بسیاری نظیر شرایط متفاوت بهره‌برداری، موقعیت ایستگاه‌های پمپاژ و تعداد پمپ‌های در حال کار است (ویسی و شمشادی، ۱۳۸۷). از سوی دیگر متغیر بودن فشار و دبی مورد نیاز (نقطه کار) در محل ایستگاه پمپاژ با توجه به الگوی کشت، مساحت اراضی در حال بهره‌برداری، تغییرات نیاز آبی در طول دوره فصل رشد، عدم تطابق ساعات آبیاری کشت‌های گوناگون و تعداد آبپاش‌های فعال از دیگر مشکلات عمده در بهره‌برداری ایستگاه‌های پمپاژ در سامانه‌های آبیاری تحت فشار است. بدیهی است عملکرد نامناسب ایستگاه پمپاژ در یک سامانه آبیاری، باعث افزایش مصرف انرژی، کاهش بازده، فرسودگی تجهیزات و تحمیل هزینه‌های اقتصادی مرتبط به بهره‌بردار خواهد شد.

مطالعات انجام شده در کشور هندوستان نشان داد با رعایت استانداردها می‌توان بازده بهره‌برداری ایستگاه پمپاژ را به میزان

۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش داد (Shantanu و Girish، ۱۹۹۶). در تحقیق دیگری بازده مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ آبیاری بارانی دیزلی و برقی برخی از مزارع استان همدان مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه عملکرد ایستگاه‌های پمپاژ آبیاری بارانی، از معیار پمپاژ نبراسکا استفاده شد. نتایج اندازه‌گیری‌ها در ۱۷ مزرعه نشان داد که متوسط بازده انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ برقی ۴۶/۶ درصد بوده است (رضوانی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین میانگین بازده ایستگاه‌های پمپاژ آبیاری استان زنجان براساس معیار پمپاژ نبراسکا در پمپ‌های شناور، کف‌کش و گریز از مرکز به ترتیب ۳۶، ۲۰/۷ و ۱۱/۵ درصد برآورد شده است. ارزیابی بازده مصرف انرژی در ۲۵ ایستگاه پمپاژ آبیاری ناحیه‌ای از ایالت تگزاس، نشان داد حداقل، حداکثر و میانگین بازده مجموع انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ برقی به ترتیب ۱۷/۵، ۶۸/۵ و ۴۲/۶ درصد بوده است (Fippes و Neal، ۱۹۹۵). در تحقیق دیگری میانگین بازده انرژی پمپ‌های الکتریکی در ایالت‌های مختلف آمریکا بین ۴۵ تا ۵۵ درصد برآورد شده است. نتایج این تحقیق نشان داد ۲۵ درصد انرژی الکتریکی استفاده شده در ایستگاه‌های پمپاژ تنها به دلیل پایین بودن بازده ایستگاه تلف می‌شود و از بعد اقتصادی هزینه‌های انرژی، تعمیر و نگهداری یک سامانه پمپاژ در طول عمر آن تا ۲۰ برابر سرمایه‌گذاری اولیه است (Chávez و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین در آنالیز انرژی مصرفی ۲۲ ایستگاه پمپاژ در جنوب اسپانیا، بازده انرژی مصرفی ایستگاه‌های پمپاژ ۵۳ درصد برآورد شده است. فرآیند ممیزی انرژی در این محدوده مطالعاتی نشان داد تا ۱۴ درصد امکان صرفه‌جویی در مصرف انرژی وجود داشته است (Abadia و همکاران، ۲۰۱۰). در ارزیابی بازده مصارف انرژی ایستگاه‌های پمپاژ، بازده پمپ با بازده سیستم پمپاژ عمدتاً یکسان فرض می‌شود، درحالی‌که هرچند این دو عامل از یکدیگر مستقل نیستند ولی می‌توانند کاملاً با یکدیگر متفاوت باشند. هنگامی که از بازده یک سامانه صحبت می‌شود مرزهای مورد نظر برای محاسبه بازده، فراتر از پمپ بوده و کل اجزا سامانه را شامل خواهد شد. به عبارتی در یک فرایند محاسبه بازده با دیدگاه سامانه‌ای، نه تنها تک‌تک اجزا بررسی می‌شوند بلکه کل سامانه به همراه ورودی و خروجی مورد انتظار آن، مورد مطالعه دقیق قرار می‌گیرند و تمرکز مطالعه از یک جزء مانند پمپ به مجموعه سامانه منتقل می‌شود. لذا هرچند بازده پمپ تأثیر مستقیم در بازده سامانه دارد، ولی علت اصلی پایین بودن بازده سامانه‌های پمپاژ را می‌توان در جای دیگری در مجموعه ایستگاه پمپاژ نیز جستجو نمود. هدف اصلی این تحقیق، روش‌شناسی ارزیابی بازده انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ کشاورزی است. براین اساس بازده مصرف انرژی با رویکرد سیستمی و نگرش به رفتار کلی مجموعه، در یک ایستگاه پمپاژ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

بازده کلی يك ايستگاه پمپاژ از يك سو تابع طراحی سامانه و بازده تک تک اجزا آن بوده و از سوی دیگر به مقدار دبی و فشار مورد نیاز در طول دوره بهره‌برداری وابسته خواهد بود. براین اساس بازده انرژی به زمان نیز وابسته خواهد بود. ازاین‌رو طیف وسیعی از عوامل در بررسی بازده مصرف انرژی مؤثر خواهند بود. عوامل مؤثر بر بازده مصرف انرژی در يك ايستگاه به‌طور خلاصه در موارد ذیل قابل بررسی خواهد بود:

۱- منحنی مشخصه سامانه: منحنی مشخصه سامانه در واقع مقاومت هیدرولیکی سامانه را در دبی‌های مختلف نشان داده و در بررسی ارتباط دینامیک (پویا) سامانه آبیاری و عملکرد ايستگاه پمپاژ، نقش اصلی را ایفا می‌کند (دلفان آذری و پرورش ریزی، ۱۳۹۴). شبکه مصرف تعیین کننده دبی و فشار در محل ايستگاه پمپاژ است. مقادیر دبی و فشار مورد نیاز سامانه (متغیرهای حالت) به‌صورت پویا و دینامیک بین بخش مصرف و عملکرد ايستگاه پمپاژ ارتباط برقرار خواهد نمود.

جدول ۱- رفتار هیدرولیکی پمپ و تأثیرات وارده بر آن در نقاط مختلف منحنی عملکرد پمپ

ردیف	نقطه کارکرد پمپ	تأثیرات وارده بر پمپ
۱	۰ تا ۱۰ درصد نقطه BEP	افزایش بیش‌ازحد دمای پمپ
۲	۱۰ تا ۲۰ درصد نقطه BEP	کاویتاسیون در جریان پایین
۳	۲۰ تا ۴۰ درصد نقطه BEP	طول عمر کم آب‌بند ^۴ مکانیکی و یاتاقان‌ها
۴	۴۰ تا ۵۰ درصد نقطه BEP	کاهش عمر پروانه
۵	۵۰ تا ۶۰ درصد نقطه BEP	پدیده بازگشت سیال ^۵ در قسمت مکش پمپ
۶	۶۰ تا ۸۰ درصد نقطه BEP	پدیده بازگشت سیال در قسمت خروجی پمپ
۷	۸۰ تا ۱۱۰ درصد نقطه BEP	بهترین و بهینه‌ترین محدوده عملکرد پمپ
۸	بیشتر از ۱۱۰ درصد نقطه BEP	کاویتاسیون

۵- طراحی ايستگاه پمپاژ و نحوه مدیریت آن و برنامه‌ریزی آبیاری (Rocamora و همکاران، ۲۰۱۳).

۶- نقاط بحرانی از دیدگاه بازده مصرف انرژی (González Perea و همکاران، ۲۰۱۴): نقاط بحرانی در محدوده کارکرد ايستگاه پمپاژ، شامل نقاطی است که از نظر تأمین هد و یا میزان دبی مورد نیاز در نقطه آبیگری تفاوت محسوسی با سایر نقاط داشته و به‌همین دلیل باعث کارکرد پمپ در بازده پائین تر از محدوده مجاز خواهد شد.

۷- مشخصه‌های منبع تأمین انرژی (تغییرات ولتاژ برق مصرفی، آمپر، توان راکتیو، ضریب توانس جریان).

۸- شیوه راه‌اندازی و بهره‌برداری از ايستگاه‌های پمپاژ: در صورت کاربرد روش صحیح در راه‌اندازی پمپ‌ها علاوه بر بهره‌برداری بهینه از ايستگاه‌های پمپاژ، اهدافی چون صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش استهلاك وسایل الکتریکی و مکانیکی، افزایش عمر مفید پمپ تحقق خواهد یافت.

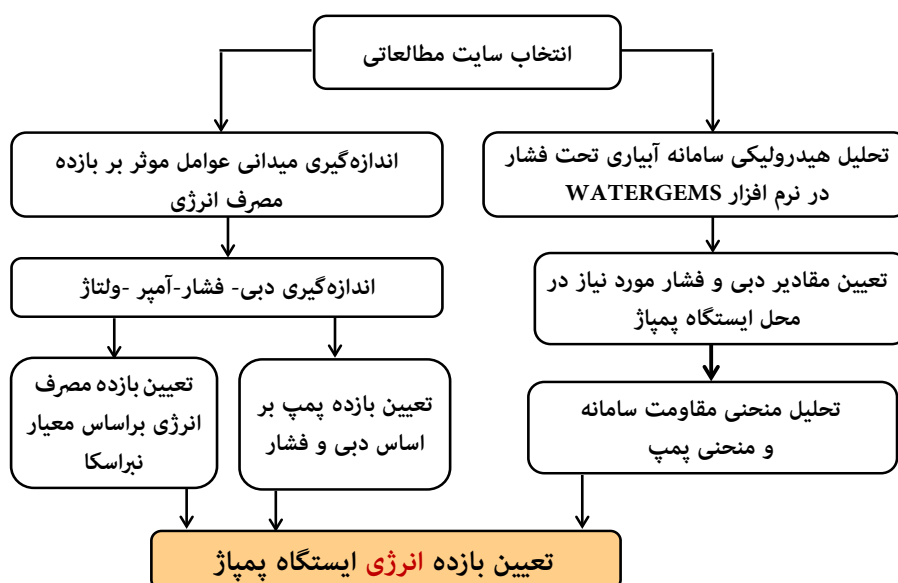
۳- تغییرات نقطه کارکرد پمپ: از آنجا که بازده پمپ با دبی آن تغییر می‌کند بنابراین میزان انرژی مصرفی در واحد حجم آب پمپاژ شده در هر پمپ به ازای دبی‌های مختلف پمپاژ متفاوت خواهد بود. یکی از مشکلات عمده ايستگاه‌های پمپاژ در سامانه‌های آبیاری تحت فشار، متغیر بودن فشار و دبی مورد نیاز (نقطه کارکرد) ايستگاه پمپاژ باتوجه‌به الگوی کشت، مساحت اراضی در حال بهره‌برداری، تراکم کشت، فصل آبیاری، روش بهره‌برداری و یا تعداد آبپاش فعال است. براساس منحنی مشخصه پمپ با کاهش دبی پمپ، فشار خروجی افزایش می‌یابد. این افزایش فشار نه‌تنها باعث کارکرد الکتروموتور در بازده پایین می‌شود بلکه امکان آسیب به تأسیسات پمپاژ خصوصاً در مواقع شروع و توقف نیز امکان‌پذیر خواهد بود همچنین به‌دلیل کارکرد غیر بهینه پمپ، موجبات اتلاف انرژی را باعث می‌شود.

۴- بازده انرژی مصرفی سایر تجهیزات ايستگاه پمپاژ شامل موتور الکتریکی، درایو.

۹- نحوه کنترل جریان در محل ایستگاه پمپاژ: معمولاً به‌ندرت سیستم پمپاژی یافت می‌گردد که مقدار جریان آن در طول زمان ثابت باشد. در اکثر سامانه‌ها مقدار جریان مورد نیاز در شبانه‌روز، در طول هفته یا فصل تغییر می‌کند و ایستگاه‌های پمپاژ کشاورزی نیز به‌واسطه تغییرات نیاز آبی در طول دوره رشد، تراکم کشت، نوع کشت از این امر مستثنی نخواهند بود. طراحی ایستگاه پمپاژ ضمن آنکه بایستی پاسخگوی مقدار بیشینه جریان مورد نیاز باشد، بایستی بسته به ماهیت سامانه و مشخصات آن از روش‌های مناسبی برای کنترل جریان استفاده نماید که در زمان نیاز به جریان کم، کمترین تلفات انرژی را به همراه داشته باشد. بررسی‌های انجام شده بر روی سامانه‌های مختلف پمپاژ نشان می‌دهد یکی از بیشترین پتانسیل‌های کاهش مصرف انرژی مربوط به اصلاح روش کنترل جریان بوده است (Hydraulic Institute, ۱۹۹۹). استفاده از شیرهای کنترل جریان و

خط By pass که بیشترین تلفات انرژی را به همراه دارند در بسیاری از ایستگاه‌های پمپاژ مورد استفاده قرار گرفته است. در عوض استفاده از پمپ‌های دور متغیر و یا پمپ‌های موازی که هرکدام کاربرد خاص خود را دارند، به‌علت عدم آگاهی طراحی و یا هزینه اولیه بالاتر در سامانه‌های آبیاری کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

براین اساس عوامل متعددی بر بازده ایستگاه پمپاژ تأثیرگذار بوده و بررسی جامع بازده ایستگاه پمپاژ در یک سامانه آبیاری امری هزینه‌بر، طولانی مدت و کاملاً تخصصی است. در این تحقیق یک مفهوم ترکیبی بازده مصرف انرژی در ایستگاه پمپاژ در قالب یک اندازه‌گیری میدانی تشریح شده است. بازده انرژی، ترکیبی از تأثیر منحنی مقاومت سامانه، منحنی مشخصه پمپ و مشخصه‌های منبع تأمین انرژی می‌باشد. در شکل (۱) روند نمای تعیین بازده ایستگاه پمپاژ نشان داده شده است.



شکل ۱- روند نمای تعیین بازده ایستگاه پمپاژ

براین اساس بازده انرژی مصرفی ایستگاه پمپاژ، به‌صورت رابطه (۱) تعریف شده است:

$$E_E = E_{ES} \times E_{EP} \times E_{EO} \quad (1)$$

که در آن، E_E : بازده انرژی ایستگاه پمپاژ (درصد)، E_{ES} : بازده انرژی مرتبط با منحنی مقاومت سامانه (درصد)، E_{EP} : بازده انرژی مرتبط با توان ورودی و خروجی به پمپ و E_{EO} : بازده انرژی مرتبط با منحنی مشخصه عملکرد پمپ است.

باتوجه به روند نمای اشاره شده در شکل (۱) بازده ایستگاه پمپاژ در سایت منتخب ارزیابی شده است. در شکل‌های (۲ و ۳) اندازه‌گیری دبی و ولتاژ در محل ایستگاه پمپاژ نشان داده شده است. شبکه مصرف در ایستگاه پمپاژ مورد مطالعه یک سامانه آبیاری تحت فشار ۸۵ هکتاری با کشت محصول زیتون در استان

قزوین بوده که در سال دهم پس از بهره‌برداری قرار دارد.



شکل ۲- پایش دبی لحظه‌ای در محل ایستگاه پمپاژ با استفاده از دبی سنج اولتراسونیک

که جهت طراحی هیدرولیکی شبکه‌های آب شهری تهیه و ارائه شده است، با تهیدات خاصی می‌تواند در زمینه طراحی هیدرولیکی شبکه آبیاری تحت فشار نیز استفاده شود (Ilie, ۲۰۱۳). در نرم‌افزارهایی مانند EPANET یا برنامه‌هایی که در محیط Excel تهیه شده، هرچند دقت محاسبات قابل اعتماد است، لیکن به دلیل محدودیت ناشی از عدم توانایی برنامه در نمایش پلان شبکه، تحلیل عملکرد هیدرولیکی ایستگاه پمپاژ، درک عوارض و توپوگرافی از روی نقشه‌ها، قابلیت ناحیه بندی و تحلیل همزمان شبکه در شرایط مختلف بهره‌برداری، قابلیت اعمال تغییرات (همانند افزایش زبری، تغییر نوع پمپ، تغییر الگوی نیاز آبی) در طول دوره بهره‌برداری و دیگر محدودیت‌های موجود، نرم‌افزار WaterGEMS برتری کاملاً محسوس نسبت به آنها را دارد. به این دلیل استفاده از آن در تحلیل شبکه‌های آبیاری تحت فشار در حال توسعه است. هرچند این نرم‌افزار در فرآیند مدل‌سازی با محدودیت‌هایی همراه می‌باشد که عمده‌ترین آن متنباز نبودن نرم‌افزار است.

در این تحقیق منحنی مقاومت سامانه در طول یک دوره ۱۰ ساله بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ محاسبه شده است (باتوجه به آنکه ایستگاه پمپاژ مورد مطالعه در سال دهم بهره‌برداری قرار گرفته از این‌رو بازه ۱۰ ساله جهت تحلیل منحنی مقاومت سامانه انتخاب شده است). پس از تعیین منحنی مقاومت سامانه و اخذ میزان ساعات کارکرد سالانه ایستگاه پمپاژ، پتانسیل تلفات انرژی با توجه به منحنی مشخصه پمپ و منحنی مقاومت سامانه تعیین شده است. رابطه تعیین انرژی مورد نیاز نیروی محرکه برای پمپاژ یک مقدار مشخص دبی با یک هد مورد نظر که اساس محاسبه میزان مصرف انرژی قرار می‌گیرد براساس رابطه (۴) محاسبه شده است:

$$E = \frac{T \cdot \gamma \cdot Q \cdot H}{100 \times \eta} \quad (4)$$

در این رابطه E: انرژی مورد نیاز (کیلووات ساعت)، T: ساعات کارکرد سالانه، Q: کل آبدی مورد نیاز (مترمکعب بر ثانیه)، H: کل فشار مورد نیاز (متر)، γ : وزن مخصوص سیال برحسب (نیوتن بر مترمکعب)، η : بازده پمپ (درصد) است. در نهایت به منظور بررسی ارتباط بین انرژی مصرفی و حجم آب پمپاژ شده در ایستگاه پمپاژ، شاخص بازده انرژی ایستگاه پمپاژ (PEE)، بر اساس رابطه (۵) محاسبه شده است (Diaz و همکاران، ۲۰۱۱).

$$PE \text{ efficiency}(\%) = \frac{\frac{V}{3.6} \cdot H}{75 \cdot E_a} \cdot 0.736 \cdot 100 \quad (5)$$

که در آن V: حجم آب پمپاژ شده برحسب (مترمکعب)، H: هد تولید شده توسط پمپ (متر)، E_a : انرژی مصرفی پمپ (کیلووات ساعت) است. مهمترین مزیت تأثیر این شاخص در بازده ترکیبی ایستگاه پمپاژ، قابلیت تحلیل بازده انرژی در حالت راه‌اندازی دور متغیر پمپ می‌باشد (یوسف گمرکچی و پرورش ریزی، ۱۳۹۵).



شکل ۳- اندازه‌گیری مقادیر مرتبط با مصارف انرژی در تابلو برق ایستگاه پمپاژ

به منظور ارزیابی تأثیر منبع انرژی، بر بازده ایستگاه پمپاژ، از معیار پمپاژ نبراسکا استفاده شده است (New و Schneider, ۱۹۸۸). معیار نبراسکا در ارزیابی بازده انرژی مصرفی ایستگاه‌های پمپاژ، به دو عامل توان تولید شده و توان خارج شده از پمپ، به ازای واحد انرژی مصرفی وابسته است. توان تولید شده در موتورهای الکتریکی، با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل و شدت جریان الکتریکی، بر اساس رابطه (۲) محاسبه شده است.

$$P_i = 3 \times V \times I \times \cos \phi \quad (2)$$

در این رابطه، P_i : توان مصرفی (کیلووات)، V: اختلاف پتانسیل (ولت)، I: شدت جریان (آمپر) و $\cos \phi$: ضریب توان مصرف‌کننده الکتریکی است (مقدار $\cos \phi$ به همراه دیگر مشخصات روی موتورهای الکتریکی حک شده است).

برای محاسبه توان خارج شده از پمپ از رابطه (۳) استفاده شده است.

$$P_{out} = (Q \times H) / 102 \quad (3)$$

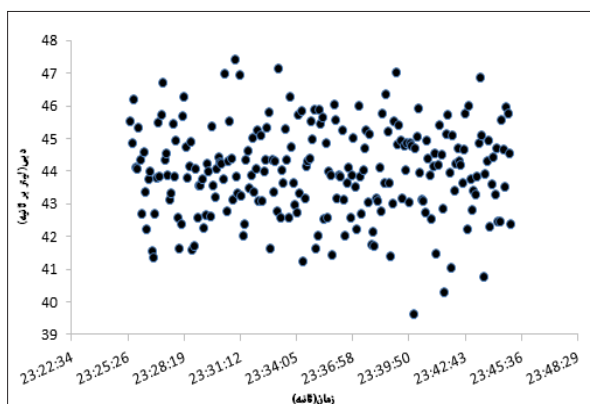
در این رابطه، P_{out} : توان خارج شده از پمپ (کیلووات)، Q: دبی (لیتر بر ثانیه)، H: بار دینامیک کل (متر) است.

براین اساس عملکرد انرژی مصرفی در ایستگاه پمپاژ (P_R) از نسبت توان خارج شده پمپ به توان مصرفی محاسبه خواهد شد و سپس درجه همخوانی معیار ایستگاه پمپاژ (P_R) که نسبت بازده مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ به مقدار معیار ایستگاه پمپاژ نبراسکا است، محاسبه شده است. معیار پمپاژ نبراسکا برای توان موتور الکتریکی به ازای واحد انرژی مصرفی ۰/۸۸ (اسب بخار ساعت به کیلووات ساعت)، برآورد شده است (New و Schneider, ۱۹۸۸).

باتوجه به آنکه تحلیل هیدرولیکی سامانه‌های آبیاری تحت فشار، به‌ویژه سامانه‌هایی با مساحت زیاد و با توپوگرافی نامنظم و غیریکنواخت، پیچیدگی‌های خاصی خواهد داشت و این امر از طریق محاسبات دستی به‌سادگی امکان‌پذیر نیست، لذا به منظور تحلیل هیدرولیکی یکپارچه سامانه، از امکانات نرم‌افزار WaterGEMS استفاده شده است. مدل نرم‌افزاری WaterGEMS

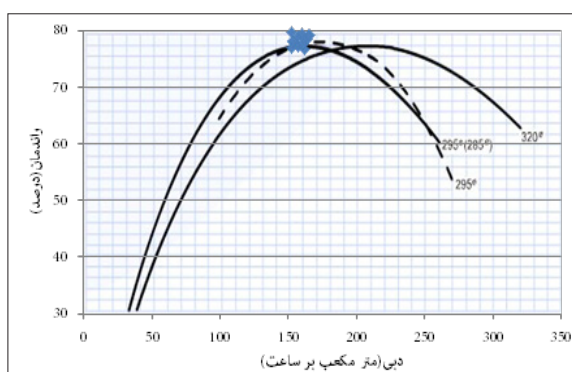
نتایج و بحث

به منظور ارزیابی بازده ایستگاه پمپاژ مقادیر دبی، فشار، ولتاژ جریان و آمپر برق مصرفی اندازه گیری شده است. شکل (۴) تغییرات دبی در محل ایستگاه پمپاژ، در یک نوبت اندازه گیری را نشان داده است.



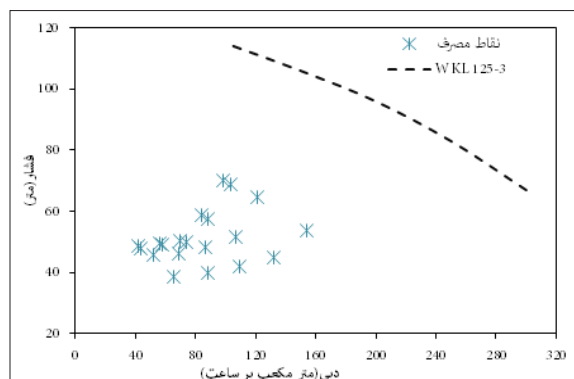
شکل ۴- مقادیر اندازه گیری شده دبی در محل ایستگاه پمپاژ (تیرماه ۹۴)

شایان ذکر است براساس دو نوبت اندازه گیری دبی ایستگاه پمپاژ در تیرماه و اردیبهشت ماه (با استفاده از دبی سنج اولتراسونیک)، میانگین دبی پمپاژ شده در تیرماه ۴۵ لیتر بر ثانیه و در اردیبهشت ماه ۴۸ لیتر بر ثانیه بوده است. ارزیابی بازده ذاتی پمپ بر اساس مقادیر اندازه گیری شده دبی و تطبیق آن با منحنی عملکرد پمپ، نشان دهنده آن است که پمپ موجود (WKL125/3) در بهترین نقطه کارکرد پمپ قرار گرفته است. به نحوی که براساس منحنی عملکرد پمپ (با قطر پروانه ۲۹۵ میلی متر)، بازده پمپ در وضعیت موجود بهره برداری در حدود ۷۶-۷۸ درصد بوده است (شکل ۵).



شکل ۵- منحنی عملکرد پمپ و مقادیر دبی پایش شده

براساس تحلیل هیدرولیکی شبکه مصرف در نرم افزار WaterGEMS نقاط مصرف در بازه ۱۰ ساله بهره برداری سامانه محاسبه شده است. شکل (۶) منحنی عملکرد پمپ و نقاط مصرف برای بازه ۱۰ ساله بهره برداری را نشان داده است.



شکل ۶- منحنی عملکرد پمپ و نقاط مصرف برای بازه ۱۰ ساله بهره برداری

با محاسبه حجم آب پمپاژ شده و انرژی مصرفی پمپ در طی دوره بهره برداری، شاخص بازده انرژی ایستگاه پمپاژ (PEE) محاسبه شده است (جدول ۲).

جدول ۲- محاسبه بازده ایستگاه پمپاژ براساس منحنی مقاومت سامانه

حجم آب پمپاژ شده	انرژی مصرفی پمپ
۱۷۵۸۸۱۸ (متر مکعب)	۱۶۸۷۳۲۰ (کیلووات ساعت)
هد تولید شده توسط پمپ	بازده انرژی ایستگاه پمپاژ
۸۸ (متر)	۲۵ (درصد)

باتوجه به مقادیر ثبت شده دبی، فشار، شدت جریان (آمپر) و ولتاژ برق مصرفی، وضعیت موجود بهره برداری براساس معیار نبراسکا ارزیابی گردید. با توجه به مقادیر اندازه گیری شده که در جدول (۳) نشان داده شده، بازده مصرف انرژی ۵۲ درصد محاسبه شده است.

براساس رابطه (۱)، بازده انرژی ایستگاه پمپاژ متأثر از شرایط کارکرد هیدرولیکی پمپ و تفاوت توان ورودی و خروجی به پمپ، ۴۰/۵ درصد بوده است این شاخص بیانگر وضعیت بازده انرژی در وضعیت کنونی ایستگاه پمپاژ می باشد. لیکن با احتساب پتانسیل تلفات انرژی به دلیل انتخاب ناصحیح پمپ، شاخص بازده انرژی در طول دوره بهره برداری ایستگاه پمپاژ کمتر از ۱۱ درصد خواهد بود.

جدول ۳- محاسبه بازده ایستگاه پمپاژ براساس معیار نبراسکا

شاخص اندازه‌گیری شده	مقدار	شاخص اندازه‌گیری شده	مقدار
میانگین دبی (لیتر بر ثانیه)	۴۵	$\cos(\phi)$	۰/۸۵
شدت جریان (آمپر)	۱۶۵	توان ورودی (کیلووات)	۸۵/۲
ولتاژ (ولت)	۳۵۰	توان خروجی (کیلووات)	۴۴
ولتاژ نامی (ولت)	۳۸۰	درجه عملکرد نسبت به معیار نبراسکا	۰/۷۸
ارتفاع دینامیکی (متر)	۹۹		

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی شاخص‌های بازده انرژی مصرفی در ایستگاه پمپاژ نشان داد مفهوم بازده انرژی علاوه بر ارتباط دینامیک با سایر اجزا ایستگاه پمپاژ، خود نیز متأثر از سه بخش مجزا است. این سه بخش شامل ۱- بازده ذاتی کارکرد هیدرولیکی پمپ باتوجه‌به مقادیر دبی و فشار در محل ایستگاه پمپاژ ۲- بازده مصرف انرژی متأثر از تفاوت توان ورودی و خروجی به پمپ ۳- پتانسیل

پی‌نوشت

- 1- American Society of Mechanical Engineers
- 2- Department of Energy
- 3- American Petroleum Institute
- 4- Seal
- 5- Recirculation
- 6- Pumping Energy Efficiency

منابع

بهشتیان، ع.، سخایی راد، ح. و وجدانی، ن. ۱۳۸۷. بهره‌برداری بهینه از ایستگاه‌های پمپاژ با استفاده از راه‌اندازهای نرم (سافت استارتر) و درایوهای کنترل دور. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

دلفان آذری، م. و پرورش ریزی، ع. ۱۳۹۴. کاربرد پمپ‌های دور متغیر در طراحی و بهره‌برداری سامانه‌های تقاضامدار آبیاری. نشریه آب و خاک، ۴۶(۱): ۴۸-۴۱.

تلفات بازده به دلیل تطبیق و یا عدم تطبیق منحنی مقاومت سامانه و منحنی مشخصه پمپ، می‌باشد. نتایج ارزیابی مصارف انرژی نشان داد علاوه بر پایش وضعیت بهره‌برداری پمپ (از نظر قرارگیری محدوده کارکرد پمپ در حوالی نقطه بهینه کارکرد)، تلفات انرژی در تطبیق و یا عدم تطبیق منحنی عملکرد پمپ و منحنی مقاومت سامانه نیز باید در نظر گرفته شود تا بتوان پتانسیل صرفه‌جویی در مصارف انرژی را برآورد نمود. به‌طوری‌که انتخاب ناصحیح پمپ، مقادیر قابل توجهی از تلفات انرژی در سامانه را به همراه داشته است. نتایج تحقیق نشان داد عوامل متعددی می‌تواند بر بازده مصرف انرژی ایستگاه پمپاژ تأثیرگذار باشد. از این‌رو در تعیین بازده انرژی، تحلیل رفتار هیدرولیکی ایستگاه پمپاژ شرط لازم در ممیزی انرژی بوده اما شرط کافی نیست. لذا بازده کاری پمپ و بازده ایستگاه پمپاژ دو مفهوم کاملاً مجزا خواهند بود. به‌طور مثال به دلیل افت ولتاژ در محل ایستگاه پمپاژ مورد مطالعه (این مشکل یکی از معضلات عمومی در ایستگاه‌های پمپاژ کشاورزی است)، علیرغم قرارگیری نقطه کار پمپ در نقطه بهینه کارکرد بازده مصرف انرژی به‌شدت کاهش یافته است. به عبارتی، بازده مصرف انرژی از ترکیب بازده داخلی (نحوه طراحی، بهره‌برداری و مدیریت سامانه) و بازده خارجی (مقدار ولتاژ برق، میزان لنگر بار) حاصل می‌شود؛ لذا پایش انرژی یک سامانه، باید مبتنی بر کلیه عوامل بهره‌برداری (هیدرولیکی، مکانیکی و منبع انرژی) باشد.

رضوانی، م.، جعفری، ع. و امین، س. ۱۳۸۹. بررسی بازده و مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ آبیاری بارانی برخی مزارع استان همدان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۱(۴): ۱۹-۳۴.

طاهری اصل، ا. ۱۳۸۸. ممیزی و مدیریت انرژی سیستم پمپاژ چاه‌های آب شرب، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی انرژی، تهران، ایران.

ویسی، ف. و شمشادی، م. ۱۳۸۷. مدیریت مصرف انرژی در ایستگاه‌های پمپاژ با استفاده از مدل‌سازی دینامیکی. دومین همایش ملی آب و فاضلاب (با رویکرد بهره‌برداری)، تهران، ایران.

یوسف گمرکچی، ا. و پرورش ریزی، ع. ۱۳۹۵. تحلیل هزینه فایده پمپ‌های دور متغیر در سامانه‌های آبیاری تحت فشار. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۴(۱۰): ۵۴۳-۵۴۳.

Abadia R., Rocamora C., Corcoles J.I., Ruiz Canales A., Martinez Romero A. and Moreno M. A. 2010. Comparative analysis of energy efficiency in water users associations. Span. J. Agric. Res. 8(S2):

- gy for Sustainable Development, 3(1): 1-17.
- Gonzalez Perea R., Camacho Poyato E., Montesinos P. and Diaz J.A. 2014. Critical points: interactions between on-farm irrigation systems and water distribution network. *Irrig. Sci.*, 32: 255-265.
- Hydraulic Institute, Euro pump and US DOE. 1999. Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems. US DOE Publication. USA.
- Ilie A. 2013. WaterGEMS V8i User's Guide. Bentley Institute. PA, USA.
- New L.L. and Schneider A.D. 1988. Irrigation pumping plant Efficiencies-High Plains and Trans-Pecos Areas of Texas. Publication MP-1643. Texas agricultural experiment station, Texas university system, College station. USA.
- Rocamora C., Vera J. and Abadía R. 2013. Strategy for Efficient Energy Management to solve energy problems in modernized irrigation: analysis of the Spanish case. *Irrig Sci.*, 31(5): 1139-1158.
- 134-142.
- API Standard 610. 2010. ISO 13709:2009 (Identical), Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural Gas Industries. USA.
- ASME. 2009. Energy Assessment for Pumping Systems. USA.
- Chávez J.L., Reich D., Loftis J.C. and Miles D.L. 2010. Irrigation pumping plant efficiency. Colorado State University Cooperative. Extension. No.4. 712.
- Diaz R.J.A., Camacho Poyato E. and Blanco Perez M. 2011. Evaluation of water and energy use in pressurized irrigation networks in Sothern Spain. *J Irrig Drain Eng.*, 137(10): 644-650.
- Fippes G. and Neal B. 1995. Texas irrigation pumping plant efficiency testing program. Department of Agricultural Engineering. Texas Agricultural Extension Service. College Station. TX. USA.
- Girish S. and Shantanu D. 1996. Agricultural pumping efficiency in India: the role of standards. Ener-

Inverse Solution Technique: Application in Determining the Effective Porosity and Hydraulic Conductivity of Soil in Drainage System of Shadegan Plain

V. Shahabizad^{1*}, A. Hassanoghli², A. Sotoodehnia³

1,3- Phd Student & Associate Professor, Department of Water Engineering, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran. 2- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

* (Corresponding author Email: vahidsh2706@gmail.com)

Received: 18-04-2017
Accepted: 09-01-2018

روش حل معکوس پارامترها: کاربرد در تعیین تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی خاک در سیستم زهکشی دشت شادگان

وحید شهابی‌زاد^{۱*}، علیرضا حسن اقلی^۲، عباس ستوده‌نیا^۳

۱ و ۳- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین. ۲- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

* (نویسنده مسئول، E-Mail: vahidsh2706@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۱۹

Abstract

The inverse solution method is a method in which the required parameters are indirectly determined numerically by solving the equations. Various methods are available to estimate the effective porosity (f) and the soil hydraulic conductivity (k). The inverse technique is one of the most efficient methods for estimating these coefficients. Therefore, determination of these parameters for actual conditions in drainage experimental fields was investigated using the measured values of some indicators and application of the inverse solution method. The volume of outlet water from drainage pipes and the variation in water table height were measured in 24-hour periods for 3 irrigation intervals in the Shadegan plain subsurface drainage system. With the drop in the water table, f was measured with the Taylor method and k was estimated with Skaggs method. The variations of f and k with water table depth (z) were determined. The arithmetic mean of f and k were calculated equal to 0.0118 m³/m³ and 0.3055 m/d, respectively. The weighted average of f and k with weight of z were 0.0116 m³/m³ and 0.2392 m/d, respectively. Also, using the concept of average function, f and k according to z were estimated equal to 0.0117 m³/m³ and 0.3093 m/d, respectively. To evaluate the values of F and k , the distance between specific drainage was calculated using the modified Glover equation. The results showed that when the water table is near the ground surface, the k value is dependent on several factors and k is not only a function of z . With increasing z , the values of f partially and k significantly decreased. The proposed inverse solution technique is a simple and convenient method for estimating f and k . The main advantage of this method is using the actual scale of the soil, as well as its heterogeneity and anisotropy.

Keywords: Soil hydraulic conductivity, Effective porosity, Water table, Inverse technique.

چکیده

روش حل معکوس روشی است که در آن پارامترهای مورد نیاز با حل عددی معادلات مربوطه به صورت غیرمستقیم تعیین می‌شوند. روش‌های متفاوت و متنوعی به منظور تخمین تخلخل مؤثر (f) و هدایت هیدرولیکی خاک (K) در دسترس می‌باشد که روش حل معکوس یکی از کارآمدترین روش‌ها جهت تخمین این ضرایب می‌باشد. لذا تعیین این پارامترها برای شرایط واقعی در مزارع آزمایشی زهکشی، با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده برخی شاخص‌ها و کاربرد روش حل معکوس بررسی شد. به همین جهت، حجم آب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی و نوسانات سطح ایستابی در بازه ۲۴ ساعته در سیستم زهکشی اجرا شده در دشت شادگان، برای ۳ دور آبیاری متوالی اندازه‌گیری شد. در زمان پایین افتادن سطح ایستابی، f به روش معکوس تیلور و K نیز با معلوم بودن f ، به روش معکوس اسکگس تعیین شد. همچنین تغییرات f و K با عمق سطح ایستابی نسبت به سطح زمین (z) به دست آمد. بر این اساس و با میانگین‌گیری حسابی، مقادیر f و K به ترتیب $0.0118 \text{ m}^3/\text{m}^3$ و 0.3055 m/d ، با میانگین‌گیری وزنی، f و K با وزن z به ترتیب $0.0116 \text{ m}^3/\text{m}^3$ و 0.2392 m/d و با استفاده از مفهوم میانگین تابع f و K برحسب متغیر z ، کمیت آن‌ها به ترتیب $0.0117 \text{ m}^3/\text{m}^3$ و 0.3093 m/d به دست آمد. جهت ارزیابی مقادیر f و K به دست آمده، فاصله زهکش‌های زیرزمینی با استفاده از آن‌ها و به روش گلویر اصلاح شده تعیین شد. نتایج نشان داد وقتی که سطح ایستابی در نزدیکی سطح زمین باشد، مقدار K به عوامل متعددی وابسته بوده و نمی‌توان K را تنها تابعی از z دانست. با افزایش z مقدار f به مقدار اندک و K به صورت محسوسی کاهش خواهد یافت. تکنیک حل معکوس ارائه شده، در این پژوهش یک روش ابداعی ساده و مناسب جهت تخمین f و K است که مهم‌ترین مزیت آن در برگرفتن مقیاس واقعی خاک و همچنین ناهمگنی و ناهمروندی خاک است.

واژه‌های کلیدی: هدایت هیدرولیکی خاک، تخلخل مؤثر، سطح ایستابی، حل معکوس.

h ارتفاع سطح ایستابی در حد واسط دو زهکش (m) و L فاصله زهکش‌ها از یکدیگر (m) می‌باشد. استفاده از این فرمول برای مناطق مرطوب در سرتاسر جهان متداول است. در مناطق مرطوب، معیار طراحی ضریب زهکشی یا مقدار عمق تخلیه آب در بازه زمانی مشخص می‌باشد ولی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مقدار بارندگی کمترین ملاحظات را در طراحی زهکشی زیرزمینی دارد، زیرا منبع اصلی آب اضافه در خاک ناشی از آبیاری می‌باشد که باعث صعود سطح ایستابی می‌شود. در این مناطق بایستی از معادلات غیرماندگار استفاده شود (Gupta, ۲۰۰۰). معادلات تحلیلی غیرماندگار جهت طراحی زهکشی زیرزمینی از حل معادله بوزینسک منشأ می‌گیرد. در تمامی معادلات تحلیلی غیرماندگار، ضریب تخلخل قابل زهکشی (f) و هدایت هیدرولیکی خاک (K) نقش اساسی ایفا می‌کنند (Upadhyaya و Chauhan, ۲۰۰۰) و در مطالعات پروژه‌های زهکشی اهمیت بسیار بالایی دارند.

روش‌های مستقیم بسیار متنوعی در مزرعه برای به‌دست آوردن K وجود دارد (Amoozegar و Warrick, ۱۹۸۶؛ Snell و VanSchilfgaarde, ۱۹۶۴؛ Luthin, ۱۹۶۶؛ Boast و KriKham, ۱۹۷۱). در مطالعات پروژه‌های زهکشی بایستی با آزمایش‌های مزرعه‌ای در نقاط مختلف و مطابق استاندارد مقدار K را تخمین زد (Gupta, ۲۰۰۲). مقادیر این ضریب هیدرودینامیکی در خاک بسیار تغییرپذیر بوده (King و همکاران, ۲۰۱۵) و ممکن است در اندازه‌گیری K در فواصل چند متری در یک مزرعه اختلاف معنی‌داری مشاهده شود. حتی اندازه‌گیری در زمان‌های مختلف سال نیز باعث اختلاف معنی‌دار در مقادیر K می‌شود (یاری و همکاران, ۱۳۸۹).

اندازه‌گیری مستقیم تخلخل مؤثر (f) در آزمایشگاه بسیار زمان‌بر و دشوار می‌باشد. نمودارها و روابط تجربی ساده‌ای جهت تخمین f ارائه شده است که در برخی منابع، f تنها تابعی از مقدار K (USBR-FAO, ۱۹۸۴؛ ILRI, ۱۹۷۲) و در برخی دیگر تابعی از K و درصد رس خاک معرفی شده است (Saugnac و Chossat, ۱۹۸۵). استفاده از توابع انتقالی جهت تخمین K و f در عمل نتایج رضایت بخشی نداشته و توصیه شده است در مطالعات زهکشی، ضرایب هیدرودینامیکی خاک (K و f) اندازه‌گیری شود (Stephens و همکاران, ۱۹۹۸).

اکبری و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از مدل DRAINMOD و با تکنیک حل معکوس مقدار K را تخمین زدند. پژوهش آن‌ها در زهکشی زیرزمینی منطقه بهشهر انجام شده و نتایج حاصل از تحقیق رضایت‌بخش بوده است.

سامانی و همکاران (۱۳۸۴) با ساخت مدل آزمایشگاهی راه‌حلی جهت تخمین هم‌زمان f و K ارائه نمودند. آن‌ها تغییرات f نسبت به بار آبی در وسط دو زهکش را به روش تجربی پندی (Pendy)

ویژگی‌های هیدرولیکی خاک نقش مهمی در چرخه آبی طبیعت داشته و به‌عنوان اطلاعات پایه‌ای در طراحی سامانه‌های آبیاری و زهکشی، مسائل هیدرولوژی و ارزیابی کیفیت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ویژگی‌ها به کمک روش‌های مستقیم و غیرمستقیم متفاوتی قابل اندازه‌گیری یا برآورد هستند. اندازه‌گیری مستقیم این ویژگی‌ها دشوار، هزینه‌بر و زمان‌بر است. افزون بر این، به دلیل تغییرپذیری مکانی و زمانی زیاد این ویژگی‌ها، تعداد نمونه‌های زیادی برای توصیف دقیق آن‌ها در شرایط مزرعه نیاز است (Asgarzadeh و همکاران, ۲۰۱۴). طی دهه‌های اخیر روش‌های غیرمستقیم مختلفی برای برآورد این ویژگی‌ها ارائه شده که یکی از آن‌ها روش حل معکوس است. در روش حل معکوس، ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک از طریق حل عددی معادلات مربوطه جریان، به‌صورت غیرمستقیم برآورد می‌شوند. نتایج پژوهش‌ها، کارایی زیاد این روش را در برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در آزمایش‌های مختلف جریان‌های ورودی و خروجی از ستون خاک و در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای نشان می‌دهند (Simunek و همکاران, ۱۹۹۸؛ Vanclouster و همکاران, ۲۰۰۷؛ Russo و همکاران, ۱۹۹۱).

مدل‌سازی معکوس، فرآیندی است که در آن به‌طور متوالی پارامترهای هیدرولیکی خاک به طریقی تعدیل و تنظیم می‌شوند که مدل با دقت مناسب و قابل قبولی قادر به تخمین پاسخ سیستم موردبررسی در دوره زمانی مشخص باشد. مدل HYDRUS یکی از مدل‌های پیشرفته برای شبیه‌سازی حرکت آب، املاح و گرما در خاک است (Simunek و همکاران, ۲۰۱۲). این مدل قابلیت تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را به روش معکوس دارد و محققان بسیاری از آن استفاده نموده‌اند (مشایخی و همکاران, ۱۳۹۵). درزمینه تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک با استفاده از معادله ریچاردز و تکنیک حل معکوس نیز تحقیقات زیادی انجام شده است (نخعی و همکاران, ۱۳۹۴). استفاده از مطالب گفته شده عمدتاً برای تعیین ضرایب هیدرولیکی خاک به روش حل معکوس در مسائل فیزیک خاک دلالت دارد و در مسائل زهکشی کمتر از آن‌ها استفاده می‌شود. برآورد هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از تکنیک حل معکوس معادله Hooghoudt یکی از رایج‌ترین و متداول‌ترین مسئله حل معکوس در زهکشی می‌باشد (علیزاده, ۱۳۸۹). معادله Hooghoudt که در سال ۱۹۴۰ ارائه شده است به‌صورت زیر می‌باشد:

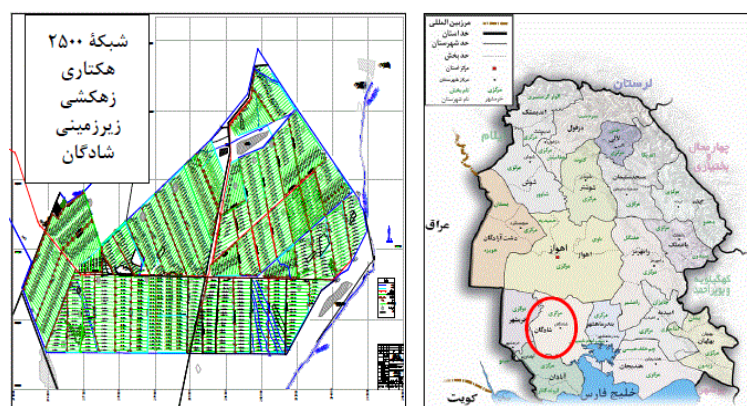
$$q = (8K_d h + 4Kh^2)/L^2 \quad (1)$$

که در آن q دبی خروجی لحظه‌ای در واحد سطح (m/d)، K هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (m/d)، d عمق معادل (m), h

مواد و روش‌ها

دشت شادگان جلگه‌ای است هموار که در حدفاصل ۱۰۰ کیلومتری جنوب شرقی اهواز و ۷۰ کیلومتری شمال شرقی آبادان در استان خوزستان واقع شده است (شکل ۱). شیب اراضی در این محدوده بسیار کم و به‌طور متوسط حدود ۰/۰۰۵ (متر بر متر) و در جهت کلی شمال شرقی به جنوب غربی است. کشت غالب منطقه گندم و وسعت دشت در حدود ۲۵۰۰ هکتار می‌باشد. اقلیم منطقه خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. از رودخانه جراحی برای تأمین آب آبیاری اراضی استفاده می‌شود. بافت خاک از عمق صفر تا ۹۰، ۹۰ تا ۱۲۰ و ۱۲۰ تا ۲۱۰ سانتیمتر به ترتیب رس سیلتی، لوم رس سیلتی و رس سیلتی می‌باشد. مشخصات خاک منطقه، آب آبیاری و آب زیرزمینی در جدول (۱) آورده شده است. به‌طور متوسط درصد توزیع بندی ذرات خاک برای ذرات رس، سیلت و شن به ترتیب ۲۹، ۵۰ و ۲۱ می‌باشد (حسن اقلی و همکاران، ۱۳۹۴).

و همکاران، ۱۹۹۲) تعیین نموده و سپس f و K را با تکنیک بهینه‌سازی و در نظر گرفتن حل معکوس از معادله گلور-دام تعیین کردند. عزیزپور و همکاران (۱۳۹۱) نیز با ساخت یک مدل آزمایشگاهی و مشابه تحقیق سامانی و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از معادله گلور-دام به روش حل معکوس و استفاده از تکنیک الگوریتم ژنتیک، مقدار بهینه f و K را به دست آوردند. نکته مهم این است که استفاده از روش‌های مستقیم اندازه‌گیری دربرگیرنده کل مزرعه و شرایط حاکم بر آن نمی‌باشد. هدف از این تحقیق، ارزیابی یک روش حل معکوس جهت تعیین ضرایب هیدرودینامیکی خاک، بدون استفاده از معادلات زهکشی غیرمادگار است. همچنین بررسی تغییرات ضرایب هیدرودینامیکی خاک با نوسانات عمق سطح ایستابی در مقیاس واقعی در مزرعه و تعیین مناسب‌ترین نوع میانگین جهت تخمین مقادیر ثابت f و K به‌منظور استفاده از معادلات زهکشی زیرزمینی، از دیگر اهداف این تحقیق می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت مکانی محدوده پروژه آبیاری و زهکشی دشت شادگان، استان خوزستان (حسن اقلی و همکاران، ۱۳۹۴)

جدول ۱- برخی از خصوصیات شیمیایی خاک، آب آبیاری و آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه (حسن اقلی و همکاران، ۱۳۹۴)

SAR	کاتیون‌ها (meq/l)		آنیون‌ها (meq/l)			pH	EC (dS/m)	نمونه
	Mg ²⁺ + Ca ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ²⁻	Cl ⁻			
۲۶/۳۹	۱۲۸	۱۹۷/۳۴	۲۸/۲۹	۴/۰۶	۲۹۴	۷/۶۱	۳۲/۱۴	خاک
۱۰/۰۶	۲۵	۳۶/۸	۱۲/۹	۳/۴۶	۳۶	۷/۷۳	۵/۷۵	آب آبیاری
۷۲	۱۶۵	۶۵۲	۵۰	۲/۵	۷۷۵	۶/۵	۶۶/۹	آب زیرزمینی

از اتمام آبیاری) که امکان رفتن به مزرعه وجود داشت، اندازه‌گیری ارتفاع سطح ایستابی بین دو زهکش و دبی خروجی زهکش مبنا (به روش حجمی) آغاز شد. اندازه‌گیری‌ها در بازه‌های زمانی مشخص ۲۴ ساعته و تا وقتی دبی خروجی از زهکش تقریباً ناچیز شود ادامه داشت. به‌طور متوسط در ابتدای اندازه‌گیری ارتفاع سطح ایستابی ۱/۵۵ متر بود (حسن اقلی و همکاران، ۱۳۹۴). در این تحقیق از داده‌های ۳ دور آبیاری استفاده شد.

فاصله بین زهکش‌های زیرزمینی دشت شادگان ۵۰ متر، عمق کارگذاری زهکش‌ها ۱/۷ متر و طول زهکش‌ها ۲۲۰ متر می‌باشد. عمق لایه غیرقابل نفوذ در منطقه و جهت محاسبه فاصله زهکش‌های زیرزمینی برابر با ۳/۵ متر نسبت به سطح زمین در نظر گرفته شده است. از پی‌زومترهای نصب شده با آرایش مناسب در حدفاصل میانی دو خط لوله زهکش جهت اندازه‌گیری نوسانات سطح ایستابی زهکش استفاده شد. در اولین زمان بعد از آبیاری (۲۴ ساعت پس

همچنین مقدار ضریب تخلخل قابل زهکشی با استفاده از رابطه (۲) تعیین شد (Taylor، ۱۹۶۰).

$$f_n(h) = (V_n - V_{n-1}) / a(h_n - h_{n-1}) \quad (2)$$

که در آن، h متوسط ارتفاع سطح ایستابی میان دو زهکش (m)، $f_n(h)$ تخلخل قابل زهکشی در نقطه‌ای که ارتفاع سطح ایستابی h باشد، V حجم آب خروجی از زهکش (m^3)، a مساحت ناحیه‌ای که حجم آب آن زهکشی می‌شود (m^2)، زیر وند n بیانگر گام زمانی اندازه‌گیری می‌باشد.

برای تخمین K از روش Skaggs (۱۹۷۶) استفاده شد. این روش براساس حل تحلیلی معادله بوزینسک می‌باشد. در این روش نسبت K به f را می‌توان با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده h و زمان (t) به دست آورد. از آنجا که مقدار f مشخص است، K نیز تعیین می‌شود. به عبارت دیگر با اندازه‌گیری سطح ایستابی در میانه دو زهکش و حجم آب خروجی از لوله زهکش و در نظر گرفتن مساحت (220×50 متر) به عنوان مساحت زهکشی می‌توان f را به دست آورد و سپس با داشتن مقادیر h و t اندازه‌گیری شده در مزرعه و مشخص بودن ضریب f می‌توان K را به روش Skaggs (۱۹۷۶) تعیین نمود. جزئیات بیشتر در منابع مذکور آمده است.

در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده در سیستم زهکشی زیرزمینی و همچنین در نظر گرفتن حل عددی معادله بوزینسک مقادیر f و K تعیین شد از این روش استفاده شده حل معکوس بود. مزیت روش ارائه شده جهت تعیین ضرایب هیدرودینامیکی خاک در این تحقیق، عدم نیاز به معادلات زهکشی و تنها استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده h و t جهت تخمین ضرایب هیدرودینامیکی خاک است. همچنین در این روش تغییرپذیری f و K نسبت به h و یا عمق سطح ایستابی (z) هم لحاظ شده است. لذا مقادیر f و K به دست آمده نسبت به (z) متغیر می‌باشد (مقادیر ثابت f و K در معادلات زهکشی غیرماندگار

به کار برده می‌شوند که با واقعیت متفاوت است). از این رو سه نوع میانگین، میانگین تابع f و K برحسب متغیر z ، میانگین وزنی K و f با وزن z و میانگین حسابی f و K محاسبه شدند. در میانگین حسابی، ارزش عددی داده‌ها یکسان است. در میانگین وزنی ارزش عددی داده‌ها یکسان نبوده و بسته به عامل وزن (عمق سطح ایستابی) است. میانگین تابع برخلاف دو میانگین اشاره شده، توزیع پیوسته داده‌ها در نظر گرفته و میانگین تابع f و K برحسب z را در بازه تغییرات عمق سطح ایستابی مشخص کرد. به منظور ارزیابی مقادیر به دست آمده f و K و همچنین میانگین‌های آن‌ها از معادله گلور اصلاح شده استفاده شد و با داشتن مقادیر اندازه‌گیری شده h و t در مزرعه و همچنین مقادیر محاسبه شده f و K ، فاصله بین دو خط زهکش تعیین شد. هر چه فاصله به دست آمده به فاصله موجود (50 متر) نزدیک‌تر باشد بیانگر دقت روش ارائه شده می‌باشد و از انحراف فاصله به دست آمده نسبت به فاصله موجود 50 متر می‌توان خطای انحراف روش شرح داده شده را تعیین نمود. معادله گلور اصلاح شده در بین معادلات زهکشی غیرماندگار از دقت بالایی برخوردار می‌باشد (Kumar و همکاران، ۲۰۱۲). معادله گلور-دام اصلاح شده به صورت زیر است (Van Schilfgaarde، ۱۹۶۳):

$$L = [(9Kd_e t) / f \ln((h_0(2d_e + h_t)) / (h_t(2d_e + h_0)))]^{0.5} \quad (3)$$

که در آن، L فاصله بین دو خط زهکش (m)، t زمان (day) و d_e عمق معادل (m) می‌باشد و از رابطه Moody (۱۹۶۶) جهت تعیین آن استفاده شد (رابطه ۴). مابقی پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.

$$d_e = D / ((8D / \pi L) \ln(D / \pi r) + 1) \quad \text{for } 0 < D/L < 1/4 \quad (4)$$

$$d_e = \pi L / (8 \ln(L / \pi r)) \quad \text{for } D/L > 1/4$$

که در آن، r قطر لوله زهکش (m) و D عمق لایه غیرقابل نفوذ (m) می‌باشد.

نتایج دیگر محققین همخوانی داشت (Kumar و همکاران، ۲۰۱۲).

$$h_t = 1.33t^{-0.48}, \quad R^2 = 0.87 \quad (5)$$

$$q_t = 0.004t^{0.51}, \quad R^2 = 0.87 \quad (6)$$

در شکل (۲) رابطه بین f و عمق سطح ایستابی نسبت به تراز زمین (z) ارائه شده است. در هر گام زمانی ۲۴ ساعته، مقدار دبی خروجی و سطح ایستابی مشخص است. از معادله (۲) مقدار f برای ارتفاع سطح ایستابی h_t به دست می‌آید. از آنجا که مجموع مقدار h_t و z_t برابر $1/7$ متر است می‌توان مقدار f را نسبت به z محاسبه کرد. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، رابطه بین f و z از توزیع توانی به صورت $f = 0.0116z^{-0.027}$ پیروی می‌کند. در خاک سنگین دشت شادگان با پایین افتادن عمق سطح ایستابی از $1/5$ متر تا $1/3$ متر، مقدار f ، 0.007 کاهش یافت. در تحقیق مشابه

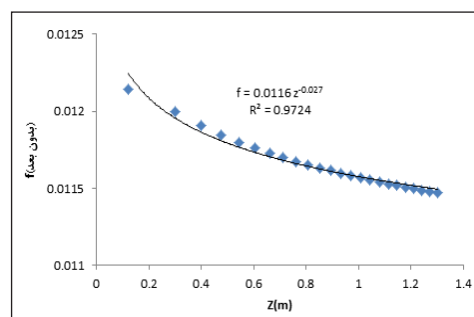
نتایج و بحث

از تقسیم میزان دبی خروجی زهکش اندازه‌گیری شده بر مساحت منطقه زهکشی شده (220×50 متر) دبی در واحد سطح محاسبه شد. خط رگرسیون مناسب برای تغییرات سطح ایستابی و دبی در واحد سطح، نسبت به زمان برازش یافت. داده‌های مورد استفاده در ترسیم و برازش خط رگرسیون، از اندازه‌گیری h و t در ۳ دور آبیاری پیاپی به دست آمده بودند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت روابط (۵) و (۶) مقدار متوسط h و q را نسبت به زمان بیان می‌کنند (فرامرزی و همکاران، ۱۳۸۴). در این تحقیق از روابط رگرسیونی برازش یافته h و q نسبت به زمان جهت محاسبه f و K استفاده شد. روند تغییرات مشاهده شده h و q نسبت به زمان، با

برای خاک سبک بافت نشان دادند که با فروکش نمودن z به اندازه $0/5$ متر، مقدار f $0/04$ افزایش یافت (Pali و همکاران، ۲۰۱۴). محدوده دامنه تغییرات و روند تغییرات f با z در خاک سنگین، در قیاس با خاک سبک بسیار متفاوت است (FAO، ۱۹۸۰). جهت تعیین مقدار متوسط تابع $f(z)$ در بازه عمق سطح ایستابی مورد مطالعه، یعنی از $0/15$ تا $1/3$ متر، از تابع $f(z)$ انتگرال گرفته شد و مطابق رابطه (۷)، مقدار متوسط تخلخل قابل زهکشی ($\bar{f}$) به صورت زیر تعیین شد:

$$\bar{f} = \frac{\int_{0.15}^{1.3} 0.0116z^{-0.027} dz}{1.3 - 0.15} = 0.0117 \quad (۷)$$

میانگین وزنی مقادیر به دست آمده f با وزن z ، $0/116$ و میانگین حسابی مقادیر f $0/118$ می باشد. برای خاک سنگین مقدار f بین $0/1$ تا $0/3$ پیشنهاد شده است (FAO، ۱۹۸۰). مقادیر متوسط به دست آمده در همخوانی با مقادیر پیشنهاد شده برای f می باشد. مزیت استفاده از روش Taylor (۱۹۶۰) برای تخمین f در واقع، لحاظ نمودن حجم بزرگی از خاک در محاسبات است که اثرات ناهمگنی و ناهمروندی خاک را نیز به حساب آورده است.



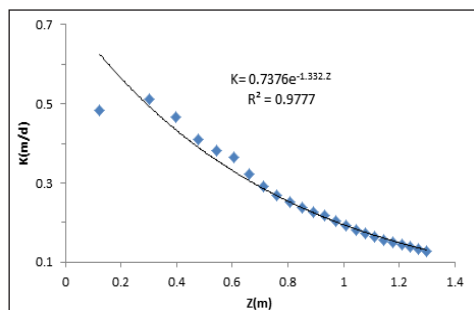
شکل ۲- متوسط تغییرات تخلخل مؤثر نسبت به عمق سطح ایستابی

با داشتن مقادیر اندازه گیری شده h و t در گام زمانی ۲۴ ساعته، نسبت K/f به روش Skaggs (۱۹۷۶) تعیین شد. در مرحله قبل f و تغییرات آن با z تعیین شده بود بنابراین می توان تغییرات K به z را نیز تعیین کرد. در شکل (۳) رابطه بین K و z نشان داده شده است. بهترین خط رگرسیون برازش یافته برای نشان دادن تغییرات K نسبت به z به صورت $K=0.7376e^{-1.332z}$ می باشد. مقدار متوسط تابع K برحسب متغیر z در محدوده دامنه تغییرات z به صورت زیر تعیین شد:

$$\bar{K} = \frac{\int_{0.15}^{1.3} 0.737e^{-1.33x} dx}{1.3 - 0.15} = 0.3093 \text{ m/d} \quad (۸)$$

که در آن $\bar{K}$ متوسط هدایت هیدرولیکی خاک می باشد. همچنین مقدار میانگین وزنی k با وزن z و میانگین حسابی k به ترتیب $0/2392$ و $0/3055$ متر بر روز می باشد. با افزایش z ، مقدار K

کاهش یافت. مطابق شکل (۳) با افزایش z از عمق $0/15$ تا $1/3$ متر، مقدار K از $0/5$ به $0/13$ متر بر روز تقلیل یافت. کاهش K ناشی از تراکم لایه های فوقانی خاک و همچنین سنگین تر شدن بافت خاک می باشد. روند تغییرات K نسبت به z در دشت شادگان مشابه نتایج کار سایر محققین بود (Pali و همکاران، ۲۰۱۴). طولانی شدن مدت زمان زهکشی خاک برای زمانی که سطح ایستابی پایین افتاده است در قیاس با موقعی که سطح ایستابی بالا است، ناشی از کاهش مقدار K می باشد. مقدار K در مطالعات زهکشی برای خاک با بافت سنگین بین $0/1$ تا $0/5$ متر بر روز توصیه شده است (FAO، ۱۹۸۰). محدوده تغییرات و میانگین های به دست آمده K در این تحقیق در همخوانی با محدوده توصیه شده فائو می باشد. مزیت عمده و نقطه قوت روش شرح داده جهت تخمین f و K ، شده استفاده از حجم بزرگی از خاک و در مقیاس مزرعه ای، در نظر گرفتن ناهمروندی خاک و عدم استفاده مستقیم از معادلات زهکشی برای حالت غیرماندگار است.



شکل ۳- متوسط تغییرات هدایت هیدرولیکی نسبت به عمق سطح ایستابی

در این تحقیق به روش حل معکوس معادله هوخهات مقدار K ، $0/625 \text{ m.d}^{-1}$ به دست آمد. مقدار f پیشنهادی متناظر با K به دست آمده از روش حل معکوس هوخهات به روش USBR-FAO، Vanbeers و Chossat & Saugnac به ترتیب برابر با $0/085$ ، $0/071$ و $0/024$ بود (USBR-FAO، ۱۹۸۴؛ ILRI، ۱۹۷۲؛ Chossat و Saugnac، ۱۹۸۵). بایستی توجه داشت روش هوخهات برای حالت ماندگار می باشد و دربرگیرنده کل جریان ورودی به داخل لوله زهکش نبوده و تنها معرف جریان اشباع خاک است (فرامرز و همکاران ۱۳۸۴). اندازه گیری مستقیم K به روش چاهک در مزرعه و در محدوده مورد آزمایش مقادیر $0/43$ تا $0/58 \text{ m.d}^{-1}$ را به دست داده است (مهندسین مشاور سامان آبراه، ۱۳۸۷). در روش چاهک، K به صورت نقطه ای تعیین می شود. مقادیر به دست آمده برای K معرف کل شرایط مزرعه ای نخواهد بود. در ادامه و به منظور ارزیابی مقادیر به دست آمده K و f ، فاصله زهکش ها با فرمول گلوک دام اصلاح شده محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- تعیین فاصله زهکش‌ها بر اساس مقادیر f و K محاسبه شده با فرمول گلو-دام اصلاح شده

$\spadesuit L$	$\clubsuit L$	$\heartsuit L$	$\bullet L$	K	f	z	t
(m)	(m)	(m)	(m)	(m.day ⁻¹)	(m ³ /m ³)	(m)	(day)
-	-	-	-	۰/۴۵۳۵	۰/۰۱۱۹۲	۰/۱۵	۰
(۵۵/۱) ۷۷/۶	(۲۸/۰) ۶۴/۰	(۱۴/۲) ۵۷/۱	^۱ (۲۹/۳) ۶۴/۷	۰/۲۷۳۹	۰/۰۱۱۶۹	۰/۳۶	۱
(-۶/۳) ۴۶/۸	(-۱/۵) ۴۹/۲	(-۱۲/۱) ۴۳/۹	(-۰/۵) ۴۹/۸	۰/۲۱۸۵	۰/۰۱۱۶۳	۰/۷۴	۲
(-۱۴/۲) ۴۲/۹	(۰/۷) ۵۰/۳	(-۱۰/۱) ۴۴/۹	(۱/۷۴) ۵۰/۹	۰/۱۹۰۸	۰/۰۱۱۶۰	۰/۹۱	۳
(-۱۶/۱) ۴۱/۹	(۵/۲) ۵۲/۶	(-۶/۱) ۴۶/۹	(۶/۳) ۵۳/۲	۰/۱۷۳۹	۰/۰۱۱۵۷	۱/۰۱	۴
(-۱۶/۲) ۴۱/۹	(۱۰/۰) ۵۵/۰	(-۱/۸) ۴۹/۱	(۱۱/۲) ۵۵/۶	۰/۱۶۲۳	۰/۰۱۱۵۶	۱/۰۸	۵
(-۱۵/۵) ۴۲/۲	(۱۴/۷) ۵۷/۳	(۲/۴) ۵۱/۲	(۱۵/۹) ۵۷/۹	۰/۱۵۳۸	۰/۰۱۱۵۵	۱/۱۴	۶
(-۱۴/۵) ۴۲/۷	(۱۹/۲) ۵۹/۶	(۶/۴) ۵۳/۲	(۲۰/۴) ۶۰/۲	۰/۱۴۷۳	۰/۰۱۱۵۴	۱/۱۸	۷
(-۱۳/۳) ۴۳/۳	(۲۳/۵) ۶۱/۷	(۱۰/۲) ۵۵/۱	(۲۴/۸) ۶۲/۴	۰/۱۴۲۱	۰/۰۱۱۵۳	۱/۲۱	۸
(-۱۲/۰) ۴۴/۰	(۲۷/۵) ۶۳/۸	(۱۳/۸) ۵۶/۹	(۲۸/۹) ۶۴/۴	۰/۱۳۷۸	۰/۰۱۱۵۳	۱/۲۴	۹
(-۱۰/۷) ۴۴/۷	(۳۱/۴) ۶۵/۷	(۱۷/۳) ۵۸/۶	(۳۲/۸) ۶۶/۴	۰/۱۳۴۲	۰/۰۱۱۵۲	۱/۲۶	۱۰
(-۹/۳) ۴۵/۳	(۳۵/۲) ۶۷/۶	(۲۰/۶) ۶۰/۳	(۳۶/۶) ۶۸/۳	۰/۱۳۱۲	۰/۰۱۱۵۲	۱/۲۸	۱۱
(-۸/۰) ۴۶/۰	(۳۸/۷) ۶۹/۴	(۲۳/۸) ۶۱/۹	(۴۰/۲) ۷۰/۱	۰/۱۲۸۵	۰/۰۱۱۵۲	۱/۳۰	۱۲

●: فاصله زهکش براساس مفهوم میانگین تابع f و K برحسب متغیر z ($K=۰/۳۰۹۳$, $f=۰/۰۱۱۷$)

♥: فاصله زهکش براساس میانگین وزنی f و K برحسب وزن z ($K=۰/۲۳۹۲$, $f=۰/۰۱۱۶$)

♣: فاصله زهکش براساس میانگین ریاضی f و K ($K=۰/۳۰۵۵$, $f=۰/۰۱۱۸$)

♦: فاصله زهکش براساس f و K متغیر

۱: اعداد نوشته شده داخل پرانتز بیانگر درصد انحراف فاصله زهکش می باشد.

روزهای انتهایی مشخص نیست. به عبارت ساده تر باگذشت زمان و فروکش کردن سطح ایستابی، مقدار K کاهش می یابد و لذا با میانگین گیری از K نمی توان آن را در معادله گلو-دام اصلاح شده لحاظ نمود زیرا باعث خطا و برآورد دست بالای L می شود. خطای حاصل از انحراف در تعیین L همچنین می تواند ناشی عدم در نظر گرفتن جز تبخیر از خاک در هنگام فرآیند زهکشی، عدم در نظر گرفتن افت ورود آب به داخل لوله زهکش و یا مربوط به فرضیات استفاده شده در معادله گلو-دام اصلاح شده باشد.

به طور کلی توصیه شده است در طراحی زهکشی در حالت غیرماندگار، سطح ایستابی از سطح زمین طی مدت ۲۴ الی ۴۸ ساعت به مقدار حداقل ۳۰ سانتیمتر فروکش نماید و مدت زمان دقیق فروکش کردن سطح ایستابی به نوع گیاه کشت شده و آستانه تحمل غرقابی گیاه دارد (Bhattacharya و Michael, ۲۰۰۳). به عبارت دیگر زمانی که سطح ایستابی نزدیک به سطح زمین است، عملکرد زهکشی زیرزمینی حالت غیرماندگار از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده و زمانی که سطح ایستابی از عمق توسعه ریشه گیاه پایین تر می رود، از اهمیت زهکش آن کاسته می شود. جهت بررسی دقیق تغییرات سطح ایستابی یا تعیین فاصله زهکش ها در هنگامی که سطح ایستابی فروکش یافته است، توصیه می شود از روش f و K متغیر استفاده شود.

در روز اول، مقدار L برای تمامی حالات مطابق جدول (۲) حدود ۱۴ تا ۷۵ درصد بیش از مقدار واقعی تخمین زده شد. در زمانی که سطح ایستابی بالا و در نزدیکی سطح زمین باشد، عوامل زیادی روی K خاک تأثیر می گذارد. از جمله این عوامل می توان به ریشه گیاهان و درختان، مدیریت اراضی کشاورزی، مواد افزودنی و کودهای آلی اضافه شده به خاک و ... اشاره کرد (Gupta, ۲۰۰۲). همچنین در روش اسگزر جهت تخمین K ، از قسمت تبخیر آب از سطح خاک در معادله بوزینسک صرف نظر شده است. زمانی که سطح ایستابی در نزدیکی سطح زمین باشد مقدار تبخیر قابل توجه خواهد بود (Upadhyaya و Chauhan, ۲۰۰۰).

برای روز دوم و سوم، میانگین حسابی (مقادیر f و K) و میانگین تابع f و K برحسب z کمترین انحراف فاصله زهکش ها را در پی داشت. در روز چهارم، هر سه نوع میانگین مطرح شده تقریباً نتیجه یکسانی داشتند. از روز ۵ام به بعد، میانگین وزنی f و K برحسب z در قیاس با دو میانگین دیگر دارای انحراف کمتری بود. از روز ۹ام به بعد در روش f و K متغیر، مقدار انحراف در برآورد L در قیاس با سه نوع میانگین f و K کمتر بود. در روزهای انتهایی به نحو قابل ملاحظه ای مقدار K کاهش یافت. در روش های میانگین گیری شرح داده شده، سهم کاهش K برای

استفاده کرد. مزیت قابل توجه روش ارائه شده در برگرفتن اثر تغییرات ناهمگنی و ناهمروندی خاک به واسطه در نظر گرفتن مقیاس واقعی خاک است.

باگذشت زمان و فروکش کردن سطح ایستابی و یا افزایش عمق سطح ایستابی (z) ضرایب f و K کاهش یافتند. استفاده از روش حل معکوس معادله هوخها برای تعیین K و سپس استفاده از روابط پیشنهادی بین f و K جهت تخمین f با خطای قابل ملاحظه ای همراه بود. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که هرکدام از میانگین ها در بازه زمانی خاصی بهترین عملکرد را دارند. میانگین حسابی و میانگین تابع f و K برای روز دوم و سوم و میانگین وزنی از روز ۵ام تا ۸ام مناسب ترین عملکرد را داشتند. از روز ۹ام به بعد در نظر گرفتن f و K متغیر بهترین عملکرد را ارائه داد.

ولی سامانی، ج. م.، همایی، م.، کوچک زاده، م. و فتحی، پ. ۱۳۸۴. روشی ساده برای تخمین توأمان هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل مؤثر خاک. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۲۳: ۱۴۳-۱۵۸.

یاری، ع.، درزی، ع.، شقاقی، م. و یاری، ر. ۱۳۸۹. مطالعه تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با زمان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۴(۱): ۲۱-۲۸.

Amoozegar A. and Warrick A. W. 1986. Hydraulic conductivity of saturated soils: Field methods. In Klute, A. (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd Ed. Agron. Monogr. 9. ASA, CSSA and SSSA. Madison, WI., 735-770.

Asgarzadeh H., Mosaddeghi M. R., Dexter A. R., Mahboubi A. A. and Neyshabouri M. R. 2014. Determination of soil available water for plants: consistency between laboratory and field measurements. Geoderma, 8: 226-227.

Bhattacharya A. K. and Michael A. M. 2003. Land drainage: principles, methods and applications. Konark Publishers Pvt. Ltd., New Delhi.

Boast C. W. and Kirkham D. 1971. Auger hole seepage theory, Soil science Society of America Journal, 35: 365-374.

Chossat J. C. and Sagnac A. M. 1985. Relation entre conductivite hydraulique et porosite de drainage mesurees par la methode du puits et des piezometres. Sci. du Sol, 1985/3.

FAO. 1980. Drainage design factors. FAO Irrigation and Drainage. Rome, Italy.

روش حل معکوس، روشی کاربردی و دقیق جهت تخمین ضرایب هیدرودینامیکی خاک است. در این تحقیق با روش حل معکوس و ترکیب دو روش تیلور و اسکگرز، مقادیر f و K برای سامانه زهکشی دشت شادگان در استان خوزستان تعیین شد. در روش ارائه شده نیاز به هیچ گونه آزمایش مستقل و جداگانه ای برای تعیین f و K نیاز نبوده و تنها با اندازه گیری ارتفاع سطح ایستابی و دبی خروجی از زهکش مبنا در بازه های زمانی روزانه مقادیر f و K تعیین شد. در تعیین ضرایب f و K از هیچ کدام از معادلات زهکشی حالت غیرماندگار استفاده نشد بنابراین از مقادیر به دست آمده برای f و K می توان برای ارزیابی انواع معادلات زهکشی حالت غیرماندگار

منابع

اکبری، م.، نظری، ب.، پارسى نژاد، م. و ابراهیمیان، ج. ۱۳۹۱. تخمین معکوس هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از مدل DRAINMOD. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۶۲: ۸۵-۹۲.

حسن اقلی، ع. ر.، اسماعیلی امینلویی، ع. و سخایی راد، ج. ۱۳۹۴. بررسی کمیت و کیفیت زهاب زهکش های زیرزمینی بدون پوشش در مقایسه با پوشش معدنی در دشت شادگان. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۹: ۲۶۴-۲۷۵.

عزیزپور، س.، فتحی، پ. و نوبخت وکیلی، ک. ۱۳۹۱. برآورد توأمان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و تخلخل مؤثر با استفاده از رویکرد مسئله معکوس هوشمند. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، نشریه علوم آب و خاک، ۶۰: ۱۳-۲۲.

علیزاده، ا. ۱۳۸۹. زهکشی جدید برنامه ریزی طراحی و مدیریت سیستم های زهکشی. دانشگاه امام رضا. مشهد.

فرامرزی، م.، مصطفی زاده، پ.، موسوی، س. ف. و ترابی، م. ۱۳۸۴. کاربرد هوخها در زهکش های زیرزمینی در منطقه رودشت اصفهان. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۶(۱): ۱۳-۱۹.

مشایخی، پ.، قربانی دشتکی، ش.، مصدقی، م. ر.، شیرانی، ح.، پناهی، م. و نوری، م. ر. ۱۳۹۵. برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک به روش معکوس با استفاده از داده های نفوذ استوانه های دوگانه. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۷: ۸۲۹-۸۳۸.

مهندسین مشاور سامان آبراه. ۱۳۸۷. گزارش خلاصه طرح ۲۵۰۰ هکتاری زهکشی زیرزمینی شهرستان شادگان. شرکت مشاور سامان آبراه.

نخعی، م.، امیری، و. و ودیعی، م. ۱۳۹۴. تخمین معکوس پارامترها و توابع هیدرولیکی خاک غیراشباع با استفاده از داده های آزمون دیسک نفوذسنج. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۴: ۳۹-۵۰.

- ology. Water Resour. Res, 27: 1361–1373.
- Simunek J., Wendroth O. and Van Genuchten M.Th. 1998. Parameter estimation analysis of the evaporation method for determining soil hydraulic properties. Soil Sci. Soc. Am. J, 62:894-905.
- Simunek J., Sejna M. and Van Genuchten M.Th. 2012. HYDRUS: model use, calibration and validation. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 55(4): 1261-1274.
- Skaggs R.W. 1976. Determination of the hydraulic conductivity-drainable porosity ratio from water table measurements. Trans ASAE, 19: 73–80.
- Snell A.W. and Van Schilfgaarde J. 1964. Four-well method of measuring hydraulic conductivity in saturated soils. Trans. ASAE, 91(7): 83-87.
- Stephens D.B., Hsu K.C., Priksat M.A., Ankeny M.D., Blandford N., Roth T.L., Kelsey J.A. and Whitworth J.R. 1998. A comparison of estimated and calculated effective porosity. Hydrogeology Journal, 6: 156-165.
- Taylor G.S. 1960. Drainable porosity evaluation from outflow measurements and its use in drawdown equations. Soil. Sci, 90: 38-345.
- Upadhyaya A. and Chauhan H.S. 2000. An analytical solution for bi-level drainage design in the presence of evapotranspiration. Journal of Agricultural Water Management, 45: 169-184.
- USBR. 1984. Drainage manual. A Water Resources Tech. Publication. Second printing. Denver, USA, US Dept. of Interior, Bureau of Reclamation, 286.
- Vanclooster M., Javaux M. and Lambot S. 2007. Recent advances in characterizing flow and transport in unsaturated soil at the core and field. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo, 3: 19-35.
- Van Schilfgaarde J. 1963. Design of tile drainage for falling water tables. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 89(2): 1-12.
- Gupta SK. 2002. A century of subsurface drainage research in India. Journal of Irrigation and drainage systems, 16(1): 69-84.
- Hooghoudt SB. 1940. Bijdragen tot de kennis Vaneenige natuurkundige Van den grand, 7. Algemeene beschonwing Van het problem Van de detail outwatering ende infiltratie door middle Van parallel loopende drains, grepples, Sloten en Kanalen. Versl Landbouwkwd Onderz, 46: 515–707.
- ILRI. 1972. Fieldbook for land and water management experts. Wageningen, Netherlands.
- King K.W., Williams M.R., Macrae M.L., Fausey N.R., Frankenberger J., Smith D.R, Kleinman P. and Brown L. 2015. Phosphorus transport in agricultural subsurface drainage: A review. Journal of environmental quality, 44(2): 467-485.
- Kumar R., Bhakar S., Jhajharia D. and Morvejalakhami B. 2012. Evaluation of drain spacing equations in the Indira Gandhi Canal command area, India. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 18(3): 186-193.
- Luthin J. N. 1966. Drainage engineering. John wiley & Sons. New York .
- Moody W. 1966. Nonlinear differential equation of drain spacing. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 92(2): 1–10.
- Pali A.K., Katre P. and Khalkho D. 2014. An unsteady subsurface drainage equation incorporating variability of soil drainage properties. Water Resources Management, 28(9): 2639-2653.
- Pendy R.S., Bhattachaya A.K., Singh O.P. and Gupta S. K. 1992. Drawdown solution with variable drainage porosity. Journal of Irrigation and Deainafe Engineering, 118 (3): 382- 396.
- Russo D., Bresler E., Shani U. and Parker J.C. 1991. Analysis of infiltration events in relation to determining soil hydraulic properties by inverse problem method-

Issues and Measures of Climate Change Mitigation from the Agricultural Production Management Aspects

N. Heydari

Associate Prof., Iranian Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Email: nrheydari@yahoo.com

Received: 24-05-2017

Accepted: 15-12-2017

مسائل و راهکارهای تسکین تغییر اقلیم از جنبه‌های مدیریت تولید در کشاورزی

نادر حیدری

دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

E-Mail: nrheydari@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۰۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۴

Abstract

The agricultural sector is one of the important economic sectors which will be affected by the climate change phenomena. On the other hand, the different activities in this sector will effect the development of climate change in the world, mainly through the increase in greenhouse gas (GHG) emissions. There are two approaches on fronting climate change. These two are "Adaptation" and "Mitigation" methods. Mitigation deals with reducing the GHGs, while in adaptation the aim is to ameliorate the unwanted impacts of climate change through a wide range of approaches and measures. This paper provides an analytical review of the literature on the subject of mitigation of climate change in the agricultural sector. Based on the results, the basic approaches of mitigation in agriculture can be identified as seven factors: 1. land use, 2. crop residue and land preparation practices, 3. policies and measures of water management, 4. irrigated agriculture and irrigation development, 5. crop residue management and conservation agriculture, 6. land drainage, and 7. green economy issues. This paper also investigates the importance of climate change mitigation and its legislation into the laws and policies of Iran (mainly the Fifth and Sixth National Development Plans). Overall, it could be concluded that the climate change measures and approaches should be implemented in an integrated manner, otherwise some of these measures, e.g., conservation agriculture, may act in two direction i.e., not in favour of climate change mitigation.

Keywords: Adaptation, Agriculture, Climate change, Measure, Mitigation

چکیده

بخش کشاورزی یکی از بخش‌های بزرگ اقتصادی است که پدیده تغییر اقلیم بر آن اثر تأثیرگذار بوده و در مقابل آن فعالیت‌های مختلف در این بخش بر ایجاد و توسعه تغییر اقلیم موثر است. در مبحث تغییر اقلیم و نحوه مواجهه با این پدیده دو رویکرد توأم و کلی وجود دارد. این دو رویکرد عبارتند از "سازگاری" (Adaptation) با آن و رویکرد دوم عبارت است از "تسکین" (Mitigation) تغییر اقلیم. "تسکین" به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط می‌باشد. درحالی‌که هدف سازگاری در درجه اول ملایم نمودن اثرات غیر قابل اجتناب ناشی از تغییر اقلیم است. در این مقاله مروری تحلیلی بر مسائل و راهکارهای مواجهه با پدیده تغییر اقلیم، صرفاً از جنبه مسائل تسکین آن و با تمرکز بر مسائل تولید در بخش کشاورزی ارائه شده است. براساس نتایج راهکارهای تسکین تغییر اقلیم مرتبط با بخش کشاورزی فاریاب را می‌توان در هفت گروه عوامل و مولفه‌های زیر شناسایی و بررسی نمود: ۱- کاربری اراضی ۲- پوشش گیاهی و شیوه تهیه زمین ۳- سیاست‌ها و راهکارهای مدیریت آب ۴- توسعه آبیاری و اراضی فاریاب ۵- بازگشت بقایای گیاهی به خاک و مسائل کشاورزی حفاظتی ۶- زهکشی اراضی ۷- بحث‌های اقتصاد سبز. این مقاله همچنین به بررسی نقش و جایگاه موضوع تسکین تغییر اقلیم در کشور از جنبه‌های توجه و جاری‌سازی آن در اسناد و قوانین بالا دستی، (به‌طور عمده برنامه‌های پنجم و ششم توسعه کشور) نموده است. در مجموع می‌توان اظهار نمود، راهکارهای سازگاری و تسکین تغییر اقلیم باید یکپارچه دیده شده، در غیراینصورت بعضی از آن‌ها ممکن است علیرغم مناسب برای سازگاری، در جهت خلاف هدف تسکین تغییر اقلیم عمل نمایند.

واژه‌های کلیدی: تسکین، تغییر اقلیم، راهکار، سازگاری، کشاورزی.

به‌طور کلی، تغییر اقلیم عبارت است از تغییر بلند مدت در شرایط آب و هوایی (تغییر در دما، بارش، باد و دیگر شاخص‌ها). این پدیده می‌تواند تغییر در میانگین شرایط آب و هوایی و در نوسانات (از جمله در وقایع حدی) را در برگیرد.

در متون هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)^۱ این پدیده می‌تواند به‌عنوان تغییر در میانگین و نوسانات ویژگی‌های اقلیم برای یک دوره طولانی (چند دهه و یا بیشتر) تعریف شود و علت آن ممکن است ناهنجاری‌های طبیعی و یا فعالیت‌های انسانی باشد. این تعبیر از آنچه در کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل متحد^۲ (UNFCCC، ۲۰۰۷؛ UNFCCC، ۲۰۱۰) ارائه شده تا حدی متفاوت است. کنوانسیون، این پدیده را مشتمل بر تغییراتی در اقلیم تلقی می‌کند که به‌صورت مستقیم و یا غیر مستقیم به واسطه فعالیت‌های انسانی ایجاد شده است، به‌نحوی که موجب تحول در ترکیبات اتمسفر جهانی گردیده و بنابراین متمایز از نوسانات طبیعی اقلیمی در گذشته می‌باشد. در ایران، دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا (زیر مجموعه سازمان حفاظت محیط زیست) تعبیر مبتنی بر دیدگاه کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل متحد را پذیرفته است (موسسه تحقیقات آب، ۱۳۹۵).

در ادبیات تغییر اقلیم، با پدیده "گرمایش جهانی" هم روبرو می‌شویم. سؤال این است که تفاوت و مشترکات گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در چیست؟ گرمایش جهانی تنها به افزایش دمای سطح زمین اشاره دارد، درحالی‌که منظور از تغییر اقلیم، گرمایش و اثرات جانبی آن (هم‌چون ذوب یخچال‌های طبیعی، طوفان‌های شدیدتر یا خشکسالی‌های متناوب‌تر) است. گرمایش جهانی امروزی یکی از عوارض فعالیت‌های انسان و بسیار گستره‌تر از تغییر اقلیم می‌باشد (موسسه تحقیقات آب، ۱۳۹۵).

کشاورزی یکی از فعالیت‌های اقتصادی کشور است که در سالیان متمادی دگرگونی‌های عمیقی در ساختار آن پدید آمده است. گسترش اراضی بدون توجه به قابلیت‌های سرزمین و منطقه، تخریب پوشش گیاهی و فرسایش خاک ناشی از توسعه اراضی در مراتع و دیم‌زارهای کم‌بازده و اراضی شیب دار و بعضی از اراضی تحت کشت آبی کشور موجب ناپایداری این منابع، کاهش تولید و تنزل کیفیت خاک و توان تولید آن‌ها شده است.

پراکندگی روستاها در پهنه کشور، دوری آن‌ها از مراکز شهری، صعب‌العبور بودن راه‌های دسترسی و بسته بودن همین راه‌ها در فصول سرد سال، کمبود حمل و نقل مناسب، بالا بودن هزینه تهیه سوخت فسیلی، وجود دام‌مازاد از ظرفیت بازدهی تولید در جنگل‌ها و مراتع، معیشتی بودن اقتصاد خانوارهای روستایی و اتکا بیش‌ازحد آن‌ها به منابع طبیعی و زیست محیطی از جمله عوامل بروز ناپایداری در فعالیت‌های مختلف کشاورزی و محیط زیست قلمداد می‌گردند (سند ملی برنامه ششم توسعه، ۱۳۹۴). رشد سریع جمعیت در دهه‌های

اخیر و تغییرات الگوهای مصرف محصولات کشاورزی، دولت و مسئولین را در مقابل انبوهی از نیازهای غذایی، زیربنایی و به‌طور کلی فضای زیستی و معیشتی قرار داده که این موضوع مستلزم فشار بیشتر بر منابع پایه به‌ویژه در بخش کشاورزی است. بخش کشاورزی ناچار است جهت حفظ پایداری نظام کشاورزی و تأمین نیازهای غذایی رو به افزایش کشور از یک سو عملکرد محصولات زراعی را در واحد سطح افزایش دهد، از طرف دیگر توسعه بی‌رویه اراضی کشاورزی را در عرصه‌های طبیعی که از توان لازم برای توسعه متمرکز برخوردار نیستند، محدود نماید. در واقع توسعه کشاورزی بدون در نظر گرفتن شاخص‌های مناسب پایداری منابع پایه و محیط زیست، روند آینده آن را با مخاطراتی مواجه می‌سازد. این موضوع به‌ویژه در ایران که از شرایط سخت اکولوژیکی نظیر کمبود منابع آب، محدودیت اراضی مناسب جهت توسعه کشاورزی و همچنین رشد سریع جمعیت و ضعف تکنولوژیکی مواجه است بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

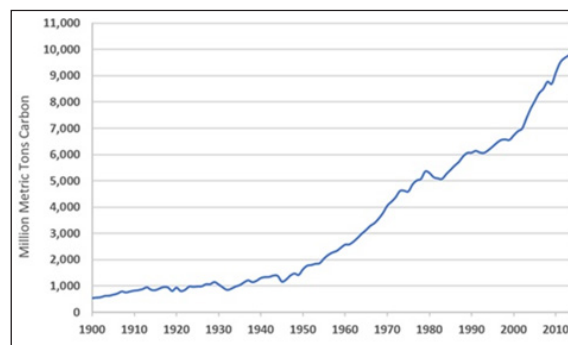
انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل فعالیت انسان از جمله شاخص‌های توسعه پایدار که بر بحث محیط زیست تمرکز دارد، می‌باشد. اقتصاد سبز رویکرد جهانی است برای دستیابی به توسعه پایدار که در آن به مسایل زیست محیطی تأکید دارد. اقتصاد سبز رویکردی است که شامل ابعاد سه گانه اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی می‌باشد. ابعاد اجتماعی به موضوعات رفاه بشری، عدالت اجتماعی، کاهش نابرابری، افزایش کیفیت زندگی، توسعه اجتماعی، دسترسی عادلانه و پرداختن به نیازهای زنان و جوانان اشاره دارد. ابعاد اقتصادی نیز شامل رشد در درآمد و اشتغال، سرمایه‌گذاری‌های خصوصی و عمومی، اقتصاد انعطاف پذیر، رشد اقتصادی و فعالیت‌های جدید اقتصادی می‌باشد. ابعاد زیست محیطی به کاهش خطرات زیست محیطی و کمیابی آن، کاهش کربن، کارایی منابع و منابع کارآمد، کاهش انتشار کربن و آلودگی، افزایش بهره‌وری انرژی و منابع، جلوگیری از نابودی تنوع زیستی و اکوسیستم و مسئولیت‌پذیری در قبال محیط زیست تأکید دارد (سند ملی برنامه ششم توسعه، ۱۳۹۴).

در پاسخ به تغییر اقلیم، دو رویکرد حاکم می‌باشد که عبارت است از تسکین^۳ و سازگاری^۴. این دو رویکرد هم‌اکنون به‌طور جدی در دستور کار IPCC قرار دارد. البته نحوه برخورد با آن تا حد زیادی تابع مقیاس مکانی-زمانی است که در آن تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرد. به این معنی که بخشی از پاسخ‌ها تنها در مقیاس جهانی قابل انجام هستند و بخشی تنها در مقیاس محلی. در تعریف پاسخ‌های فوق، "تسکین" مربوط به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. درحالی‌که هدف سازگاری در درجه اول ملایم نمودن اثرات غیر قابل اجتناب ناشی از تغییر اقلیم است که از طریق طیف گسترده‌ای از اقدامات در یک سیستم آسیب‌پذیر مورد توجه قرار می‌گیرد.

در این مقاله با استناد به منابع معتبر جهانی مروری تحلیلی بر مسائل و راهکارهای مواجهه با پدیده تغییر اقلیم از جنبه مسائل تسکین آن و با تمرکز بر مسائل تولید در بخش کشاورزی ارائه شده است.

مهم‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان به ترتیب سهم آن‌ها در تولید گاز، به هفت گروه شامل: تأمین و عرضه انرژی، تولید صنعتی، تغییر کاربری اراضی و تخریب جنگل، فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری، حمل و نقل، ساختمان‌های تجاری و مسکونی، و تولید پسماند و فاضلاب و زباله طبقه‌بندی می‌شوند (FAO، ۲۰۰۸؛ سند ملی برنامه ششم توسعه، ۱۳۹۴). تعریف^۵ (IPCC، ۲۰۱۴) بخش‌های اقتصادی تولید کننده گازهای گلخانه‌ای و سهم آن‌ها در تولید این گازها مقداری متفاوت از تعریف فائو است. براساس (IPCC، ۲۰۱۴) بخش‌های اقتصادی تولید کننده گازهای گلخانه‌ای شامل الکتريسيته و توليد گرما (۲۵٪)، کشاورزی، جنگل و سایر کاربری‌های اراضی (۲۴٪)، ساختمان و مسکن (۶٪)، حمل و نقل (۱۴٪)، صنعت (۲۱٪)، و سایر مصارف انرژی (۱۰٪) است. ملاحظه می‌شود که سهم فعالیت‌های مختلف در انتشار گازهای گلخانه‌ای متفاوت است اما آنچه بیش از همه حائز اهمیت است تولید انرژی، تولید صنعتی، کشاورزی و شیوه کاربری اراضی است.

باید اذعان نمود که روند تولید گازهای گلخانه‌ای در جهان در دهه‌های اخیر روبه افزایش بوده است. در شکل (۱) روند تغییرات تولید گاز دی اکسید کربن (میلیون تن) از منابع سوخت‌های فسیلی طی دوره زمانی ۱۹۰۰ الی ۲۰۱۴ میلادی نمایش داده شده است.



شکل ۱- روند تولید گازهای از نوع کربن (میلیون تن) ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در جهان طی سال‌های ۱۹۰۰ الی ۲۰۱۴ میلادی (Boden و همکاران، ۲۰۱۷ a)

براساس شکل (۱) انتشار گاز کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی از سال ۱۹۰۰ به بعد افزایش خیلی زیادی داشته است. از سال ۱۹۷۰ انتشار گاز دی اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و سایر فرایندهای صنعتی مختلف افزایشی حدود ۹۰ درصد داشته که آن به تنهایی عامل ۷۸ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۱ بوده است. در این میان کشاورزی، جنگل‌زدایی، و سایر تغییرات کاربری اراضی نیز مقام دوم را در این افزایش گازهای گلخانه‌ای در این دوره داشته اند.

علاوه بر تقسیم‌بندی سهم بخش‌های اقتصادی مختلف، سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای براساس کشورهای جهان، بر اساس آمار سال ۲۰۱۴ تنها شش کشور چین (۳۰٪)، ایالات متحده (۱۵٪)، اتحادیه اروپا (۹٪)، هندوستان (۷٪)، فدراسیون روسیه (۵٪)، و ژاپن (۴٪)، در مجموع ۷۰ درصد گاز دی اکسید کربن جهان را تولید نموده و سهم سایر کشورها فقط ۳۰ درصد بوده است (Boden و همکاران، ۲۰۱۷ b). در این برآوردها، آمار مرتبط با انتشار و یا جذب گازهای گلخانه‌ای ناشی از کاربری اراضی لحاظ نشده است، اما تغییرات در کاربری اراضی می‌تواند مهم باشد. برآوردها حاکی از آن هستند که خالص انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از کشاورزی، جنگل، و سایر کاربری‌های اراضی در ابعاد جهانی معادل ۸ میلیارد تن تولید گاز دی اکسید کربن و یا حدود ۲۴ درصد کل گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته در جهان است.

براساس منابع علمی انتشار گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن مربوط به کشور ایران طی سال‌های ۱۹۹۰ الی ۲۰۰۱ میلادی بین ۲۰۰ الی ۳۷۰ میلیون تن تغییر افزایشی مستمر داشته است و در سال ۲۰۱۵ این مقدار به ۶۳۰ میلیون تن رسیده است. همچنین سرانه تولید گاز دی اکسید کربن در دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ بین ۳/۶ تا ۸/۰ تن بر هر نفر تغییر نموده که باتوجه به رشد ۴۱ درصدی جمعیت کشور طی این مدت، حاکی از رشدی معادل ۱۲۳ درصد برای سرانه تولید گاز و ۲۱۴ درصد رشد کل تولید گاز در این مدت است (Olivier و همکاران، ۲۰۱۶).

به فعالیت‌های بخش کشاورزی می‌توان از دو منظر یعنی هم تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای و هم کاهش‌دهنده (تسکین دهنده) آن، نگریست. بخش کشاورزی مجموعه فعالیت‌های زراعی، باغی، دام و طیور، شیلات و صید، جنگل و مرتع می‌باشد. براساس طبقه‌بندی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) بخشی از دامنه تولید گازهای گلخانه‌ای کشاورزی که اطلاعات آماری آن برای محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای به کارگرفته می‌شود، به شرح زیر می‌باشد: تخمیر روده، مدیریت کود کشاورزی، کاشت برنج، کاربرد کودهای شیمیایی، کود پاشی خاک، کود به جا مانده از حیوانات در مراتع، باقی مانده‌های محصول، کشت در خاک‌های ارگانیک (با مواد آلی زیاد)، سوزاندن-ساوانا، سوزاندن-باقی مانده‌های محصول، و مصرف انرژی در کشاورزی (برای کاربرد ماشین‌های کشاورزی در عملیات کاشت و داشت و برداشت، پمپاژ آب، آبیاری تحت فشار و غیره).

براساس محاسبات فائو و اطلاعات آماری ارائه شده طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱، انتشار سالانه گازهای آلاینده‌های کشاورزی از رقم ۴۶۸۴ تن در سال ۲۰۰۱ به رقم ۵۳۳۵ تن معادل دی اکسید کربن در سال ۲۰۱۱ رسیده که در حدود ۱ درصد رشد سالانه داشته است. با مقایسه ارقام رشد دو دهه مشاهده می‌شود در دهه ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ نسبت به دهه ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ رشد ۶ درصدی داشته است. یعنی

تولید گازهای گلخانه‌ای بیشتری ناشی از مجموعه فعالیت‌های بخش کشاورزی در جهان انتشار یافته است. در مقابل کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در فعالیت‌های جنگل‌داری و سایر کاربری اراضی دیده می‌شود به طوری که از رقم میانگین ۵۷۹۹ تن معادل دی‌اکسیدکربن در دهه ۱۹۹۰ به میانگین ۴۹۸۷ تن در دهه ۲۰۰۰ بالغ شده که در حدود ۱۴ درصد کاهش نشان می‌دهد. در ایران اطلاعات نشان می‌دهد که تولید گازهای گلخانه‌ای بخش کشاورزی از ۴۳ تن در سال ۲۰۰۱ به رقم ۴۱ تن معادل دی‌اکسیدکربن در سال ۲۰۱۱ رسیده که روند کاهشی داشته و حدود ۰/۸ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهان را به خود اختصاص داده است (سند ملی برنامه ششم توسعه، ۱۳۹۴).

تسکین تغییر اقلیم برای جلوگیری از ایجاد مشکلات جدی در سیستم‌های تولید غذا و تأمین معیشت جوامع و جلوگیری از افزایش سریع جمعیت گرسنگان جهان (مردم با ناامنی غذایی)، در دراز مدت ضروری است. به طور تاریخی، تبدیل اراضی از جنگل به مرتع و یا اراضی زراعی و همچنین فعالیت‌های کشاورزی و تولید زیاد دام از عوامل مهم در تأمین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن تغییر اقلیم در شرایط کنونی بوده‌اند. با این وجود سیستم‌های غذایی دارای قابلیت‌های زیادی برای تسکین تغییر اقلیم هستند. علاوه بر این بسیاری از راهکارهای مؤثر سازگاری با تغییر اقلیم، به خصوص برای زنجیره انتهایی تولید غذا، راهبردهای بسیار مؤثر سازگاری با تغییر اقلیم را برای کشاورزی تجاری عرضه می‌دارد (FAO، ۲۰۰۸). بنابراین سرمایه‌گذاری در فعالیت‌های مناسب برای تسکین تغییر اقلیم در بخش‌های غذا و کشاورزی می‌تواند اثرات

راهکارهای تسکین تغییر اقلیم مرتبط با بخش کشاورزی

در ادامه تعدادی از راهکارهای تسکین تغییر اقلیم مرتبط با فعالیت‌های بخش کشاورزی ارائه شده است. نکته‌ای که باید در اینجا مد نظر داشت آن است که تعدادی از راهکارهای تسکین تغییر با سازگاری با تغییر اقلیم در ارتباط با یکدیگر هستند. به عبارت دیگر واکنش‌های سازگاری و تسکین تغییر اقلیم در بخش کشاورزی می‌تواند به طور همزمان انجام شوند. اثرگذاری آن‌ها بستگی به الگوی تغییر اقلیم درک شده در دهه‌های آینده دارد. روابط متقابل بین این عوامل، یعنی تغییر اقلیم، سازگاری با آن و تسکین تغییر اقلیم اغلب منابع آب را درگیر خود می‌نماید. راهبردهای سازگاری و تسکین تغییر اقلیم ممکن است همخوانی و همسویی باهم داشته باشند. زیرا هر کدام از آن‌ها یکدیگر را تقویت و پشتیبانی می‌کنند و یا می‌توانند در تلفیق و تفاهم با یکدیگر سازنده باشند. از نقطه نظر آب، مثال‌هایی از راهبردهای سازگاری که گزینه‌های تسکین را کاهش می‌دهند، به میزان زیادی مرتبط با بحث آبیاری محصولات کشاورزی هستند.

و منافع چندگانه برای تأمین امنیت غذایی و همچنین مشارکت در پایداری بازارهای جهانی غذا داشته و فرصت‌های اشتغال زیادی را در بخش کشاورزی تجاری ایجاد نماید و از این طریق پایداری سیستم‌های حساس معیشت جوامع را نیز افزایش دهد. این قبیل فعالیت‌های مناسب و پیشگیرانه برای تسکین تغییر اقلیم و در حوزه تأمین غذا برای امنیت غذایی عبارتند از (FAO، ۲۰۰۸):

- کاهش انتشار گاز CO₂:

از طریق کاهش تغییر اراضی جنگلی به اراضی مرتعی یا زراعی، کنترل مناسب آتش در جنگل‌ها، انتخاب گزینه‌های مناسب برای جلوگیری از آتش زدن بقایای گیاهی پس از برداشت محصول، توسعه کشاورزی صنعتی و کشت و صنعت‌ها.

- کاهش انتشار گازهای متان (CH₄) و اکسید نیتروژن (N₂O):

از طریق مدیریت مناسب آب در شالیزارها، مدیریت مناسب فضولات دامی، کاربرد مناسب کودهای شیمیایی در اراضی زراعی، تصفیه فاضلاب‌های شهری به منظور تغذیه آبخوان‌ها و استفاده برای آبیاری در کشاورزی.

- ترسیب کربن در خاک:

از طریق فعالیت‌هایی نظیر بهبود مدیریت بقایای گیاهی، استفاده از روش کشاورزی حفاظتی، ایجاد پوشش گیاهی دائم بر روی خاک، کاهش عملیات خاکورزی و کاهش تناوب زراعی (که در مجموع به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی کمک می‌نمایند)، استفاده از اراضی نامرغوب برای توسعه جنگل‌ها و برداشت چوب و یا سایر محصولات گیاهی سلولزی و کاشت درختانی که به ترسیب کربن کمک می‌نمایند.

آن همچنین از نقطه نظر هزینه‌های انرژی مورد نیاز، توزیع آب، و تولید گازهای گلخانه‌ای مرتبط (که می‌تواند وابسته به فعالیت‌های کشت و خاک‌ورزی اصلاح شده باشد) نیز مرتبط است. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر برای پمپاژ و توزیع آب، می‌تواند تا حد زیادی این تضاد بین راهبرد سازگاری و تسکین تغییر اقلیم را کاهش داده و تعدیل نماید. تعدادی از راهبردهای تسکین نیز می‌تواند تبعات منفی بر سازگاری با تغییر اقلیم داشته باشد. مثلاً افزایش وابستگی به گیاهان تولید کننده انرژی (بحث سوخت زیستی Bio-fuel) که می‌تواند در رقابت با منابع آب باشد، سبب کاهش تنوع زیستی و در نتیجه افزایش آسیب پذیری به وقایع حدی تغییر اقلیم می‌شود. از طرفی دیگر بسیاری از فعالیت‌های جذب و جداسازی کربن^۷ نظیر فعالیت‌های مرتبط با خاک‌ورزی کمینه^۸ افزایش پوشش گیاهی و کاربرد تناوب‌های زراعی^۹ مناسب، منجر به سیستم‌های تولیدی می‌شوند که به تغییرات اقلیمی تحمل‌پذیری بیشتری داشته و بنابراین سازگاری مناسبی در شرایط فشار بر منابع آب و خاک در شرایط تغییر اقلیم را فراهم می‌آورند (Bates و همکاران، ۲۰۰۸).

۱- نقش کاربری اراضی در تسکین تغییر اقلیم:

طبق IPCC به طور کلی شش نوع محتمل از کاربری زمین را می توان طبقه بندی نمود که شامل کاربری جنگل، کاربری زراعی (کشاورزی)، مراتع و علفزارها، تالابها، مناطق سکونتی و سایر می باشند. تغییر کاربری اراضی (نظیر تغییر کاربری از کشاورزی به مرتع) ممکن است سبب تغییرات در میزان کربن جو شده و لذا سبب تأثیرات مختلفی در میزان منابع آب شود (Bates و همکاران، ۲۰۰۸). برای تغییر کاربری اراضی، به استثنای تأثیرات تغییر کاربری تبدیل اراضی به جنگل بر روی منابع آب، IPCC اطلاعات کمی در خصوص تغییر به سایر کاربری ها و اثرات آن بر منابع آب در اختیار دارد.

احیا تالاب ها و برکه ها به عنوان یکی از راهکارهای تسکین تغییر اقلیم در بخش کشاورزی^{۱۰} منجر به بهبود کیفیت آب و کاهش سیلاب خواهد گردید. شیوه عملیات زراعی و تهیه زمین برای تسکین تغییر اقلیم نیز ممکن است اثرات مختلفی در میزان منابع آب داشته باشد. بسیاری از روش هایی که با هدف اصلی حفظ کربن خاک به کار برده می شوند (نظیر خاک ورزی کمینه^{۱۱}، افزایش پوشش گیاهی و استفاده بیشتر از گیاهان زراعی دائمی و چندساله)، همچنین کمک به کاهش فرسایش خاک نموده و دارای منافع نیز برای بهبود کیفیت آب و هوا می باشند. البته باید متذکر شد که این فعالیت ها ممکن است در بعضی مناطق سایر اثرات معکوس و نامطلوب نیز داشته باشد. این اثرات منفی محتمل می تواند به عنوان نمونه افزایش آلودگی منابع آب زیرزمینی با عناصر غذایی (مثلاً نیترات) و یا آلودگی با آفت کش ها به دلیل شستشوی آن ها در روش های خاک ورزی کمینه باشد. اثرات منفی این فعالیت ها با هدف جذب کربن هنوز کاملاً قطعی و یا کمی نشده اند و هنوز معلوم نیست اثرات منفی آن ها تا حدی باشند که منافع زیست محیطی حاصل از ترسیب کربن^{۱۲} را خنثی نمایند.

گروهی از فعالیت های کشاورزی معروف به کشاورزی متراکم^{۱۳} منافع جانبی و فرعی زیادی در تسکین تغییر اقلیم دارند که مهم ترین آن افزایش یا حفظ تولید غذا (امنیت غذایی) است. این فعالیت ها ضمن بالا بردن عملکرد و تولید، بقایای گیاهی را نیز به خاک بر می گرداند و شامل موارد زیر هستند (Bates و همکاران، ۲۰۰۸): تناوب های مناسب زراعی، کمتر آیش گذاشتن زمین و عدم رها کردن خاک بدون پوشش گیاهی، کشت گیاهان زراعی با پوشش وسیع، کشت ارقام گیاهی با عملکرد بالا، مدیریت تلفیقی آفات و بیماری های گیاهی، کاربرد مناسب کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای آلی، آبیاری درست، مدیریت سطح ایستایی، و مدیریت های خاص هر منطقه.

منافع زیست محیطی حاصل از فعالیت های فوق می تواند شامل کنترل فرسایش، حفاظت آب، بهبود کیفیت آب و کاهش رسوب وارده به مخازن سدها و آبراهه ها باشد. البته کیفیت منابع آب و خاک می تواند متقابلاً با استفاده بیش از حد از نهاده های کشاورزی و یا آبیاری بی رویه و با راندمان های پائین کاهش یابد.

استفاده مناسب و موثر از کودهای شیمیایی اثرات منفی بر کیفیت آب نخواهد داشت. علاوه بر آن فعالیت های کشاورزی که میزان انتشار اکسید نیتروژن (N_2O) را کاهش می دهند، اغلب راندمان کاربرد نیتروژن از این منبع و سایر منابع (نظیر کودهای حیوانی) را افزایش داده و در نتیجه سبب کاهش انتشار گازهای گلخانه ای (GHG)^{۱۴} از کارخانه های تولید کود شیمیایی و به تبع آن جلوگیری از آلودگی منابع آب و هوا از آلودگی های نیتروژن می شود (Bates و همکاران، ۲۰۰۸). کاربرد سیستم های توام کشاورزی- جنگل^{۱۵} (کاشت درختان در اراضی زراعی) می تواند منافع چندگانه ای برای تسکین تغییر اقلیم داده باشد، از آن جمله تأمین انرژی برای جوامع روستایی، که همخوانی و هم نوایی بین توسعه پایدار و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای ایجاد می نماید.

فعالیت های کشاورزی که تلاش دارند تا انتشار گازهای گلخانه ای را کاهش دهند، اثرات مثبت و منفی بر حفاظت منابع آب و کیفیت آن دارند. به عنوان نمونه درحالی که راهکارهایی افزایش کارایی مصرف آب (WUE)^{۱۶} (نظیر کاربرد فناوری خاک ورزی کمینه) را ترغیب و ترویج می نمایند و دارای منفعی نیز می باشند، ولی این راهکارها به صورت بالقوه و درموردی منجر به افزایش مصرف آب و در نتیجه کاهش جریان های سطحی و یا تغذیه به آبخوان ها می شوند. یا در مورد دیگر مانند مدیریت کشت برنج، به طور کلی اثرات مثبتی بر کیفیت آب از طریق کاهش مقدار مواد آلوده کننده شیمیایی ورودی به زهکش ها دارد.

۲- نقش مدیریت پوشش گیاهی و شیوه تهیه زمین در تسکین تغییر اقلیم:

ترسیب کربن در اراضی کشاورزی یک گزینه کوتاه مدتی است که غلظت گاز گلخانه ای دی اکسید کربن در اتمسفر را کاهش می دهد. برخی از روش های مدیریتی برای کاهش هدررفت کربن عبارت از کاهش شدت شخم، افزایش دوره های آیش و تناوب زراعی و همچنین استفاده از محصولات زراعی زمستانه می باشند (Fabrizzi و همکاران ۲۰۰۷). از جمله عوامل منتشر کننده انواع گازهای گلخانه ای به ویژه گاز دی اکسید کربن به اتمسفر، نظام های زراعی می باشند. از طرفی کربن آلی خاک به عنوان مهم ترین ذخایر کربن خشکی ها به حساب می آید. به همین دلیل اعمال هرگونه مدیریت دی اکسید کربن در خاک، می تواند در افزایش و کاهش آن مؤثر باشد. (مختاری و همکاران، ۱۳۹۵) به منظور ارزیابی تأثیر مدیریت خاک ورزی (با تیمارهای شخم عمیق با گاوآهن برگردان دار و شخم نیمه عمیق از نوع "چیزل"^{۱۷}) (شخم عمودی توسط تیغه های فرورونده در خاک)، در شرایط کاربرد کودهای آلی و شیمیایی بر میزان کربن آلی خاک در زراعت گیاه ذرت، تحقیقی را در منطقه بسطام شاهرود انجام دادند. براساس نتایج آن ها می توان با کاهش خاک ورزی و کاربرد نهاده های آلی هم چون ورمی کمپوست به تنهایی و به صورت توأم با کود شیمیایی اثرات

مخرب زیست محیطی ناشی از گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد. در تحقیق دیگری با هدف برآورد و مقایسه میزان ترسیب کربن خاک و میزان فرسایش‌پذیری خاک در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم) در دشت آق‌قلا در استان گلستان، نتایج مربوط به ترسیب کربن، نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین سیستم بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی با سیستم خاک‌ورزی مرسوم، وجود دارد (روحی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱).

روش شخم حفاظتی^{۱۸} اصطلاح جدیدی است که شامل دامنه وسیعی از روش‌های شخم مرسوم نظیر شخم از نوع چیزل، شخم با ایجاد پشته، شخم با ایجاد شیار، شخم با حفظ پوشش گیاهی خاک به عنوان مالچ گیاهی و کشاورزی بدون کاربرد شخم می‌باشد. کاربرد و بومی‌سازی روش شخم حفاظتی مزایای فرعی و جانبی زیادی نیز دارد. از مزایای مهم این روش می‌توان، کنترل آب، کنترل فرسایش خاک، حفظ رطوبت خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، کاهش کوبیدگی خاک، افزایش نگهداری

مواد شیمیایی (کودها) توسط خاک، تهویه خاک و بهبود کیفیت آب و خاک، افزایش تنوع زیستی خاک، افزایش میکروارگانیسم های خاک، کاهش مصرف انرژی، کاهش فرسایش و رسوب در مخازن و آبراهه‌ها، و فراهم آوردن امکان کشت دوم و در نتیجه افزایش عملکرد محصول و بهره‌وری در واحد سطح مزرعه را نام برد (Bates و همکاران، ۲۰۰۸).

۳- اثرات سیاست‌ها و راهکارهای مدیریت آب در انتشار گازهای گلخانه‌ای و تسکین تغییر اقلیم:

فعالیت‌های تسکین تغییر اقلیم در بخش‌های مختلف تأثیراتی بر روی منابع آب دارد. در مقابل سیاست‌ها و راهکارهای مدیریت آب می‌تواند با انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با هر بخش مصرف کننده آب و در نتیجه در راهکارهای هر بخش در تسکین تغییر اقلیم مؤثر باشد. در جدول (۱) اثرات مدیریت آب بر انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از بخش‌های مختلف مصرف آب، با استناد به منابع جهانی ارائه شده است.

جدول ۱- اثرات مدیریت آب بر انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از بخش‌های مختلف مصرف آب (Bates و همکاران، ۲۰۰۸)*

بخش مصرف کننده آب	کیفیت شیمیایی/بیولوژیکی	کمیّت متوسط تقاضا	میزان آب	
	درجه حرارت		رطوبت خاک	آب سطحی
انرژی	انرژی زمین گرمایی (۷) [+]	سدهای آبی (۱) [+/-]	آبیاری	سدهای آبی (۱) [+/-]
		(۲) [-]		
		(۷) [+]		
		(۸) [-]		
کشاورزی		سدهای آبی (۱) [-]	آبیاری	(۲) [+/-]
			بازگشت بقایای گیاهی	(۳) [+]
فاضلاب و پساب	فاضلاب تصفیه شده (۵) [+/-]			

* راهنمای جدول به قرار زیر می‌باشد: [-]: افزایش گازهای گلخانه‌ای (تأثیر منفی)، [+]: کاهش گازهای گلخانه‌ای (اثر مثبت)، [-/+]: می‌تواند بسته به شرایط سبب افزایش یا کاهش گازهای گلخانه‌ای شود (اثر مثبت)، (۱): انرژی برقابی به سوخت‌های فسیلی نیاز ندارد و لذا منبع مهمی برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر است. اخیراً ردپای^{۱۹} گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص از لحاظ ایجاد گاز متان سدهای آبی مورد سؤال و تردید قرار گرفته است. (۲): کاربرد راهکارهای آبیاری مؤثر می‌تواند به ذخیره و ترسیب کربن در خاک از طریق افزایش عملکرد محصول و بازگشت بقایای گیاهی به خاک کمک نمایند. اما تعدادی از این دستاوردها و منافع حاصله می‌تواند توسط انتشار گاز CO₂ از مصرف انرژی برای توزیع آب خنثی شود. آبیاری محصولات از طرفی می‌تواند انتشار گازهای متان (CH₄) و اکسید نیتروژن (N₂O) را بسته به شرایط خاص شدت دهد. (۳) بازگرداندن بقایای گیاهی به خاک برای افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک به ترسیب کربن در خاک ناشی از افزایش بهره‌وری گیاه و کاهش تنفس خاک کمک نماید. (۴) زهکشی اراضی در مناطق مرطوب می‌تواند به افزایش بهره‌وری و در نتیجه افزایش کربن خاک کمک نماید و شاید آن همچنین به کاهش انتشار گاز اکسید نیتروژن (N₂O) با بهبود تهویه خاک کمک نماید. البته هر مقدار تلفات نیتروژن از طریق زهکشی، ممکن است به‌صورت گاز مضر N₂O تلف شده باشد. (۵) بسته به طراحی و مدیریت تسهیلات و امکانات (تصفیه فاضلاب، و فناوری‌های تصفیه فاضلاب)، انتشار بیشتر و یا کمتر گازهای متان و اکسید نیتروژن را ممکن است داشته باشیم. مهم‌ترین منابع ایجادکننده گازهای گلخانه‌ای از فاضلاب هستند. این انتشار می‌تواند در تمام مراحل ایجاد تا تخلیه فاضلاب، ایجاد شوند، اما درعمل بیشتر انتشارات گاز در بالا دست سیستم اتفاق می‌افتد. (۶) شوری‌زدایی آب نیازمند مصرف انرژی بوده و بنابراین باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. (۷) استفاده از انرژی زمین گرمایی^{۲۰} برای مقاصد گرم کردن، در مقایسه با سایر روش‌های تولید انرژی، انتشار گاز گلخانه‌ای ندارد.

۴- آبیاری و تسکین تغییر اقلیم:

لازم به ذکر است در حوزه آب بخش کشاورزی (آبیاری) حدود ۱۸٪ اراضی زراعی جهان فاریاب می‌باشند. گسترش این مقدار (درجایی که منابع آب امکان آن را فراهم نماید) و یا استفاده از راهکارهای آبیاری خوب و موثر، می‌تواند منجر به افزایش ذخیره کربن در خاک از طریق افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و همچنین افزایش بازگشت بقایای گیاهی به خاک شود. مقداری از این مزایا و منافع حاصله می‌تواند به دلیل ایجاد گاز CO_2 ناشی از مصرف انرژی (نظیر استفاده از انرژی‌های فسیلی) برای انتقال و توزیع آب و یا به خاطر انتشار اکسید نیتروژن (N_2O) از خاک دارای رطوبت و همچنین کاربرد کودهای ازته شیمیایی، خنثی شود. اگرچه هنوز اثرات بعدی آن‌ها به‌طور گسترده و جامع اندازه‌گیری نشده است (Bates و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین گسترش کشت برنج در تالاب‌ها^۳ ممکن است سبب افزایش انتشار گاز متان (CH_4) از خاک شود که اثرات نامطلوبی از لحاظ سیاست تسکین تغییر اقلیم دارد.

۵- بازگشت بقایای گیاهی به خاک و تسکین تغییر اقلیم:

در تمام دنیا رقابت علف‌های هرز با گیاهان زراعی برای جذب آب یکی از دلایل خسارت و حتی از بین رفتن عملکرد محصولات است. پیشرفت‌ها در روش‌های کنترل علف‌های هرز و همچنین مکانیزاسیون کشاورزی، اجازه داده است تا شرایط کنونی روش‌های کاشت کم‌خاک‌ورزی^۳ و یا بی‌خاک‌ورزی^۳ برای کشت گیاهان زراعی امکان‌پذیر شود. این عملیات که منجر به حفظ بقایای گیاهی در خاک و در نتیجه کاهش مصرف آب آبیاری از طریق تلفات تبخیر می‌شود، امروزه به‌صورت گسترده‌ای در جهان استفاده می‌شود. از آنجایی که بهم‌خوردگی خاک از طریق روش‌های شخم مرسوم منجر به تلفات کربن خاک ناشی از افزایش تجزیه بقایای گیاهی می‌شود، روش کاشت کم‌خاک‌ورزی یا بی‌خاک‌ورزی اغلب منجر به حفظ کربن خاک (البته نه همیشه

و نه در همه شرایط) می‌شود. کاربرد روش‌های کم‌خاک‌ورزی و یا بی‌خاک‌ورزی همچنین بر انتشار گاز اکسید نیتروژن (N_2O) تأثیرگذار است. اما اثرات معلوم و مرتبط این روش‌ها بر میزان انتشار گاز N_2O هنوز کاملاً مشخص و یا هم جهت نبوده و در منابع علمی به آن‌ها اشاره و یا ارجاع داده نشده است. البته اثر کاربرد این روش‌های کشاورزی (کم‌خاک‌ورزی و در مجموع کشاورزی حفاظتی) بر انتشار گاز N_2O بستگی به شرایط خاک و اقلیم محل نیز دارد. در بعضی مناطق، مناطق کم‌خاک‌ورزی انتشار گاز N_2O را افزایش داده درحالی‌که در جایی دیگر ممکن است انتشار این گاز را کاهش و یا تأثیر غیر قابل اندازه‌گیری بر آن داشته باشد. روش‌های کم‌خاک‌ورزی می‌توانند انتشار گاز دی اکسید کربن (CO_2) را از نقطه نظر کاهش انرژی مصرفی در عملیات کشاورزی نیز کاهش دهند. سیستم‌هایی که بقایای گیاهی را در خاک به‌جا می‌گذارند، همچنین می‌توانند کربن خاک را به دلیل اینکه این بقایای گیاهی تجزیه شده و منشا مواد آلی خاک می‌شوند و به‌دنبال آن منبع ذخیره اصلی کربن در خاک می‌شوند، افزایش دهند. روش‌های اجتناب از سوزاندن بقایای گیاهی (نظیر برداشت مکانیزه نیشکر، حذف روش سوزاندن بقایای گیاهی قبل از عملیات تهیه زمین و یا سوزاندن قبل از عملیات برداشت محصول) از انتشار گازهای گلخانه‌ای و غبار غلیظ ناشی از آتش زدن جلوگیری می‌نماید. اگرچه انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت (برای کاربرد ماشین آلات) ممکن است افزایش یابد (Bates و همکاران، ۲۰۰۸).

۶- زهکشی اراضی و تسکین تغییر اقلیم:

زهکشی اراضی در مناطق مرطوب می‌تواند موجب افزایش تولید محصولات کشاورزی و در نتیجه افزایش کربن خاک شود. همچنین علاوه بر کاهش انتشار گاز CO_2 به کاهش انتشار گاز N_2O از طریق افزایش تهویه خاک کمک نماید. تلفات نیتروژن از طریق زهکشی می‌تواند تلفات به شکل N_2O باشد (Bates و همکاران، ۲۰۰۸).

تغییرات رو به افزایش آب و هوایی و افزایش فراوانی و شدت وقایع حادی از راه‌های زیر قابل انجام است: مدیریت ریسک کلی، مدیریت ریسک مرتبط با زیست بوم‌های مختلف، تحقیق و ترویج ارقام گیاهی و فعالیت‌های اصلاح ارقام منطبق با تغییرات اقلیمی، معرفی و کاشت درختانی که غذا (از طریق میوه)، علوفه و انرژی تولید می‌نمایند (به‌جای زراعت) و همچنین منجر به افزایش درآمد جوامع محلی می‌شود. لذا می‌توان نتیجه‌گیری نمود که از جنبه‌های سازگاری و تسکین تغییر اقلیم توسعه باغات و کشت گیاهان دائمی نسبت به زراعت و کشت‌های سالانه، از لحاظ مصرف انرژی (سوخت‌های فسیلی) برای عملیات زراعی، مضرات بهم‌خوردن خاک و آزاد شدن گاز CO_2 و غیره ارجح است.

راهکارهای سازگاری و تسکین تغییر اقلیم از جنبه‌های محیط زیستی و اقتصاد سبز

تعریف IPCC از سازگاری با تغییر اقلیم عبارت است از تعدیلات و تنظیمات در سیستم‌های طبیعی و یا انسانی برای واکنش به تحرکات و یا تأثیرات فعلی یا مورد انتظار اقلیمی که می‌تواند اثرات زیان‌بار را تعدیل نموده و یا فرصت‌های سودمندی را فراهم آورد (FAO، ۲۰۰۸). فائو فعالیت‌های زیر را برای سازگاری با تغییر اقلیم و تسکین آن در ارتباط با کشاورزی و حفظ امنیت غذایی پیشنهاد می‌نماید که به رویکرد راهبردی فائو موسوم است (FAO، ۲۰۰۸):
- حفاظت منابع محلی تأمین غذا، دارایی‌ها و معشیت مردم در برابر

- جلوگیری از ایجاد انحراف و یا کاهش در تأمین غذا در سطوح محلی و ملی ناشی از تغییرات در درجه حرارت هوا و رژیم بارشها از راههای زیر قابل انجام است: مدیریت مناسب آب کشاورزی (در کل)، مدیریت مناسب آب آبیاری در شالیزارها، بهبود مدیریت اراضی کشت شده، استفاده از فناوریهای جدید که از لحاظ مصرف انرژی صرفه جوی باشند (با توسعه کشت و صنعتها).

- حفاظت از زیست بومها از طریق ارائه خدمات محیط زیستی از قبیل: استفاده از اراضی تخریب شده و یا اراضی فقیر از لحاظ حاصلخیزی برای ایجاد جنگلهای مصنوعی تولیدی و یا سایر مواد گیاهی سلولزی به عنوان سوخت جایگزین، کاشت درختانی که به ترسیب کربن در خاک کمک می کنند (CDM)^{۳۴}، فعالیت های آبخیزداری، جلوگیری از تخریب اراضی و حفاظت از تنوع زیستی.

پیش بینی های فعلی برای رشد اقتصادی تا سال ۲۰۳۰ میلادی و بعد آن حاکی از افزایش مستمر تقاضا برای پروتئین حیوانی در جهان ناشی از افزایش متوسط درآمد در کشورهای در حال توسعه می باشد. این امر منجر به افزایش تقاضا برای آب و تا حد کمتری زمین به منظور تأمین علوفه برای پرورش دام خواهد شد. افزایش تقاضا برای پروتئین حیوانی به همراه کمبود منابع آب، زمین و سوخت (انرژی) که می تواند منجر به افزایش قیمت های غذا حتی در شرایط بدون تغییر اقلیم نیز شود، در تلفیق با اثرات تغییر اقلیم فشار مضاعفی بر منابع آب وارد نموده که می تواند موجبات افزایش بیشتر قیمت غذا در جهان را فراهم آورد. با توجه به افزایش قیمت غذا در آینده و افزایش هشدارها در خصوص نتایج زیست محیطی انتخاب نوع غذا و سبد غذایی، ممکن است آحاد جامعه روش و عادت خوردن و صرف هزینه برای غذای خود را تغییر دهد. طرفداران محیط زیست ممکن است الگوی مصرف غذای خود را تغییر داده و رژیم غذایی خود را متکی به تولیدات محلی و با رد پای کربن^{۳۵} کمتر نمایند و لذا نسبت به کاهش مصرف غلات و محصولات دامی در رژیم غذایی خود اقدام نمایند. موارد محتمل از تغییر الگوی مصرف جامعه در آینده عبارتند از (FAO، ۲۰۰۸): جابجایی در غذاهای اصلی مورد مصرف روزانه مردم، جابجایی از محصولات دائمی تغذیه شونده از غلات، افزایش مصرف مواد غذایی جدید، کاهش مصرف غذاهای حیوانات وحشی^{۳۶} و کاهش مقدار و یا نوع غذاهای مصرفی.

همچنین علاوه بر انطباق الگوی مصرف غذا برای حصول به مقدار کافی از غذا، ضروری است تا تنظیمات و تغییراتی برای حفظ کیفیت رژیم غذایی جامعه نیز ایجاد شود. اینها شامل موارد زیر هستند (FAO، ۲۰۰۸): حفاظت از تنوع زیستی و بهره برداری مناسب از غذاهای حیات وحش، ترویج و گسترش باغات درون منازل و مدارس، افزایش کاربرد روش های پخت خشک برای حفظ آب، فعالیت های صرفه جویی کننده انرژی و بهداشتی در آماده سازی غذا و آموزش رفتارهای خوردن مناسب برای کاهش سوء تغذیه و بیماری های مرتبط با رژیم غذایی نامناسب.

یکی از راهبردهای مقابله با چالش های پیش روی بخش کشاورزی، توجه به اقتصاد سبز و مولفه های آن است. در مستندات برنامه پنجم توسعه و افق چشم انداز ۱۴۰۴ سیاست های اجرایی که منجر به اقتصاد سبز می شود، ارائه شده است. مواد قانونی برنامه پنجم توسعه که مستقیم و غیرمستقیم به کاهش کربن در بخش کشاورزی اشاره نموده است به شرح زیر هستند: بندهای الف، ب، ج، د، ه، و، ز، ح، ط، ی ماده ۱۴۳ و ماده ۱۴۴، ماده ۱۹۴، بندهای الف، ب، ج، د و تبصره های ۱ و ۲ ماده ۱۰۱، ماده ۱۳۳، ماده ۱۳۴، ماده ۱۳۸، ماده ۱۳۹، بندهای الف، ب، ج، د، ه، ماده ۱۴۰، بندهای الف، ب، ج، د، ه، ماده ۱۴۱، ماده ۱۴۶، بندهای الف، ب، ج، د، ه، ماده ۱۴۷، الف، ب، ج، د، ه، و، ز، ماده ۱۴۸، و بندهای الف، ب، ج و تبصره های ۱ و ۲ ماده ۱۴۹. مصادیق اقتصاد سبز در برنامه پنجم توسعه به شرح زیر معرفی شده اند (سند ملی برنامه ششم توسعه، ۱۳۹۴):

- کاهش و استفاده بهینه از آب به منظور صرفه جویی در مصرف انرژی
- توسعه فناوری های نوین به منظور کاهش مصرف انرژی و استفاده از انرژی های پاک
- نوسازی فناوری و تجهیزات و ماشین آلات به منظور کاهش مصرف انرژی
- انطباق و سازگاری و اجرایی نمودن سیاست های سبز در بخش فناوری
- اصلاح الگوی کشت، ساختار تولید و نظام بهره برداری به منظور کاهش و استفاده بهینه از انرژی و استفاده از انرژی پاک در تولید
- کاهش و مصرف بهینه انرژی
- استفاده از انرژی های پاک با بکارگیری وسایل حمل و نقل با فناوری سبز

تعدادی از طرح ها و اقدامات کاهش کربن در طول برنامه پنجم به قرار زیر بوده اند^{۳۷}: اجرای روش های نوین آبیاری، اصلاح و بهبود روش های سنتی آبیاری، به هنگام و اجرایی نمودن سند ملی الگوی مصرف بهینه آب کشاورزی، بهره برداری و نگهداری از سازه های آب و آبیاری، پایش اثربخشی پروژه های آب و خاک، ارتقا ضریب مکانیزاسیون کشاورزی، جایگزینی ماشین های فرسوده، توسعه مکانیزاسیون برنج، اصلاح ساختار واحدهای صنایع تبدیلی و تکمیلی بخش کشاورزی و توسعه و تجهیز ناوگان حمل و نقل شبکه، و کمک های فنی و اعتباری (سند ملی برنامه ششم توسعه، ۱۳۹۴).

همچنین برای افق چشم انداز ۱۴۰۴ عناوین تعدادی از طرح ها و اقدامات کاهش کربن به شرح زیر معرفی شده اند (سند ملی برنامه ششم توسعه، ۱۳۹۴): تجهیز و نوسازی اراضی مدرن، تجهیز و نوسازی اراضی سنتی، توسعه سیستم های آبیاری تحت فشار، افزایش راندمان آبیاری، توسعه جنگل و جنگل کاری، مرتعداری و تولید علوفه، حفاظت، حمایت از طرح اصلاح کاربری اراضی و تهیه و تجدید نظر طرح های جنگلداری.

توجه به محیط زیست و اقتصاد سبز به خصوص در قوانین و سیاست‌های برنامه پنج ساله توسعه تازه مصوب شده کشور یعنی برنامه ششم توسعه نیز زیاد بوده است. به عنوان نمونه در محور حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی و جلوگیری از تخریب منابع آب خاک، و محیط زیست در مقابل تغییر اقلیم مواد ۴۱ (بندهای د، و ز)، ۴۵ و ۴۵ ژ، و ماده ۴۸ (بندهای الف، د، ذ، ر، ز، ژ، ش) به این موضوع پرداخته است. در ماده ۴۸ تصریح شده است: "دولت موظف است اقدامات زیر را جهت حفاظت از محیط زیست به عمل آورد":

الف- نظارت بر ارزیابی راهبردی محیط زیست (SEA) در سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه‌ای و ارزیابی اثرات زیست محیطی (EIA) پروژه‌ها و طرح‌های بزرگ کلیه دستگاه‌های اجرایی و بخش‌های خصوصی براساس شاخص‌ها، ضوابط و معیارهای پایداری محیط زیست.

د- احیا، توسعه، و غنی‌سازی جنگل‌ها در سطح هشتصد و پانزده هزار هکتار

ذ- اجرای عملیات آبخیزداری و حفاظت از خاک و آبخوان حداقل در سطح ده میلیون هکتار

ر- بیابان‌زدایی و کنترل کانون‌های بحرانی آن حداقل در سطح یک میلیون و یکصد و چهل هزار هکتار

ز- تهیه نقشه‌های حد نگاری (کاداستر) منابع طبیعی حداقل یکصد و چهارده میلیون هکتار و اراضی کشاورزی حداقل بیست میلیون هکتار با رعایت قانون حد نگار (کاداستر)

ژ- ارتقا پوشش صد درصد (۱۰۰٪) حفاظت از جنگل‌ها، مراتع، و اراضی ملی و دولتی و مناطق چهارگانه زیست محیطی با مشارکت جوامع محلی و ارتقای ضریب حفاظت از جنگل‌ها و مراتع کشور

نتیجه‌گیری

سازگاری با تغییر اقلیم و تسکین آن دو رویکرد اساسی در مواجهه با پدیده تغییر اقلیم هستند. این دو رویکرد و راهکارهای مرتبط باید در تلفیق با یکدیگر و با جامع‌نگری‌های لازم مورد استفاده قرار گیرند.

انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از فعالیت‌های انسان (کشاورزی، صنعت، خدمات، و ...) از شاخص‌های توسعه پایدار، توجه به محیط زیست، و اقتصاد سبز می‌باشند که نقش مهمی در تسکین تغییر اقلیم دارند. براساس منابع علمی سهم بخش کشاورزی در تولید گازهای گلخانه‌ای حدود ۱۴ درصد است. بنابراین توجه کافی و سرمایه‌گذاری لازم برای تسکین تغییر اقلیم در بخش‌های کشاورزی و تولید غذا حایز اهمیت است. فعالیت‌های مناسب و پیشگیرانه برای تسکین تغییر اقلیم در حوزه کشاورزی و تامین غذا شامل

ش- اجرای برنامه مدیریت سبز شامل مدیریت مصرف انرژی، آب، مواد اولیه، تجهیزات و کاغذ، کاهش مواد جامد زائد و بازیافت آن‌ها. همچنین در سایر قوانین و اسناد بالادستی کشور نیز به موضوع تسکین تغییر اقلیم پرداخته شده است. به عنوان نمونه به این موضوع در ضوابط ملی آمایش سرزمین توجه شده است که طی آن تصریح شده است "تنوع بخشی در منابع تولید انرژی و افزایش سهم انرژی تجدیدپذیر (به‌ویژه بادی و خورشیدی) در تولید و تأمین بهینه انرژی هر منطقه از کشور متناسب با ظرفیت هر منطقه". و یا در معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور طی نامه شماره ۱۲۶۱۴۳ مورخ ۱۳۹۲/۱۰/۲۰ خطاب به آقای مهندس حجتی وزیر جهاد کشاورزی اعلام می‌دارد: "پیرو جلسه امور آمایش و توسعه منطقه‌ای با جناب‌عالی در خصوص تدوین ضوابط ملی آمایش سرزمین و مباحث مربوط به اثرات تغییر اقلیم بر محیط زیست، منابع آب و کشاورزی به پیوست گزارش سازمان حفاظت محیط زیست تحت عنوان «رخدادهای حاصل از فرایند گرم شدن زمین در کشور و تهدیدهای ناشی از آن» و همچنین خلاصه‌ای از گزارش وزارت نیرو در خصوص «وضعیت منابع آب در کشور با تأکید بر پدیده تغییر اقلیم و بحران آب» جهت استحضار ارسال می‌گردد".

بحث سندالحاق جمهوری اسلامی ایران به پروتکل کاهش گازهای گلخانه‌ای (پروتکل پاریس) نیز در کشور مطرح است. در تاریخ ۱۳۹۵/۸/۲۳ مجلس شورای اسلامی لایحه الحاق ایران به پروتکل کاهش گازهای گلخانه‌ای موسوم به پروتکل پاریس را تصویب نمود و به دولت اجازه داد تا این پروتکل را امضا نماید. با امضا پروتکل عملاً کشور ایران یکصد و ششمین کشوری می‌بود که به عضویت این پروتکل درمی‌آمد. براساس تعهدات این پروتکل، کشور ایران باید گازهای گلخانه‌ای تولیدی خود را تا ۴ درصد کاهش دهد.^{۲۸}

کاهش انتشار گازهای دی‌اکسیدکربن (CO_2)، متان (CH_4)، اکسید نیتروژن (N_2O) و ترسیب کربن در خاک می‌باشد. مولفه‌های مذکور می‌تواند در بخش‌ها و فعالیت‌های مرتبط با کاربری اراضی؛ مدیریت پوشش گیاهی و تهیه زمین؛ سیاست‌های مدیریت آب در کشاورزی فاریاب؛ کشاورزی حفاظتی و بازگشت بقایای گیاهی به خاک؛ و زهکشی اراضی تجلی یابد.

در خصوص تسکین تغییر اقلیم، اقتصاد سبز و محیط زیست، در قوانین و اسناد بالادستی (نظیر برنامه‌های پنجم و ششم توسعه کشور) توجه نسبتاً مطلوبی شده است. اما میزان تحقق برنامه‌ها و ارزیابی عملکرد در این زمینه‌ها نیاز به بررسی و تحقیق بیشتری دارد. الحاق کشور ایران به پروتکل کاهش گازهای گلخانه‌ای، موسوم به پروتکل پاریس، بحث چالشی است که علی‌رغم موافقت اصولی دولت و مجلس شورای اسلامی با آن، هنوز موضوع در کشور به تصویب نهایی نرسیده است.

آلی و شیمیایی در زراعت ذرت. پایان‌نامه، مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

موسسه تحقیقات آب. ۱۳۹۵. تدوین راهبردها و برنامه ملی سازگاری با تغییر اقلیم در بخش آب. گزارش ۱: مفاهیم، تجارب و رویکردهای سازگاری با تغییر اقلیم. پژوهشکده منابع آب، موسسه تحقیقات آب، معاونت آب و آبفا دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، وزارت نیرو.

Bates B., Kundzewicz Z.W., Wu S. and Palutik, J. 2008. Climate change and water. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Technical paper VI, IPCC Secretariat, Geneva, 210.

Olivier J.G.J., Janssens-Maenhout G., Muntean M., and Peters J.A.H.W. 2016. Trends in Global CO₂ emissions: 2016 report., 2016. ©PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. The Hague, 2016, PBL publication number: 2315, European Commission, Joint Research Centre, Directorate Energy, Transport & Climate, JRC Science for Policy Report no. 103428.

Boden T.A., Marland G. and Andres R.J. 2017 a. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

Boden T.A., Marland G. and Andres R.J. 2017b. National CO₂ Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2014, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy.

Fabrizzi K.P., Rice C.W., Schlegel A., Peterson D., Sweeney D.W. and Thompson C. 2007. Soil Carbon Sequestration in Kansas: Long-Term Effect of Tillage, N Fertilization, and Crop Rotation. Kansas State University, 1-44.

FAO. 2008. Climate change and food security: A framework document. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

IPCC. 2014. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva.

UNFCCC. 2007. Climate change: impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries. United Nations Framework Convention on Climate Change.

UNFCCC. 2010. Synthesis report on efforts undertaken to monitor and evaluate the implementation of adaptation projects, policies and programmes and the costs and effectiveness of completed projects, Policies and programmes, and views on lessons learned, good practices, gaps and needs. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

- 1-Intergovernmental Panel on Climate Change
- 2-United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)
- 3- Mitigation
- 4- Adaptation
- 5- Intergovernmental Panel of Climate Change_ Forth Assessment Report
- 6- Intensive
- 7- Carbon-sequestration
- 8- Reduced tillage
- 9- Crop rotation

۱۰- البته در کشور ایران در بخش محیط زیست

- 11- Reduced tillage
- 12- Carbon sequestration
- 13- Intensified agriculture
- 14- Greenhouse gases
- 15- Agro-forestry systems
- 16- Water use efficiency
- 17- Chisel
- 18- Conservation tillage
- 19- Footprint
- 20- Geothermal
- 21- Wetland rice
- 22- Zero tillage
- 23- No-tillage
- 24- Clean development mechanism
- 25- Carbon foot print
- 26- Wild foods

۲۷- بررسی درصد تحقق آن‌ها نیاز به بررسی عملکرد این برنامه دارد.

۲۸- براساس اطلاعات این مصوبه مجلس شورای اسلامی از سوی شورای محترم نگهبان هنوز تأیید نشده است.

منابع

روحی‌مقدم، ع، بصیرانی، ن، عسگری، ح.ر، و فخیره، ا. ۱۳۹۱. تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی بر ترسیب کربن و برخی شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک در دشت آق‌قلا. پایان‌نامه، مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل.

سند ملی برنامه ششم توسعه بخش کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳۹۴. ویرایش دوم، مؤسسه پژوهش‌های برنامه ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی، تهران.

مختاری، ف، اصغری، ح.ر، عباس دخت، ح. و برادران فیروزآبادی، م. ۱۳۹۵. تأثیر خاک‌ورزی بر ترسیب کربن در شرایط استفاده از کودهای

The Need for Making Urban Drainage Systems Resilient to Uncertain Future Changes

N. Binesh¹, M.H. Niksokhan^{2*}, A. Sarang³

1,2,3- PhD Candidate in Environmental Engineering, Associate Professor & Assistant Professor, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Iran.

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

Received: 29-07-2016

Accepted: 23-06-2017

لزوم بازگشت‌پذیر ساختن سیستم‌های زهکشی شهری تحت شرایط غیر قطعی آینده

نگین بینش^۱، محمدحسین نیک‌سخن^{۲*}، امین سارنگ^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری مهندسی محیط‌زیست، دانشیار و استادیار، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۰۸

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۰۲

Abstract

Nowadays, resilience has become increasingly important as a novel approach for enhancing preparedness, increasing the adaptability in coping with flood occurrence, and decreasing the vulnerability of flood-prone communities due to undesirable effects of floods in urban catchments. Resiliency refers to the ability of a system to absorb and recover from a disruption. Despite the significant advances in achieving a sustainable urban water management worldwide, urban drainage systems are progressively being threatened by future uncertain drivers. Therefore today, making urban drainage systems resilient to floods has become an essential task around the world in order to increase the long-term sustainability of urban communities. After an introduction to the resilience concept and its applicability in the context of water resources infrastructures, this paper discusses the urban drainage system resilience under the effects of future uncertain conditions (due to climate change and urban development), and investigates quantifying such systems' resistance to flooding. The paper reviews some important researches on the subject, and discusses the appropriate methods related to applying the resilience approach to integrated urban drainage management. Finally, conclusions will be offered according to presented discussions, the necessity of using an integrated perspective in managing urban runoff and floods, paying attention to sustainability criteria, and also the necessity of taking preferences into account in decision making on using sustainable drainage techniques, considering the condition of the studied region will be emphasised.

Keywords: Resilience, Sustainability, Urban drainage, Runoff.

چکیده

امروزه با توجه به اثرات مخرب سیل بر روی حوضه‌های شهری، بازگشت‌پذیری به عنوان رویکردی نوین در افزایش آمادگی و افزایش پایداری و سازگاری در مواجهه با وقوع سیلاب و کاهش آسیب‌پذیری جوامع در معرض خطر سیل، اهمیت ویژه‌ای یافته است. بازگشت‌پذیری یک سیستم به معنای توانایی آن در جذب اختلالات وارد شده و بازایی آن پس از وقوع شکست می‌باشد. با وجود پیشرفت‌های قابل توجهی که تاکنون در سراسر جهان برای رسیدن به مدیریت پایدار آب شهری صورت گرفته، سیستم‌های زهکشی شهری به طور فزاینده‌ای توسط محرک‌های غیرقطعی متعدد در رابطه با تغییرات آینده تهدید می‌شوند. بنابراین امروزه در بسیاری از نقاط جهان بازگشت‌پذیر ساختن سیستم‌های زهکشی رواناب شهری نسبت به سیل با هدف افزایش پایداری بلند مدت جوامع شهری، امری ضروری است. این مقاله پس از معرفی مفهوم بازگشت‌پذیری و کاربرد آن در رابطه با زیرساخت‌های منابع آب، به طور خاص بازگشت‌پذیری سیستم زهکشی شهری در رابطه با اثرات شرایط غیرقطعی آینده (ناشی از تغییرات اقلیمی و توسعه شهری) و کمی‌سازی بازگشت‌پذیری این سیستم‌ها نسبت به سیل را بحث و بررسی می‌کند. همچنین چگونگی به کارگیری روش‌های مناسب در رابطه با اعمال رویکرد بازگشت‌پذیری در مدیریت یکپارچه زهکشی شهری بحث می‌شود. در نهایت ضرورت به کارگیری دید جامع و یکپارچه در مدیریت سیل و رواناب‌های شهری و نیز توجه به معیارهای پایداری در این رابطه و لزوم در نظر گرفتن اولویت‌های تصمیم‌گیری در استفاده از رویکردهای زهکشی پایدار با توجه به شرایط منطقه مورد نظر، شرح داده شده است.

واژه‌های کلیدی: بازگشت‌پذیری، پایداری، زهکشی شهری، رواناب.

زیرساخت‌های مهم شهری، از جمله شبکه زهکشی رواناب، تحت عدم قطعیت‌های متعددی ناشی از تغییرات اقلیمی، مسائل اجتماعی و توسعه کاربری‌های مختلف شهری قرار دارند. بنابراین بازگشت‌پذیر ساختن سیستم‌های زهکشی شهری نسبت به سیل، امری ضروری در جهت ارتقاء پایداری بلند مدت مناطق شهری و برای به حداقل رساندن آثار و پیامدهای سیلاب، تحت شرایط غیر قطعی تغییرات آینده اقلیمی و توسعه شهری محسوب می‌شود (Butler و Davies، ۲۰۱۱؛ Djordjević و همکاران، ۲۰۱۱؛ Blockley و همکاران، ۲۰۱۲؛ Gersonius و همکاران، ۲۰۱۳). در واقع می‌توان گفت که مهمترین شاخص در اندازه‌گیری بحران و میزان موفقیت سیاست‌های مدیریت بحران، شاخص برگشت‌پذیری می‌باشد (Karamouz و همکاران، ۲۰۰۳).

مفهوم بازگشت‌پذیری، در برگرنده تغییر از رویکرد سنتی "شکست ایمن" به دیدگاه جامع "ایمنی در برابر شکست" می‌باشد که البته پیش‌بینی‌های شکست سیستم را تحت شرایط استثنائی که در طراحی در نظر گرفته نشده و ممکن است در طول عمر طراحی سیستم رخ دهد، نیز می‌پذیرد (Ahern، ۲۰۱۱؛ Francis و Bekera، ۲۰۱۴). در زمینه مدیریت سیل شهری، بازگشت‌پذیری می‌تواند تحت عناوینی چون صلابت، قابلیت احیاء و بازیابی سیستم در طول عمر طراحی آن، در هنگام مواجهه با شرایط استثنائی و بحرانی تعریف شود. صلابت اشاره دارد به اینکه سیستم زهکشی شهری تا چه میزان بزرگی شکست رخ داده در کارایی و سطح خدمات‌رسانی خود را، هنگام مواجهه با شرایط بحرانی کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، قابلیت احیاء و بازگشت بیانگر آن است که سیستم تا چه حد "مدت زمان" شکست در کارایی و سطح خدمات‌رسانی خود را هنگامی که در طول عمر طراحی، در معرض شرایط استثنائی (بحرانی) قرار می‌گیرد، کاهش می‌دهد (McDaniels و همکاران، ۲۰۰۸؛ Francis و Bekera، ۲۰۱۴). در ادامه به تشریح مفهوم بازگشت‌پذیری و کاربرد آن در موارد مختلف، جهت نیل به اهداف پایداری سیستم پرداخته می‌شود.

لازم است که درک اولیه‌ای از تعاریف مختلف (و بعضاً متضاد) بازگشت‌پذیری، و عوامل تعیین کننده آن داشته باشیم.

بر طبق یکی از مهمترین این تعاریف که متناسب با بحث مورد نظر این مقاله می‌باشد، بازگشت‌پذیری معیاری است از ظرفیت یک سیستم در جذب اختلالات و تطبیق با شرایط استثنائی رخ داده، به طوریکه با همان ساختار اولیه، پابرجا باقی بماند (Holling، ۱۹۷۳؛ Walker و همکاران، ۲۰۰۴؛ Cumming و همکاران، ۲۰۰۵). در واقع بازگشت‌پذیری معیاری است از اینکه پس از مواجهه با یک وضعیت نامطلوب و رخداد شکست، سیستم با چه سرعتی احتمال

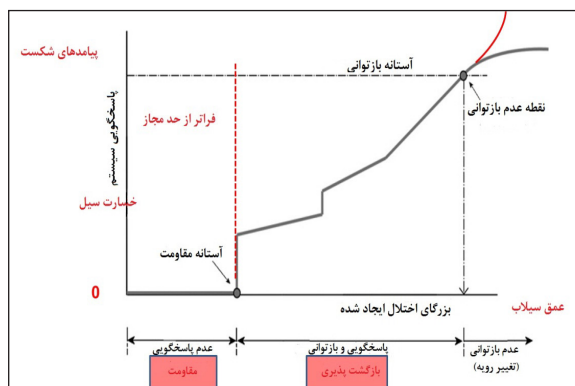
توسعه شهری و تغییرات اقلیمی دو نیرو محرکه تغییرات هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبریز، و از مهمترین عوامل ایجاد عدم قطعیت در تصمیم‌گیری‌های مربوط به طرح‌ها و پروژه‌های زمان حال و برنامه‌ریزی برای دوره زمانی آینده می‌باشد. بر طبق برآورد صورت گرفته در مطالعات مختلف، تغییرات اقلیمی، اغلب افزایش رخداد‌های بارش حدی و افزایش بار آلودگی و مواد مغذی را به دنبال دارد. از سوی دیگر توسعه شهری، قابلیت بازگشت‌پذیری و توانایی اکوسیستم‌های طبیعی برای مهار وقایع حدی چون سیلاب، امواج گرمایی، و کمبود آب و خشکسالی را کاهش می‌دهد (Berte و Panagopoulos، ۲۰۱۴). بسیاری از دانشمندان، افزایش تعداد و شدت طوفان‌ها، از جمله طوفان سندی و کاترینا در آمریکا را که سبب تخریب گسترده‌ای شدند، ناشی از عدم توانایی اکوسیستم برای دفاع از خود در مقابل سوانح طبیعی می‌دانند. اکوسیستم‌های شهری باید قدرت و بازگشت‌پذیری لازم را برای حفاظت خود در مقابل حوادث طبیعی آتی داشته باشند. بنابراین امروزه نیاز به رویکردی در برنامه‌ریزی و مدیریت سیلاب شهری است که بازگشت‌پذیری سیستم را مد نظر قرار دهد. سیستم‌های زهکشی رواناب به عنوان یکی از مهمترین زیرساخت‌های آبی در شهرها که وظیفه مقابله با سیل شهری را بر عهده دارند، تحت تأثیر محرک‌های غیر قطعی آینده چون تغییرات اقلیمی می‌باشند (Malaekpour و همکاران، ۲۰۱۳؛ Tahmasebi Birgani و Yazdandoost، ۲۰۱۳). به عقیده Gersonius (۲۰۰۸)، به منظور برنامه‌ریزی برای یک سیستم زهکشی شهری در مقیاس زمانی طولانی، نیازمند تغییر از رویکرد ریسک محور به رویکرد بازگشت‌پذیری هستیم. رویکردهای بر پایه بازگشت‌پذیری، سیستم-محور هستند، دید پویاتری دارند و ظرفیت مواجهه با اختلال و تشخیص را در هنگام رخداد تغییرات، به عنوان ویژگی‌های کلیدی و اصلی سیستم، افزایش می‌دهند.

مفهوم بازگشت‌پذیری

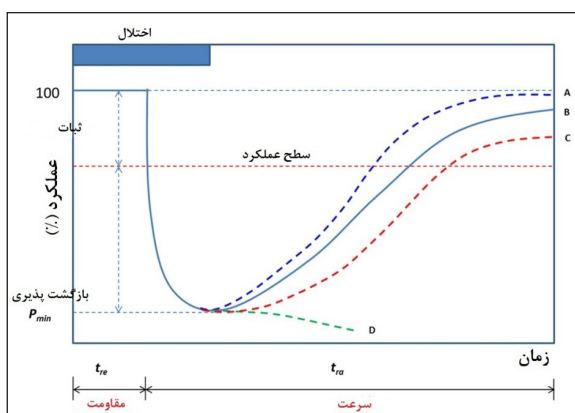
در رابطه با تعریف بازگشت‌پذیری به طور کلی اتفاق نظر وجود ندارد. در منابع مختلف، تعاریف و تفاسیر متعددی از بازگشت‌پذیری ارائه گردیده است. تفاسیر و تعاریف متنوع ارائه شده، ناشی از طبیعت پیچیده این مفهوم است که این مسأله، به عمل درآوردن مدیریت یکپارچه زهکشی شهری را مشکل می‌نماید. بنابراین به منظور مطالعه اهمیت و کاربرد مفهوم بازگشت‌پذیری در مدیریت یکپارچه سیستم زهکشی رواناب،



شکل ۱- تصمیم گیری تحت شرایط عدم قطعیت با رویکرد بازگشت پذیری (Mugume و همکاران، ۲۰۱۴)



شکل ۲- منحنی پاسخ سیستم (Mens و همکاران، ۲۰۱۱؛ Butler، ۲۰۱۶)



شکل ۳- منحنی عملکرد سیستم (Wang و Blackmore، ۲۰۰۹؛ Butler، ۲۰۱۶)

دارد به وضعیت مطلوب بازگردد. Hashimoto و همکاران (۱۹۸۲) بازگشت پذیری را به صورت یک احتمال شرطی بیان می کنند:

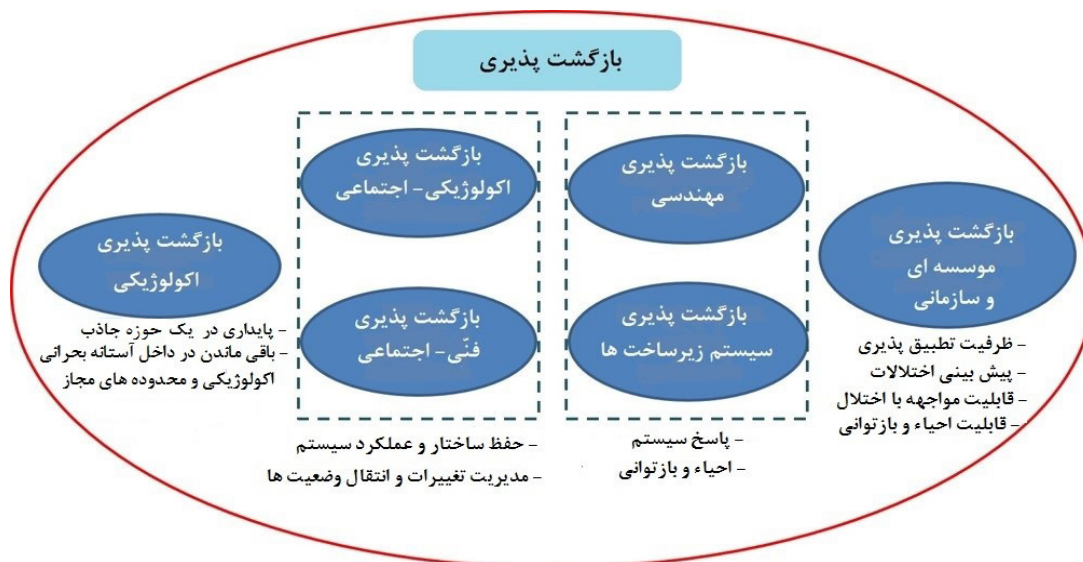
$$Res = P\{S(t+1) \in NF | S(t) \in F\} \quad (1)$$

که $S(t)$ متغیر حالت سیستم مورد نظر است، F حالت شکست^۷ سیستم و NF حالت عدم شکست^۸ می باشد. بر اساس رابطه فوق، بازگشت پذیری (Res) به صورت احتمال اینکه سیستم در زمان $(t+1)$ در حالت غیر شکست (وضعیت مطلوب) به سر ببرد، با فرض اینکه در زمان t در وضعیت شکست بوده باشد، تعریف می شود.

از جمله مفاهیم مرتبط با بازگشت پذیری، اصطلاح "حوضه جذب" و "جاذب" می باشد. "حوضه جذب" به منطقه ای از فضای حالت سیستم گفته می شود که سیستم تمایل دارد در آن وضعیت باقی بماند. به عنوان مثال، برای سیستم هایی که به سوی وضعیت تعادل متمایل هستند، حالت تعادل به عنوان یک جاذب تعریف می شود، و تمام شرایط اولیه ای که به سوی حالت تعادل متمایل هستند، حوضه جذب را تشکیل می دهند. اما در جهان واقعی، سیستم های اجتماعی- زیست محیطی به طور مداوم با انواع اختلالات، عدم قطعیت ها، تصمیمات و عملگرهایی که سیستم را به خارج از حوضه جاذب سوق می دهند، مواجه می باشند (Walker و همکاران، ۲۰۰۴). سه ویژگی کلیدی یک سیستم بازگشت پذیر عبارتند از: ثبات^۹، پابرجایی^{۱۰} و مقاومت^{۱۱}. شکل (۱) انواع معیارهایی که تعاریف متعدد بازگشت پذیری بر اساس آنها صورت گرفته است را نشان می دهد. دو سوال اساسی و کلی که در رابطه با این شکل لازم است به آنها پاسخ داده شود، عبارتند از: (۱) یک سیستم تا چه میزان می تواند اختلالات وارده را تحمل نموده و با آنها مقابله نماید؟ (۲) در صورتی که تغییرات آینده بر طبق سناریوی خاصی رخ دهد، چه اتفاقی می افتد؟ (Mugume و همکاران، ۲۰۱۴).

براساس شکل (۱)، به عنوان نمونه می توان بازگشت پذیری را در رابطه با عبور از آستانه بحرانی عملکرد، و یا براساس مفهوم پاسخگویی و بازتوانی سیستم تعریف نمود. با توجه به مفهوم پاسخگویی و بازتوانی، بازگشت پذیری معیاری است از اینکه سیستم با چه سرعتی می تواند پس از وقوع شکست، خود را بازیابی نماید (Hashimoto و همکاران، ۱۹۸۲؛ Kjeldsen و Rosbjerg، ۲۰۰۴). شکل (۲) منحنی پاسخ یک سیستم زهکشی شهری را نشان می دهد. در این شکل پاسخگویی سیستم به عنوان تابعی از بزرگای اختلال وارده رسم گردیده است. در حالیکه شکل (۳) عملکرد سیستم را نسبت به زمان نشان می دهد.

همچنین بازگشت پذیری می تواند انواع مختلفی داشته باشد که در شکل (۴) اقسام مختلف بازگشت پذیری و تعاریف مربوط به هر گروه ارائه شده است.



شکل ۴- انواع بازگشت پذیری و مشخصات و تعاریف آنها (Holling, ۱۹۷۳؛ Cumming و همکاران، ۲۰۰۵، Wang و Blackmore، ۲۰۰۹؛ Blockley و همکاران، ۲۰۱۲)

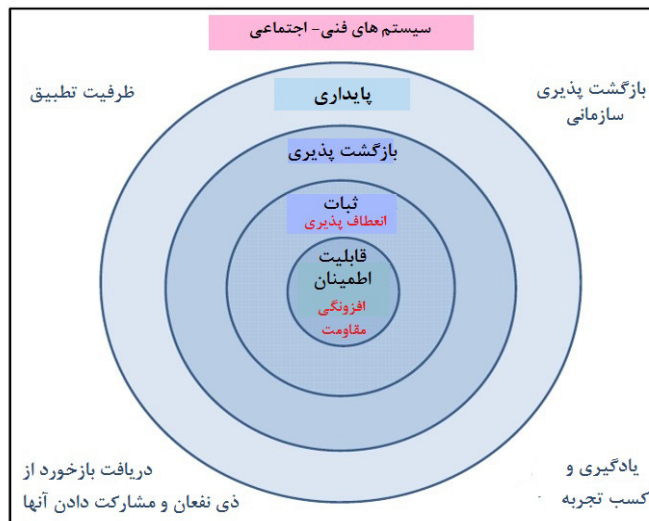
Gersonius (۲۰۰۸) نیز به سه نوع تعریف بازگشت پذیری اشاره کرده و آنها را در قالب جدولی به صورت زیر مشخص نموده است.

جدول ۱- انواع اصلی بازگشت پذیری (Gersonius، ۲۰۰۸)

مفهوم	مشخصات	نقطه تمرکز
بازگشت پذیری مهندسی	زمان بازگشت	قابلیت ترمیم
بازگشت پذیری اکوسیستم	حفظ عملکرد اختلالات	قابلیت جذب
بازگشت پذیری اجتماعی- زیست محیطی	پایداری و توسعه	قابلیت جذب اختلالات، قابلیت تطبیق

بازگشت پذیری مهندسی (Pimm، ۱۹۹۱) به رفتار یک سیستم در مجاورت یک تعادل پایدار اشاره دارد. این تفسیر از مفهوم بازگشت پذیری، مربوط به پایداری وضعیت سیستم در داخل حوضه جذب بوده و می تواند از طریق معیار سرعت بازگشت به حالت تعادل پس از وقوع یک اختلال، اندازه گیری شود. بازگشت پذیری مهندسی، نشان دهنده مقاومت در برابر اختلالات وارده است و غالباً با عبارت قابلیت بازتوانی مورد بحث قرار می گیرد. به دلیل وجود حوضه های جذب متعدد، زمان بازگشت نمی تواند معیار مناسبی را برای تعیین تمام روش هایی که سیستم در حفظ عملکرد خود دچار شکست

می شود ارائه نماید. بر این اساس، نوع دوم بازگشت پذیری بیانگر توانایی یک سیستم دارای چند وضعیت پایداری، برای حفظ مقادیر متغیرهای حالت خود در داخل یک حوضه جذب مشخص در مواجهه با اختلالات و تنش های خارجی است. از این منظر، بازگشت پذیری می تواند به صورت بزرگای اختلالی که پیش از خارج شدن وضعیت سیستم از حوضه جذب مورد نظر، می تواند جذب گردد، تعریف شود. در واقع بازگشت پذیری اکوسیستم، معرف ظرفیت حاشیه ای است که باقی ماندن در حوضه جذب را امکان پذیر می سازد (Holling، ۱۹۷۳). بازگشت پذیری اجتماعی - زیست محیطی (Walker و همکاران ۲۰۰۲) نیز به قابلیت یک سیستم برای باقی ماندن در یک حوضه جذب به منظور حفظ بازخوردها و عملکرد خود اشاره دارد و شامل توانایی سیستم برای پذیرش تغییرات ناشی از اختلالات می باشد. بدین مفهوم، بازگشت پذیری اغلب به عنوان یک دیدگاه یا حتی الگویی برای تحلیل سیستم های اجتماعی- زیست محیطی بیان می شود. بازگشت پذیری اجتماعی- زیست محیطی به عنوان معیاری از موقعیت جغرافیایی حوضه های جذب معرفی می شود و ویژگی های متعددی دارد که تعیین کننده اندازه و شکل حوضه ها و قابلیت تأثیرگذاری بر خط سیر سیستم در حوضه های پایداری مورد نظر آن سیستم است. هر یک از این انواع بازگشت پذیری نیز دارای ویژگی هایی هستند و با دیگر انواع بازگشت پذیری در ارتباط می باشند. به عنوان نمونه، شکل (۵) طبقه بندی ویژگی های بازگشت پذیری سیستم های فنی- اجتماعی را نشان می دهد.



شکل ۵- طبقه بندی ویژگی های بازگشت پذیری در سیستم های فنی- اجتماعی (Mugume و همکاران، ۲۰۱۴)

بازگشت پذیری سیستم های زهکشی شهری نسبت به سیل

طول عمر طراحی سیستم می شود (Djordjevic و همکاران، ۲۰۱۱؛ Mailhot و Duchesne، ۲۰۱۱). De Graaf و همکاران (۲۰۰۹) معتقدند برای افزایش بازگشت پذیری سیستم های زهکشی رواناب شهری در رابطه با سیل و مواجهه با تغییرات اقلیمی، چهار نوع ظرفیت را می توان در جهت افزایش آستانه تحمل سیستم و یا کاهش مقدار تغییر عملکرد سیستم در پاسخ به امواج سیل تقویت نمود:

- ظرفیت سازه ای: توسعه ظرفیت با اجرای اقدامات فنی و فیزیکی برای اجتناب از خسارت؛
- ظرفیت مقابله^{۱۲}: قابلیت کاهش خسارت در رابطه با وقوع اختلالی که از آستانه واکنش تجاوز می نماید؛
- ظرفیت بازتوانی: قابلیت احیاء و بازیابی سریع سیستم به حالت پیش از وقوع اختلال یا وضعیتی معادل آن؛
- ظرفیت تطبیق: قابلیت و ظرفیت سازگاری با تغییرات غیر قطعی آینده که از طریق یک رویکرد تطبیقی مدیریتی یا پیشگیرانه صورت می گیرد. در رویکرد پیشگیرانه، تأکید بر حفاظت سرمایه گذاری های بلند مدت است، در حالیکه رویکرد مدیریتی به منظور افزایش تطبیق و سازگاری در نظر گرفته می شود.

تعریف بازگشت پذیری یک سیستم نسبت به یک مجموعه عوامل مشخص، در مقایسه با بحث پیرامون مفهوم بازگشت پذیری به طور عام، ملموس تر و ساده تر است. چنین تعریفی با شناسایی ویژگی هایی از سیستم که لازم است در مقابل عوامل مشخص مذکور، بازگشت پذیر بوده و سطحی از اختلالات که لازم است جذب و تحمل نمایند، امکان پذیر می شود.

مفهوم بازگشت پذیری به طور فزاینده ای در رابطه با مدیریت یکپارچه زهکشی شهری مورد استفاده قرار می گیرد (Klein و همکاران، ۱۹۹۸؛ McFadden، ۲۰۰۱؛ Vis و همکاران، ۲۰۰۳؛ Sayers و همکاران، ۲۰۰۳؛ Ashley و همکاران، ۲۰۰۷؛ Sendzimir و همکاران ۲۰۰۷).

طرح های مربوط به زیرساخت های زهکشی شهری، اغلب پروژه هایی بزرگ، هزینه بر و با عمر طراحی طولانی مدت می باشند. این ویژگی ها منجر به عدم قطعیت در برنامه ریزی و طراحی این سیستم ها برای تضمین سطح مشخصی از کارایی و خدمات رسانی در

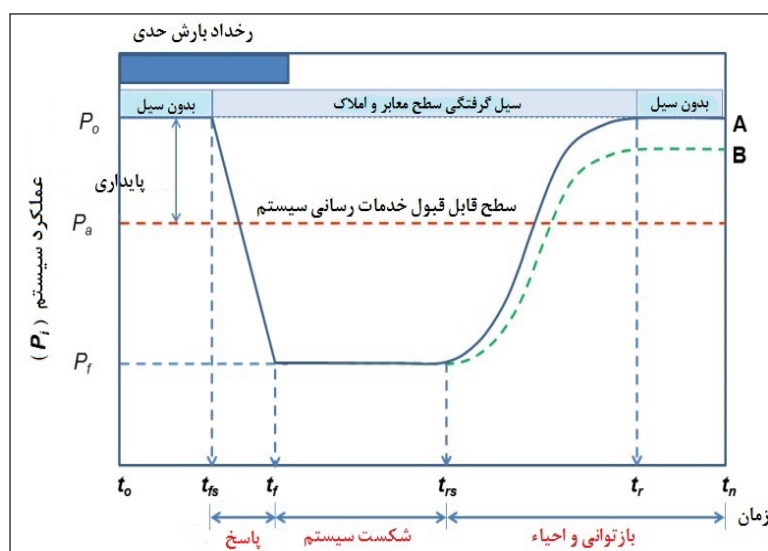
کمی سازی بازگشت پذیری در سیستم های زهکشی شهری

فراهم می آورد. با درک بهتر رفتار سیستم، راهبردهای تطبیق و کاهش خطر با هدف ارائه سطح مناسب خدمات به ذی نفعان، می تواند آزمون، بررسی اولویت بندی شود. به منظور کمی سازی شاخص بازگشت پذیری، ابتدا لازم است مدل سازی سیلاب شهری انجام گیرد، سپس میزان و چگونگی سرریز از شبکه و آب گرفتگی سطح معابر و خیابان ها تعیین شود. مدل های مختلف موجود، اغلب برای شبیه سازی سیل شهری و مشاهده احتمال وقوع و پیامدهای رخداد سیل (که تعیین کننده بازگشت پذیری و خط سیر

مفهوم بازگشت پذیری به صورت نظری روز به روز ارتقا یافته و تعاریف دقیق تری از آن ارائه می شود، اما به کارگیری آن در عمل به منظور توسعه و ارزیابی استراتژی ها و راهبردهای مختلف، هنوز در مراحل اولیه به سر می برد (Gersonius، ۲۰۰۸). توسعه روش های مناسب ارزیابی کمی بازگشت پذیری، امکان آزمون و ارزیابی نحوه رفتار و عملکرد سیستم های زهکشی شهری در شرایط سیلابی را

$$Res_2 = \{\max_j \{d(j)\}\}^{-1} \quad (3)$$

که $d(j)$ مدت زمان ز آمین واقعه شکست، و M کل تعداد وقایع شکست است. دو ویژگی کلیدی بازگشت پذیری در این مورد، عبارتند از: زمان شکست و سرعت در بازیابی سیستم. اندازه گیری بازگشت پذیری به طور مستقیم مشکل است؛ چرا که نیازمند شناسایی موارد عبور از آستانه (وقوع شرایط حدی) می باشد و چنین مواردی اغلب اوقات رخ نمی دهد (Gersonius, ۲۰۰۸)؛ لذا لازم است بازگشت پذیری به طور غیر مستقیم برآورد شود. Carpenter و همکاران (۲۰۰۵) پیشنهاد دادند، ویژگی هایی از سیستم که قابل اندازه گیری و مرتبط با ابعاد مختلف مفهوم بازگشت پذیری است ارزیابی شوند. در واقع چنین ویژگی هایی به عنوان جایگزین هایی برای اندازه گیری مستقیم بازگشت پذیری استفاده می شوند. شکل (۶) منحنی عملکرد سیستم را نشان می دهد. مطابق این شکل، "پایداری" و "شکست سیستم" به عنوان توابع "عملکرد سیستم (Pi)" و "مستقل از زمان" هستند؛ در حالیکه "پاسخ سیستم" و "بازتوانی" به صورت توابع "عملکرد سیستم" و "وابسته به زمان" تعریف شده اند.



شکل ۶- منحنی عملکرد سیستم مربوط به سیستم زهکشی شهری (Henry و Ramirez-Marquez, ۲۰۱۲؛ McDaniels و همکاران, ۲۰۰۸؛ Mens و همکاران, ۲۰۱۱)

$$Rob_i = f[P_0 - P_a] \quad (4)$$

P_0 سطح عملکرد اولیه سیستم در حالت پایدار و پیش از اعمال اضافه بار بر شبکه و آغاز سیلاب (سرریز جریان از شبکه) و P_a حداقل سطح عملکرد قابل قبول سیستم است که در این سطح، املاک و دارایی ها دچار سیل گرفتگی نمی شوند. می توان اینگونه فرض نمود که با حداقل شدن عمق سیل گرفتگی، صلابت سیستم به حداکثر میزان خود می رسد. مسلماً تصمیم گیران اجرایی از یک

کل سیستم می باشند) به کار گرفته می شوند تا تصمیمات مدیریتی صحیح اتخاذ گردد.

تاکتئون شاخص ها و معیارهای مختلفی برای ارزیابی بازگشت پذیری سیستم زهکشی شهری توسط محققین مختلف معرفی گردیده است. De Bruijn (۲۰۰۴a) از جمله بهترین تحلیل های صورت گرفته در زمینه شناسایی و اندازه گیری عوامل معرف بازگشت پذیری را پیشنهاد داده است. Mugume و همکاران در ۲۰۱۴ شاخص های ارائه شده توسط De Bruijn (۲۰۰۴b) را تکمیل نموده و نهایتاً مجموعه ای از معیارهای معرف بازگشت پذیری نسبت به سیل شهری در اثر بارش را پیشنهاد نمودند. بر اساس تعریف کمی ارائه شده توسط محققین مختلف، بازگشت پذیری عبارت است از معکوس "متوسط" زمانی که سیستم در حالت شکست سپری می کند:

$$Res_1 = \left\{ \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M d(j) \right\}^{-1} \quad (2)$$

در برخی منابع نیز معکوس "حداکثر" مدت زمان پیوسته ای که سیستم در وضعیت شکست باقی می ماند، به عنوان بازگشت پذیری در نظر گرفته شده است.

اصطلاح "صلابت"، به روش ها و سازوکارهای متعدد "شکست ایمن" در داخل سیستم (از جمله لوله های موازی، تانک های ذخیره و حوضچه های نگهداشت سیل) وابسته است. بر این اساس سیستم هنگامیکه در معرض اضافه بار شرایط بحرانی قرار می گیرد قادر به حفظ کارایی خود و کاهش بزرگای شکست خواهد بود (Jung و همکاران, ۲۰۱۳؛ Lansey, ۲۰۱۲؛ NIAC, ۲۰۰۹). در شکل (۶)، صلابت سیستم به صورت زیر تعریف می شود:

سیستم زهکشی پایدار^{۱۳}، که به سهولت رواناب ایجاد شده از یک رخداد بارش حدی مشخص را با کمترین میزان سیل‌گرفتنی انتقال می‌دهد، استقبال می‌کنند، زیرا نسبت به شبکه‌ای که سبب عمق سیل‌گرفتنی بیشتری می‌شود، عملکرد بالاتری دارد.

پاسخ سیستم (Response)، به توانایی سیستم برای حفظ خود در برابر تنش‌های وارد شده به آن اشاره دارد؛ به طوریکه هنگام مواجهه با شرایط بحرانی که در معرض کاهش سریع عملکرد سیستم قرار می‌گیرد، بتواند وضعیت اولیه و مطلوب خود را حفظ نموده و کارا باقی بماند. شیب بخش "پاسخ" از منحنی عملکرد سیستم، شاخصی از میزان حساسیت کارایی شبکه زهکشی شهری است (Lansey, 2012). پاسخ سیستم به صورت زیر بیان می‌شود:

$$f[(P_f - P_0)/(t_f - t_{fs})] \quad (5)$$

P_f شکست سیستم است که به عمق سیل‌گرفتنی ارتباط دارد t_{fs} زمان شروع زوال عملکرد سیستم و t_f زمان تا آغاز شکست است.

پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه بازگشت‌پذیری و سیستم‌های آب شهری

تاکنون مطالعات متعددی در رابطه با بازگشت‌پذیر ساختن سیستم‌های منابع آب شهری (به ویژه سیستم تأمین و توزیع آب) نسبت به اثرات غیرقطعی تغییرات آینده چون تغییر اقلیم انجام شده است؛ اما در رابطه با بازگشت‌پذیری سیستم‌های زهکشی رواناب، تحقیقات اندکی صورت گرفته است. در ادامه به برخی از مهم‌ترین پژوهش‌های انجام شده در حوزه بازگشت‌پذیری سیستم‌های منابع آب و از جمله زیرساخت‌های زهکشی شهری اشاره می‌شود.

نظیف (1389) با مطالعه چرخه آب در شهر تهران و ارائه سه شاخص اطمینان‌پذیری، بازگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری، الگویی برای ارزیابی میزان آمادگی سیستم‌های مرتبط با اجزای مختلف چرخه آب شهری در مواجهه با بحران‌های محتمل پیشنهاد نموده است. Gersonius (2012) با هدف ایجاد یک راهبرد تطبیقی پویا، کارایی روش‌های مختلف براساس رویکرد بازگشت‌پذیری و مفید بودن این روش‌ها را به لحاظ تعیین زمان، مکان و چگونگی تطبیق با تغییرات اقلیمی بررسی کرد. نتایج تحقیق وی نشان داد رویکرد بازگشت‌پذیری قابلیت زیادی برای ارتقاء ظرفیت تطبیق سیستم‌های مدیریت ریسک سیل با تغییر اقلیم داشته و توانایی این سیستم‌ها را برای مواجهه با تغییرات آتی افزایش می‌دهد. Yazdandoost و همکاران (2013) شاخصی برای بازگشت‌پذیری با عنوان "ظرفیت بازتوانی" ارائه نمودند و آن را برای اولویت‌بندی سناریوهای مختلف به‌کارگیری بهترین راهکارهای مطالعاتی (BMP)^{۱۴} استفاده کردند. اعمال این شاخص بر منطقه ۲۲ شهرداری

قابلیت بازگشت (احیاء) سیستم (Restorability) تابعی از زمان بازگشت به سطح کارایی اولیه سیستم (یا کمتر از آن، اما در حد قابل قبول) پس از رخداد شکست است. قابلیت احیاء عمدتاً به منابع موجود انسانی و سرمایه‌ای، برنامه‌ریزی مؤثر برای وقوع شرایط احتمالی و عملیات پاسخگویی اضطراری مناسب و مقتضی بستگی دارد (McDaniels و همکاران، 2008؛ NIAC، 2009). در شکل (۶)، قابلیت احیاء سیستم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Re\ store_i = f[t_r - t_f] \quad (6)$$

که t_r زمان بازگشت به کارایی اولیه سیستم است. با به حداقل رسیدن زمان بازگشت به سطح عملکرد اولیه، قابلیت احیاء سیستم به حداکثر خود می‌رسد (Mugume و همکاران، 2014). مسلماً تصمیم‌گیران اجرایی سیستمی را ترجیح می‌دهند که قابلیت احیاء (resorability) بالایی داشته باشد، به طوریکه بتواند پس از وقوع شکست، سریعاً بازتوانی شده و به سطح کارایی اولیه خود برگردد، زیرا چنین سیستمی عملکرد بالاتری دارد.

تهران با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره نشان داد روش پیشنهادی در کمک به مدیران شهری برای گرفتن تصمیمات بر پایه مفاهیم بازگشت‌پذیری و پایداری در مناطق شهری کارا است. Tahmasebi Birgani و Yazdandoost (2014) بر مبنای دو دیدگاه بازگشت‌پذیری و مقاومت چارچوبی برای ارزیابی مفهوم تداوم^{۱۵} مدیریت ریسک در سیستم‌های زهکشی شهری معرفی نموده، آن را بر شبکه زهکشی بخشی از شهر تهران اعمال کردند. نتایج این بررسی نشان داد که تحلیل تداوم می‌تواند در کمک به برنامه‌ریزان برای انتخاب معیارهای لازم در رابطه با سیستم‌های مدیریت ریسک زهکشی شهری در مواجهه با اختلالات مؤثر باشد. زحمتکش (1393) بازگشت‌پذیری شهرهای ساحلی نسبت به وقوع سیل و کمی‌سازی این مفهوم را در یک نمونه موردی در کشور آمریکا بررسی کرد. Behzadian و همکاران (2014) برای ارزیابی عملکرد برنامه‌های بازیافت آب در سیستم آب شهری از چند شاخص عملکرد هیدرولیکی یک مدل متابولیسم شهری (WaterMet) استفاده کردند. بدین منظور یک الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه را برای شناسایی جواب‌های بهینه پارتو براساس سه هدف: حداکثر بازگشت‌پذیری، حداکثر کارایی و حداقل هزینه کل به کار گرفتند رویکرد پیشنهادی بر روی یک نمونه واقعی (سیستم آب شهر اوسلو^{۱۶} در نروژ) اعمال شد و نتایج اهمیت استفاده از شاخص بازگشت‌پذیری در تعیین برنامه‌های مناسب را نشان داد. این محققین همچنین نتیجه گرفتند که در نمونه موردی تحلیل شده، برنامه استحصال آب باران، نقش قابل توجهی در ارتقاء شاخص بازگشت‌پذیری دارد. Batica (2015) روشی را برای ارزیابی مدیریت ریسک سیل در محیط زیست شهری، با تأکید بر مفاهیم

اعمال رویکرد بازگشت پذیری در مدیریت یکپارچه زهکشی شهری

دو گروه از روش‌ها در رابطه با اعمال رویکرد بازگشت پذیری برای مدیریت یکپارچه زهکشی شهری قابل بحث و بررسی هستند:

۱- روش‌های مبتنی بر جذب اختلالات ایجاد شده و مقاومت در تأثیرپذیری از آنها،

۲- روش‌های بر پایه تطبیق و سازگاری سیستم با شرایط نامطلوب و اختلالات وارد شده.

در توضیح این مطلب می‌توان گفت که یک جنبه از بازگشت‌پذیری، به توانایی کل سیستم برای باقی ماندن در سطح مطلوب یا قابل قبولی از عملکرد، در هنگام مواجهه با یک عامل مختل‌کننده اشاره دارد. در رابطه با مدیریت یکپارچه زهکشی شهری، این مسأله را می‌توان به صورت توانایی انتقال امواج سیل و جریان رواناب، همزمان با حداقل‌سازی اثرات سیل و بازتوانی سریع بیان نمود. سازگار نمودن زیرساخت‌های شهری، سیستم‌های خدمات‌رسانی، املاک و دارایی‌ها و رفتار ذی‌نفعان، همگی از جمله مواردی هستند که ظرفیت و قابلیت بازتوانی را ارتقاء می‌دهند. بهتر است در طراحی‌های شهری، برخی کاربری‌ها (مانند فضاهای باز) که نسبت به وقوع سیل، آسیب‌پذیری کمتری داشته و سازگارتر هستند، در مناطق با بیشترین ریسک سیلاب واقع شود. در مقابل، زیرساخت‌های مهم و ضروری، کاربری‌های آسیب‌پذیر و مناطق مسکونی پرتراکم در مناطق با ریسک (باقیمانده) کم لحاظ گردند. در این صورت کل محدوده شهر، بازگشت‌پذیری بیشتری نسبت به سیل خواهد داشت. به عبارت دیگر لازم است تنوع اقدامات و سطوح دفاعی، متناسب با هر نوع کاربری زمین و براساس میزان آسیب‌پذیری آن به کار گرفته شود (جدول ۲) را ببینید). مدل‌سازی و ارزیابی دقیق و تفصیلی ریسک سیلاب، برای حصول درک بهتر از آسیب‌پذیری کل سیستم، اهمیت زیادی داشته و لازم است به طور جدی دنبال شود (Gersonius, ۲۰۰۸).

بازگشت‌پذیری و کاهش خطر سیل ارائه نمود و در نهایت، یک شاخص بازگشت‌پذیری نسبت به سیل در سیستم‌های شهری، با تأکید بر ساختار سیستم (در مقیاس کوچک و متوسط) و با تمرکز بر ابعاد سیستم (در مقیاس بزرگ) پیشنهاد داد. Yazdandoost و Moradian (۲۰۱۶) در مطالعه خود بر اثرات اختلالات وارد شده بر سیستم‌های آبی در حوضه‌های کم‌آب تمرکز نمودند؛ بدین منظور پایداری سیستم را بر اساس ترکیبی از دو مفهوم بازگشت‌پذیری و مقاومت در برابر اختلالات مد نظر قرار داده، جعبه‌ابزاری برای اتخاذ رویکردی با ساختار نظام‌مند در شناسایی و کمی‌سازی مفهوم بازگشت‌پذیری توسعه دادند. نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف نشان داد که بازگشت‌پذیری مستقیماً با دو مفهوم نرخ بازتوانی و تدریج (graduality) در ارتباط است، حال آنکه با دامنه اختلالات نسبت عکس دارد. Tahmasebi Birgani و Yazdandoost (۲۰۱۶) مجموعه‌ای از معیارها را برای عملیاتی نمودن مفهوم بازگشت‌پذیری در سیستم‌های مدیریت ریسک زهکشی شهری ارائه کردند. آنها به منظور کمی‌سازی این معیارها یک سیستم فازی سلسله‌مراتبی توسعه دادند که امکان در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها را در رابطه با پارامترهای اجتماعی و سازمانی داشته باشد. نتایج حاصل از اعمال این روش بر بخشی از سیستم زهکشی شهر تهران، کاربردی بودن شاخص‌های پیشنهادی را به عنوان معیار تصمیم‌گیری در کمک به مسئولان شهری نشان می‌دهد. این شاخص‌ها در فرایند انتخاب گزینه‌های مناسب برای زهکشی شهری، بر اساس مدیریت ریسک و تحت وقایع مختلف بارش می‌باشند.

همانطور که از مطالب فوق‌الذکر ملاحظه می‌شود، در سال‌های اخیر، توجه به کمی‌سازی بازگشت‌پذیری در سیستم‌های زهکشی رواناب شهری جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده و به تدریج رو به گسترش است. با این حال، همانطور که اشاره گردید، تعداد این قبیل تحقیقات نسبتاً اندک بوده و لازم است محققین و دست‌اندرکاران اجرایی، توجه بیشتری به این مسأله اساسی داشته باشند.

جدول ۲- مواردی که در اعمال رویکرد بازگشت‌پذیر نمودن شهرها در برابر سیل می‌تواند مد نظر قرار گیرد (Gersonius, ۲۰۰۸)

ریسک باقیمانده بالا- ایمن نگاه داشتن مردم در سکونتگاه خود	ریسک باقیمانده متوسط- فراهم نمودن مسیر ایمن برای فرار	ریسک باقیمانده پایین- ممانعت از سیل‌گرفتگی املاک و ساکنین
- ایجاد پناهگاه ایمن در سطوح مرتفع	- استقرار کاربری مسکونی در بالای سطح سیل‌گرفتگی	- تجهیزات دفاع ثانویه
- پهنه‌بندی کاربری‌ها	- اجرای مانور و هشدار سریع	- تغییر سطح و بالا بردن تراز زمین
- بازگشت‌پذیر ساخت زیرساخت‌ها	- ایجاد پشت‌بام‌های سبز و ایجاد پلهایی	- ایجاد موانع از پیش آماده در برابر سیل که
- اجرای مانور و هشدار سریع	- برای دسترسی سریع در هنگام وقوع سیل	- نصب و جداسازی آن آسان باشد
- دریافت اطلاعات و اطلاع‌رسانی بهنگام	- بازگشت‌پذیر ساختن زیرساخت‌های	- بازگشت‌پذیر ساختن اجزای مختلف ساختمان‌ها
- بسته‌های حفاظت در مقابل سیل	- اضطراری	- استفاده از رویکردهای زهکشی پایدار و فضای سبز در محیط شهری
- ذخیره آب سیلاب در محل		
- ایجاد سیستمی برای عقب‌نشینی جریان		

در صورتی که در رویکردهای برنامه‌ریزی شهرها، مدیریت سیل شهری به عنوان یک اصل مهم و جزء جدایی‌ناپذیر طراحی شهری لحاظ شود، به خودی خود مزایای اجتماعی متعددی همچون توجه به ارزش‌های رفاهی/تفریحی، ایجاد مناظر سبز-آبی و زیباسازی چشم‌انداز محیط شهری را به دنبال دارد؛ زیرا رویکرد نوین در مدیریت سیل-از جمله به کارگیری سیستم‌های زهکشی پایدار- نه تنها مغایر با اصول طراحی و برنامه‌ریزی شهری نیستند، بلکه کمک‌کننده به آن نیز هستند (Gersonius, 2008). تطبیق شبکه زهکشی رواناب شهری با تغییرات غیرقطعی آینده نیازمند تصمیمات مقتضی در این باره است که آیا باید سیستم را به صورت منفعلانه^{۱۷} و با اتخاذ رویکرد پیشگیرانه و احتیاطی (که بدون هیچ‌گونه تصمیم‌گیری مدیریتی در رابطه با آینده عمل می‌کند) حفاظت نمود و یا آن را به طور فعالانه^{۱۸} و با سازگار نمودن آن با عدم قطعیت‌های آینده در مقابل سیل حفاظت کرد. هر دوی این رویکردها موجب افزایش هزینه‌ها می‌شوند. هزینه‌های رویکرد پیشگیرانه عمدتاً شناخته شده هستند و در زمان حال مورد توجه و تمرکز می‌باشند؛ اما هزینه‌های رویکرد تطبیقی مدیریت شده، غیر قطعی بوده و برای زمان آینده برنامه‌ریزی شده‌اند.

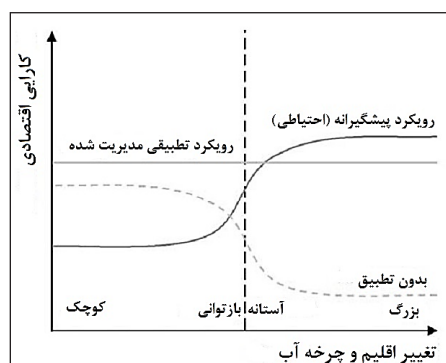
به طور کلی، هزینه‌های اعمال شده برای افزایش پایداری سیستم در رویکرد نخست، با هر دستاوردی در ارزش‌های پروژه تعدیل و جبران نمی‌شوند؛ چراکه رویکرد پیشگیرانه (در مقایسه با رویکرد تطبیقی مدیریت شده) از ارزش تولید شده از عدم قطعیت سودی نمی‌برد. بر این اساس، رویکرد تطبیقی، در مقایسه با روش سنتی مدیریت زهکشی شهری، منفعت اقتصادی را به دنبال دارد؛ زیرا این رویکرد هزینه‌ها را در زمان توزیع می‌کند. در رویکرد تطبیقی مدیریت شده تلاش می‌شود تا هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه از طریق توسعه ظرفیت حداقل شود. سود حاصله در رویکرد تطبیقی، به دلیل دید

جمع‌بندی

به دلیل اثرات ناشی از توسعه شهری و تغییرات اقلیمی، رواناب مناطق شهری در بسیاری از نقاط جهان افزایش یافته، به طوریکه سیستم‌های سنتی جمع‌آوری آب‌های سطحی، عملکرد مطلوب و مورد انتظار را در انتقال رواناب شهری ندارند. این مسأله منجر به کاهش کیفیت آب، افزایش حجم و دبی اوج رواناب و در نتیجه ایجاد سیل شهری می‌شود. بنابراین به کارگیری یک دید جامع و یکپارچه به منظور مدیریت رواناب‌های شهری، ضروری به نظر می‌رسد. مدیریت یکپارچه رواناب می‌تواند به طور مؤثری، با به کارگیری گزینه‌های مختلف تأمین‌کننده پایداری، در حرکت جوامع شهری به سوی توسعه پایدار، کمک‌کننده باشد. به کارگیری بهترین راهکارهای مدیریتی (BMP) و رویکردهای زهکشی پایدار (SUDS)^{۱۹} در کنار تصمیمات مدیریتی مناسب، از جمله مصادیق بازگشت‌پذیر ساختن مدیریت رواناب در جوامع شهری است.

باز و انعطاف‌پذیر در به کارگیری گزینه‌های مدیریتی مناسب است؛ چرا که زمان‌بندی بخش‌های مختلف پروژه ممکن است با یکدیگر متفاوت باشد (Wang, 2008; Gersonius, 2005).

با افزایش عدم قطعیت، ارزش انعطاف‌پذیری نیز افزایش می‌یابد؛ زیرا با به کارگیری یک سیستم انعطاف‌پذیر، از پیامدهای نامطلوب شرایط غیرقطعی آینده جلوگیری می‌شود. اگر این انعطاف‌پذیری، واقعاً کل هزینه عمر سیستم را در مقایسه با یک رویکرد پیشگیرانه کاهش دهد، اهمیت زیادی می‌یابد؛ حتی اگر لازم باشد که متحمل هزینه اضافه و سنگینی بابت مجموعه‌ای از اقدامات با قابلیت تطبیق بالا شویم.



شکل ۷- کارایی اقتصادی به عنوان تابعی از تغییرات اقلیمی و (تأثیر آن بر) چرخه آب (که متغیر گندی محسوب می‌شود) برای دو رویکرد پیشگیرانه و تطبیقی مدیریت شده (Gersonius, 2008)

در شکل (۷) موقعیت خط چین عمودی، سطح آستانه بحرانی تغییر اقلیم-چرخه آب را نشان می‌دهد که بیانگر گذار از یک حوضه پایدار به حالت پایدار دیگر در رویکردهای مختلف است.

در این مقاله تلاش شد این مفهوم بیان شود که استفاده از مفهوم بازگشت‌پذیری، مبنای بهتری را برای رویکردهای یکپارچه در مدیریت زهکشی شهری، نسبت به دیگر رویکردها چون الگوهای ریسک-محور ارائه می‌دهد. رویکرد بازگشت‌پذیری به دلیل ماهیت ویژه و نیز چارچوب وسیع خود، می‌تواند در زمینه یکپارچه‌سازی بسیاری از اصول و مفاهیم مدیریتی همچون همزیستی با سیلاب، مدیریت و یادگیری و نمونه‌هایی از این قبیل با روشی که به یک رویکرد منسجم بر مبنای پایداری منجر شود، مفید باشد. بنابراین لازم است مفهوم بازگشت‌پذیری نسبت به سیل و تغییرات اقلیمی در عمل به کار گرفته شده که این امر، به دلیل ماهیت بین رشته‌ای خود، با به کارگیری تخصص‌های مختلف در حوزه‌های پژوهشی متعدد امکان‌پذیر است. از جمله شرایط لازم و کلیدی در این رابطه، توسعه یک چارچوب جامع تصمیم‌گیری برای ارزیابی و مدیریت بازگشت‌پذیری جوامع و مناطق شهری نسبت به سیل و تغییر اقلیم است. همچنین اولویت‌های مدیریت رواناب در فرایند

- 5- Restorability
- 6- Magnitude
- 7- Failure
- 8- Non-failure
- 9- Stability
- 10- Persistence
- 11- Resistance
- 12- Coping capacity
- 13- robust
- 14- Best Management Practices
- 15- persistence
- 16- Oslo
- 17- passively
- 18- actively
- 19- Sustainable Urban Drainage System

تصمیم‌گیری لازم است مد نظر قرار گیرد؛ زیرا تکنیک‌های مختلف زهکشی پایدار، بر اهداف گوناگون اقتصادی، اجتماعی، هیدرولیکی و معیارهای کمی، کیفی و زیست محیطی تمرکز دارند، بنابراین اولویت‌بندی‌های مورد نظر در یک منطقه، می‌تواند در انتخاب نوع تکنیک‌های مورد استفاده تأثیرگذار باشد. از این رو بهینه‌سازی سیستم‌های زهکشی پایدار شهری به منظور یافتن بهترین گزینه‌های منطبق بر اولویت‌های تصمیم‌گیری و شرایط موجود منطقه، می‌تواند کمک بسیاری کند.

پی‌نوشت

- 1- fail-safe
- 2- safe-to-fail
- 3- robustness
- 4- recoverability

منابع

- of Faro, Portugal. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 6(2): 241-253.
- Blockley D., Agarwal J. and Godfrey P. 2012. Infrastructure resilience for high-impact low-chance risks, in: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Civil Engineering Special Issue 165, Issue CE6*. ICE Publishing, pp. 13-19.
- Butler D. 2016. Resilience framework, Safe and SURE Project. *International Perspectives on Water Resilience: a Bristol Workshop*.
- Butler D. and Davies J.W. 2011. *Urban Drainage*, 3rd ed. Spon Press, Taylor and Francis Group, London and New York.
- Carpenter S.R., Westley F. and Turner M.G. 2005. Surrogates for resilience of social-ecological systems. *Ecosystems*, 8: 941-44.
- Cumming G.S., Barnes G., Perz S., Schmink M., Sieving K.E., Southworth J., Binford M., Holt R.D. and Van Holt T. 2005. An Exploratory Framework for the Empirical Measurement of Resilience. *Ecosystems*, 8: 975-987.
- De Bruijn K.M. 2004a. Resilience and flood risk management. *Water Policy*, 6: 53-66.
- De Bruijn K. M. 2004b. Resilience indicators for flood risk management systems of lowland rivers. *International Journal of River Basin Management*, 2(3): 199-210.
- زحمتکش، ز. ۱۳۹۳. الگوی ارزیابی سازگاری و برگشت‌پذیری در مدیریت شهرهای ساحلی، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران.
- نظیف، س. ۱۳۸۹. تدوین الگوی ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر چرخه آب شهری، پایان نامه دکتری در رشته مهندسی عمران-آب، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
- Ahern J.F. 2011. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape*, 100: 341-343.
- Ashley R.M., Blanksby J., Cashman A. and Newman R. 2007. An adaptable approach to flood risk management for local urban drainage. *Defra Flood and Coastal Erosion Conference*, York.
- Batica J. 2015. Methodology for flood resilience assessment in urban environments and mitigation strategy development, PhD thesis, ther. Universite Nice Sophia Antipolis.
- Behzadian K., Kapelana Z. and Morley M.S. 2014. Resilience-Based Performance Assessment of Water-Recycling Schemes in Urban Water Systems, 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA., *Procedia Engineering*, 89: 719-726.
- Berte E. and Panagopoulos T. 2014. Enhancing city resilience to climate change by means of ecosystem services improvement: A SWOT analysis for the City

- Kjeldsen T.R. and Rosbjerg D. 2004. Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems. *Hydrological Sciences*, 49(5): 755 – 767.
- Klein R.J.T., Smit M.J., Goosen H. and Hulsbergen C.H. 1998. Resilience and Vulnerability: Coastal Dynamics or Dutch Dikes? *The Geographical Journal*, 164(3): 259-268.
- Lansey K. 2012. Sustainable, robust, resilient, water distribution systems, in: 14th Water Distribution Systems Analysis Conference. Engineers Australia, 1: 1–18.
- Mailhot A. and Duchesne S. 2010. Design Criteria of Urban Drainage Infrastructures under Climate Change. *Water Resources Planning and Management*, 136: 201–208.
- Malaekpour S.M., Yazdandoost F. and Tahmasebi Birgani Y. 2013. Assessment of Climate Change Impact on IDF Curves: Case Study for Tehran- Iran. *IAHR World Congress*, Tsinghua University Press, Beijing, China.
- McDaniels T., Chang S., Cole D., Mikawoz J. and Longstaff H. 2008. Fostering resilience to extreme events within infrastructure systems: Characterizing decision contexts for mitigation and adaptation. *Global Environmental Change*, 18: 310–318.
- McFadden L. 2001. Developing an integrated basis for coastal zone management with reference to the eastern seaboard of Northern Ireland. Ph.D. Dissertation, Queen's University of Belfast, Belfast, UK.
- Mens M.J.P., Klijn F., de Bruijn K.M. and van Beek E. 2011. The meaning of system robustness for flood risk management. *Environmental Science & Policy*, 14: 1121–1131.
- Mugume S., Gomez D. and Butler D. 2014. Quantifying the Resilience of Urban Drainage Systems Using a Hydraulic Performance Assessment Approach, 13th International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia.
- NIAC. 2009. Critical infrastructure resilience - Final report and recommendations.
- Pimm S.L. 1991. *The Balance of Nature? Ecological Issues in the Conservation of Species and Communities*. University of Chicago Press, Chicago.
- De Graaf R., van de Giesen N. and van de Ven F. 2009. Alternative water management options to reduce vulnerability for climate change in the Netherlands. *Journal Natural Hazards*, 51: 407-422.
- Djordjević S., Butler D., Gourbesville P., Mark O. and Pasche E. 2011. New policies to deal with climate change and other drivers impacting on resilience to flooding in urban areas: the CORFU approach. *Environ. Sci. Policy*, 14: 864–873.
- Francis R. and Bekera B. 2014. A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 121: 90–103.
- Gersonius B. 2008. Can resilience support integrated approaches to urban drainage management?, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.
- Gersonius B. 2012. The resilience approach to climate adaptation applied for flood risk, Ph.D. Thesis in Civil Engineering, UNESCO-IHE, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Gersonius B., Ashley R., Pathirana A. and Zevenbergen C. 2013. Climate change uncertainty: building flexibility into water and flood risk infrastructure. *Clim. Chang.*, 116: 411–423.
- Hashimoto T., Loucks D.P. and Stedinger J. 1982. Reliability, resilience and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*, 18(1): 14–20.
- Henry D. and Ramirez-Marquez J.E. 2012. Generic metrics and quantitative approaches for system resilience as a function of time. *Reliability Engineering and System Safty*, 99: 114–122.
- Holling C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 1–23.
- Jung D., Kang D., Kim J.H. and Lansey K. 2013. Robustness-based design of water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140: 1-14.
- Karamouz M., Szidarovsky F. and Zahraie B. 2003. *Water Resources System Analyses*. Leris Publ., Boca Raton, Fla.

- Walker B., Carpenter S., Anderies J., Abel N., Cumming G.S., Janssen M., Lebel L., Norberg J., Peterson G.D. and Pritchard R. 2002. Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology*, 6(1): 14. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol6/iss1/art14/>
- Walker B., Holling C.S., Carpenter S.R. and Kinzig A. 2004. Resilience, adaptability and transformability in socio-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2): 1-9.
- Wang T. 2005. Real Options "in" Projects and Systems Design-Identification of Options and Solution for Path Dependency. Phd thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Wang C. and Blackmore J.M. 2009. Resilience concepts for water resource systems. *Water Resources Planning and Management*, 135(6): 528 – 536.
- Yazdandoost F. and Moradian S. 2016. A resilient approach to Integrated Water Resources Management I Water Scarce Basins, *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(3S): 137-151.
- Yazdandoost F., Tahmasebi Birgani Y. and Moghadam M. 2013. Resilient Risk Management Strategies in Urban Drainage Systems, IAHR World Congress, Tsinghua University Press, Beijing, China.
- Sayers P., Gouldby B.P., Simm J.D., Meadowcroft I. and Hall J. 2003. Risk, Performance and uncertainty in flood and coastal defence – A review. R&D Technical report FD2302/TR1.
- Sendzimir J., Magnuszewski P., Flachner Z., Balogh P., Molnar G., Sarvari A. and Nagy Z. 2007. Assessing the resilience of a river management regime: informal learning in a shadow network in the Tisza River Basin. *Ecology and Society*, 13(1): 11. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art11/>.
- Tahmasebi Birgani Y. and Yazdandoost F. 2013. Urban Drainage Systems Risk Assessment under Climate Change Conditions, IAHR World Congress, Tsinghua University Press, Beijing, China.
- Tahmasebi Birgani Y. and Yazdandoost F. 2014. A framework for evaluating the persistence of urban drainage risk management systems, *Journal of Hydro-Environment Research*, 8(4): 330-342.
- Tahmasebi Birgani Y. and Yazdandoost F. 2016. Resilience in Urban Drainage Risk Management systems, *Journal of Water Management*, Institute of Civil Engineers publishing, 13 pages.
- Vis M., Klijn F., de Bruijn K.M. and van Buuren M. 2003. Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands. *International journal of river basin management*, 1(1): 33-40.

Identification of Expansion Rate in Active Gullies using Remote Sensing

A.A. Ghezelsofloo¹, M. Maghrebi^{2*}, F. Daroughe³

1- Assistant Professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, IAUM University, Mashhad, Iran. 2- PhD Student of Environmental Engineering, Water Resources, University of Tehran, Iran. 3- MSc Graduate of Agriculture Engineering, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: Maghrebi.mohsen@ut.ac.ir)

Received: 27-09-2016

Accepted: 23-12-2017

شناسایی و تعیین میزان گسترش در آبکندهای فعال با استفاده از سنجش از راه دور

عباسعلی قزل سوفلو^۱، محسن مغربی^{۲*}، فرزانه داروغه^۳

۱- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد. ۲- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست-منابع آب، دانشکده فنی، دانشگاه تهران. ۳- دانش آموزانه کارشناسی ارشد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Maghrebi.mohsen@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۰۲

Abstract

The gully erosion is one of several water erosions which their expansion causes significant changes in terms of land, land degradation, and destruction of the environment. To study the diversity and expansion of gullies and the development of gully erosion from one place to another, remote sensing and geographical information systems were used. To achieve the current research objectives, the spatial and temporal extent of gully erosion and expansion of the eroded areas were investigated using the Landsat 7 and 8 satellite images with a resolution of 30 m in the period of 2001 (1380) and 2014 (1393). The spatial resolution has been enhanced from 30 m to 15 m using the band PAN (15 meters) and technique Resolution merge. This method was applied to all bands and pictures for two different time periods. The results from combining two layers of waterways, in the period of 13 years, applied on the Shordareh basin located in Golestan province, showed an increase in the length of the gully and the drainage density of sub-basins. The erosion rate in the assumed period is estimated at 0.99 meters per year. The gully expansion is directly related to the geological formations, land use, and other human activities such as unprincipled construction of rural and inland roads.

Keywords: Gully erosion, Remote sensing, Shordareh, Drainage density.

چکیده

فرسایش خندقی از جمله انواع فرسایش آبی و تشدیدشونده است که رخداد و گسترش آن موجب تغییرات بارز در منظر زمین، پسرفت اراضی، صدمه به تأسیسات، آبخستگی و تخریب ایستگاه‌های هیدرومتری و محیط زیست می‌شود. باتوجه به تنوع و گسترش آبکندهای منطقه و گسترش فرسایش خندقی از نقطه‌ای به نقطه دیگر، به منظور شناسایی آن‌ها، از تکنیک سنجش از دور و سامانه اطلاعات مکانی استفاده گردیده است. برای دستیابی به اهداف تحقیق، تغییرات مکانی و زمانی فرسایش خندقی همراه با میزان گسترش اراضی خندقی شده، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و لندست ۸ با قدرت تفکیک ۳۰ متر در دو بازه زمانی ۲۰۰۱ (۱۳۸۰) و ۲۰۱۴ (۱۳۹۳) استفاده گردید. به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی، با استفاده از باند PAN (۱۵ متر) و تکنیک Resolution merge، اندازه پیکسل‌ها از ۳۰ متر به ۱۵ متر ارتقا داده شده است. این عملیات برای کلیه باندها در دو بازه زمانی انجام گرفته است. نتایج حاصل از پوشش دو لایه آبراهه‌ای، در بازه زمانی ۱۳ ساله در حوضه شوردره، واقع در حوضه آبریز رودخانه‌های قره‌سو و گرگان رود در استان گلستان، حاکی از افزایش طولی خندق‌ها و افزایش تراکم زهکشی زیرحوضه‌های آبریز دارد، به طوری که در بازه مورد نظر نرخ فرسایش ۰/۹۹ متر در سال برآورد شده است. گسترش خندق‌ها رابطه مستقیمی با سازند زمین‌شناسی کاربری اراضی و سایر اقدامات انسانی از جمله احداث غیراصولی راه‌های روستایی و درون مزرعه‌ای دارد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خندقی، سنجش از دور، شوردره، تراکم زهکشی.



شکل ۱- احداث ایستگاه هیدرومتری شورکال درگز



شکل ۲- پیشرفت سر آبکند پس از وقوع سیلاب

سنجش از دور، داده‌های همگن از مناطق وسیع و با قابلیت تکرارپذیری منظم فراهم می‌آورد. بنابراین می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب در ارزیابی فرسایش آبی در مقیاس منطقه‌ای بکار گرفته شود (Oguchi و Siakeu، ۲۰۰۰). یکی از نکات مهم به عنوان فناوری در سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، امکان دستیابی به اطلاعات کامل و صحیح از منطقه است که از طریق پردازش داده‌ها و اطلاعات پایه توسط سیستم رایانه در تلفیق با نرم‌افزارهای قابل اجرا در محیط GIS فراهم می‌گردد. Poesen و Govers (۱۹۹۰) با به کارگیری عکس‌های هوایی برای محاسبه حجم خندق‌ها به این نتیجه دست یافتند که اصولاً مطالعه طولانی مدت و دقیق فرسایش خندقی تنها از طریق استفاده از عکس‌های هوایی میسر می‌باشد. شناسایی اشکال فرسایش به علت وسعت کم آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی پایین با محدودیت روبرو است. قدرت تفکیک ماهواره‌هایی مانند لندست و اسپات به نظر می‌رسد که بهترین نوع داده ماهواره‌ای در تشخیص فرسایش‌های خندقی با اندازه‌های بزرگ و متوسط باشند.

Gabris و همکاران (۲۰۰۳) با مطالعه در زمینه فرسایش خندقی در مجارستان با استفاده از عکس‌های هوایی و تجزیه و تحلیل داده‌ها با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان داده‌اند که بررسی وضعیت فرسایش خندقی و توزیع مکانی آن در رابطه با عوامل مختلف مانند شیب، پوشش گیاهی و نوع خاک و بررسی و مطالعه روند شکل‌گیری و نحوه گسترش و تغییرات فرسایش خندقی، تنها در صورت در دسترس بودن عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای امکان‌پذیر است.

Millington و همکاران (۲۰۱۳) طی بررسی‌های صورت گرفته بر روی خندق‌های کوچک در فلات جنوبی لهستان، به این نتیجه رسیدند که خندق‌های کوچک به روش‌های مختلف در کف دره‌ها و یا در شیب آن‌ها تشکیل می‌شوند. همچنین نرخ متوسط فرسایش خندقی کوچک را ۰/۶۳ متر در سال، نرخ متوسط فرسایش خندقی

فرسایش خندقی از فرآیندهای مهم تخریب خاک است که در اقلیم‌های مختلف سبب تلفات قابل ملاحظه خاک و تولید مقادیر فراوان رسوب می‌شود. از طرف دیگر این نوع فرسایش، یکی از مخرب‌ترین و پیچیده‌ترین انواع فرسایش آبی محسوب می‌شود (محمدی، ۱۳۸۵). خندق یک آبراهه با کناره‌های دارای شیب تند و یک پیشانی فرسایشی پرشیب و فعال می‌باشد که با فرسایش ناشی از جریان سطحی متناوب (به‌طور معمول در طی یا پس از ریزش باران‌های شدید) ایجاد شده است (Poesen و همکاران، ۲۰۰۳). خندق‌ها در اثر توسعه در طول خطوط زه‌کشی و از بزرگ شدن آبراهه‌ها نیز حاصل می‌شوند (احمدی، ۱۳۹۰).

آبکندها کانال‌های عمیقی در جهت شیب هستند که به طور عمومی به وسیله‌ی رواناب به وجود می‌آیند و اغلب جریان دائمی ندارند (Kirkby و همکاران، ۲۰۰۹). فرسایش آبکندی که از انواع پیشرفته فرسایش می‌باشد در اثر تشدید دخالت‌های انسانی حاصل شده است و عامل و حامل اصلی رسوب به اراضی پایین دست می‌باشد که اثرات درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای گسترده‌ای از جمله برهم‌زدن چشم‌انداز منطقه، قطعه‌قطعه شدن اراضی، کاهش حاصلخیزی، آلودگی منابع آبی، پر شدن مخازن سدها و آب‌انبارها و غیره را در پی دارد. به‌طوری‌که دلیل توجه به فرسایش خندقی را نسبت به دیگر انواع فرسایش پر اهمیت می‌دانند (مختاری، ۱۳۸۲؛ صوفی و چرخابی، ۱۳۸۳؛ Sidorchuk و همکاران، ۲۰۰۱).

توسعه سرآبکندها گاه‌چنان سریع صورت می‌گیرد که با هیچ تدبیری نمی‌توان رشد آن‌ها را کنترل کرد. تدابیری هم که اندیشیده می‌شود، صرفاً در جهت کند کردن سرعت رشد آنها است. با بررسی رشد آبکندها در بازه‌های زمانی و مناطق مختلف و همچنین مشاهده برخی از آبکندها پیش و پس از رگبارهای شدید، می‌توان نتیجه گرفت که گسترش و پیشروی سرآبکندها با میزان بارندگی‌ها و تکرار وقوع رگبارهای شدید، رابطه‌ای مستقیم دارد. به عنوان مثال مقایسه رشد حجمی هدکت (پیشانی گالی‌ها) شورکال در منطقه درگز واقع در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که میزان رشد این خندق پس از وقوع سیلاب، ۲۰ متر طولی، ۵ متر عمودی و ۷ متر در عرض پیشرفت داشته است (شکل‌های ۱ و ۲). آبشستگی پایین دست ایستگاه هیدرومتری طاغان و ایستگاه درخت صنوبر واقع در تربت حیدریه نیز از جمله مواردی است که گسترش خندق‌های موجود در منطقه منجر به جابجایی ایستگاه شده است.

بررسی ابعاد مختلف فرسایش خندقی با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و با بهره‌گیری از تکنیک‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی افزون بر افزایش دقت نتایج، موجب صرفه‌جویی در زمان و کاهش حجم و مدت انجام مطالعات می‌شود (Desmet و Govers، ۱۹۹۷).

در شیب‌ها را ۵۲-۰/۲۱-۰ متر در سال و نرخ متوسط فرسایش در کف دره‌ها را ۱/۹۸-۰/۱۸ در سال برآورد کردند.

کمی‌سازی دینامیک فرسایش شیار می‌تواند در درک شکل‌گیری و تکامل فضایی و زمانی خندق‌ها کمک کند. تجزیه و تحلیل بصری برجسته بینی از یکسری از عکس‌های هوایی در گذشته برای اندازه‌گیری تغییرات زمانی (تنها برای تغییرات بسیار بزرگ در مورفولوژی در طول زمان) در طول، مساحت، حجم و یا چگالی (طول کل، تعداد کل) استفاده می‌شد (Burkard و Kostaschuk، ۱۹۹۷) با قابل دسترس شدن تجزیه و تحلیل زمانی از تصاویر ماهواره‌ای، مشاهده تغییرات دراز مدت در مناطق فعال آبکندهای پیچیده امکان‌پذیر شده است.

تصاویر چند طیفی هواپرد با قدرت تفکیک مکانی متوسط، مانند لندست (۳۰ متر) و یا ASTER (۱۵ متر) در منطقه مرئی و مادون قرمز نزدیک از طیف الکترومغناطیسی (۴۰۰-۱۰۰۰ نانومتر)، می‌بایست به همراه عکس‌های هوایی و سایر اطلاعات مرتبط استفاده شود و با داده‌های میدانی پشتیبانی شود، تا بتوان اطلاعات منطقه را در زمین‌های فرسایش یافته استخراج نمود (Brooks و

مواد و روش‌ها

حوضه شوردره در محدوده جغرافیایی $10^{\circ} 36' 55''$ تا $51^{\circ} 43' 55''$ طول شرقی و $26^{\circ} 25' 37''$ تا $40^{\circ} 46' 35''$ عرض شمالی و در استان گلستان با مساحت ۱۲۰ کیلومتر مربع قرار گرفته است. این حوضه در بخش مرکزی شهرستان کلالة و دهستان‌های تهران، مراوه تپه و زاوه‌کوه قرار گرفته است. شکل (۳) موقعیت منطقه طرح را نشان می‌دهد. این حوضه با بارش متوسط سالانه ۴۶۵ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۵/۸ درجه سانتیگراد دارای اقلیم نیمه خشک می‌باشد. بخش اعظم تشکیلات زمین‌شناسی منطقه را رسوبات لسی تشکیل

روش تحقیق

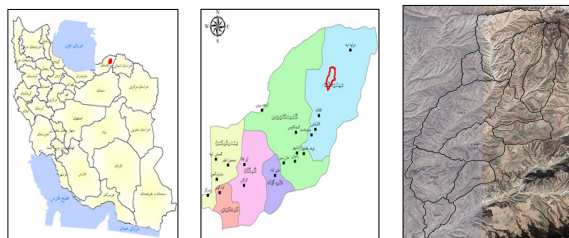
جهت انجام این طرح از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و لندست ۸ (قدرت تفکیک ۳۰ متر) در دو بازه زمانی ۲۰۰۱ (۱۳۸۰) و ۲۰۱۴ (۱۳۹۳) استفاده شد. به منظور افزایش کیفیت و وضوح بهتر آبکندها، با استفاده از باند pan قدرت تفکیک ۳۰ متر به ۱۵ متر ارتقا داده شد. مشخصات تصاویر مورد استفاده به شرح جدول (۱) آمده است. تکنیک‌های متفاوتی جهت بارزسازی تصویر وجود دارد که به‌طور کلی به سه دسته بارزسازی رادیومتریک، بارزسازی مکانی و بارزسازی طیفی تقسیم می‌شود. انتخاب تکنیک بارزسازی باتوجه به هدف مطالعات و انتظار از استخراج نوع خاصی از اطلاعات صورت می‌گیرد. ابتدا به منظور افزایش قدرت تفکیک مکانی، با استفاده از

همکاران، ۲۰۰۹؛ Pelikka و همکاران، ۲۰۰۵).

تجزیه و تحلیل بصری از داده‌های ماهواره‌ای، پیگیری منطقی برای تفسیر عکس‌های هوایی، به ترسیم تغییرات در ویژگی‌های شیار مورد استفاده قرار گرفت (Singh، ۱۹۷۷). این طبقه‌بندی براساس تکنیک حداکثر احتمال مبتنی بر پیکسل (MLC)^۱ برای تشخیص ویژگی‌های فرسایش شیار انجام می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا امکان مناسبی برای بررسی فرسایش شیار و پویایی آن را ارائه می‌دهد (Giordano و Marchisio، ۱۹۹۱؛ Vrieling و همکاران، ۲۰۰۷).

آبکندها ممکن است تازه و فعال به نظر برسند درحالی‌که در واقع بسیار قدیمی و پایدار هستند (Valentin و همکاران، ۲۰۰۵). شواهدی وجود دارد که سیستم‌های خندقی بزرگ در نتیجه رخدادهای بارندگی شدید با دفعات تکرار بسیار کم و یک‌باره ایجاد شده‌اند و فعالیت‌های پس از آن به آهستگی صورت می‌پذیرد (Pelikka و همکاران، ۲۰۰۵). مطالعه حاضر با هدف تجزیه و تحلیل تغییرات در سیستم‌های خندق‌ها در یک دوره سیزده ساله از (۲۰۱۴-۲۰۰۱) در منطقه شوردره استان گلستان صورت پذیرفته است.

داده است به‌طوری‌که از روستای آق‌چاتال یعنی تا ارتفاعات قرقا در غرب حوضه و ارتفاعات آرامابای راق در شرق حوضه، فقط رسوبات لسی دیده شده است.



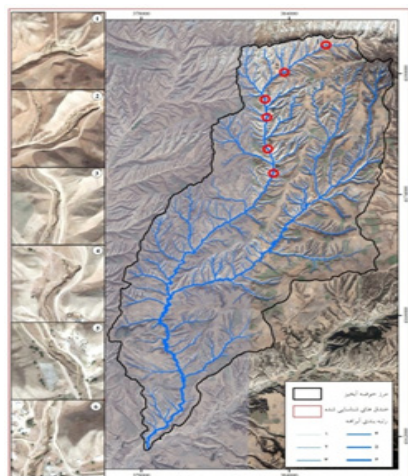
شکل ۳- موقعیت محدوده مطالعاتی در ایران و استان گلستان

باند PAN (۱۵ متر) و تکنیک Resolution merge، اندازه پیکسل‌ها از ۳۰ متر به ۱۵ متر ارتقا یافت. این عملیات برای کلیه باندها و در تصاویر دو زمان انجام شد.

جدول ۱- تصاویر مورد استفاده در پردازش تصاویر ماهواره‌ای

نام سنجنده	تاریخ اخذ تصویر	تعداد باند	قدرت تفکیک
Landsat 7 (ETM+)	۲۰۰۱/۰۹/۰۹	۸	۳۰ متر (مرئی و مادون قرمز) ۶۰ متر (حرارتی) ۱۵ متر (پانکروماتیک)
Landsat 8	۲۰۱۴/۰۷/۲۲	۹	۳۰ متر (مرئی و مادون قرمز) ۶۰ متر (حرارتی) ۱۵ متر (پانکروماتیک)

این دو سال دو پوشش پلیگونی می‌باشد که هر دو بر اساس سیستم مختصات UTM-40-n زمین مرجع شده‌اند. دو پوشش پلیگونی با استفاده از تابع union، روی هم گذاشته شدند. نتیجه این کار یک پوشش پلیگونی جدید است که اطلاعاتی در مورد هر کلاس نقشه جدید در زمان‌های متناوب می‌دهد، این اطلاعات به صورت دو بعدی (سطحی) در دوره‌های زمانی مشاهده شده، و دارای تغییراتی است که از روی آن مقدار عقب‌نشینی دیواره‌های آبکند محاسبه، میزان آن استخراج و برای هر خندق اندازه‌گیری شد (شکل‌های ۵ و ۶).



شکل ۵- شبکه زهکشی آبراهه‌ها و موقعیت آبکندهای شناسایی شده



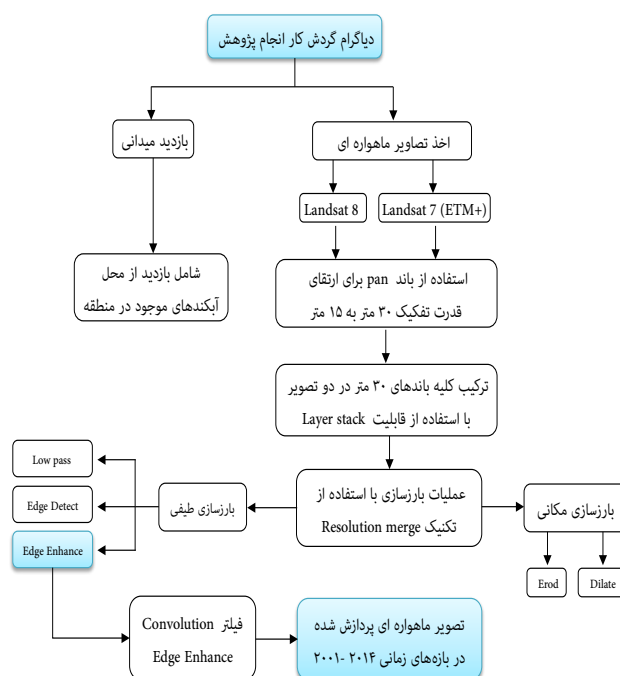
شکل ۶- میزان پیشرفت پیشانی خندق‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای



شکل ۷- نمایی از خندق‌ها در محدوده مورد مطالعه

برای بهبود دید بصری تصاویر و وضوح بهتر آبکندها جهت تشخیص میزان پیشروی و تراکم آنها، از میان روش‌های بارزسازی طیفی تکنیک (Principal Component) و از میان روش‌های بارزسازی مکانی، فیلتر Convolution در روش‌های متفاوت Edge Enhance، Edge Detect و Low pass در پنجره 3×3 و همچنین فیلتر Morphological Operators در روش‌های Erode و Dilate در پنجره 3×3 به منظور حصول بهترین نتیجه مورد آزمایش قرار گرفتند. باتوجه به نتایج به دست آمده، روش‌های مکانی قابلیت بهتری در بارزسازی سیستم‌های زهکشی و آبکندها به نمایش گذاشتند که در نهایت فیلتر Convolution با روش Edge Enhance به عنوان تکنیک بارزسازی انتخابی استفاده شده است.

به منظور به حداقل رساندن داده‌های کم ارزش و استفاده حداکثر از اطلاعات مفید و مورد نیاز لازم است باندهای مناسب برای ساخت تصویر رنگی استفاده شود. انواع مختلفی از ترکیب باندی برای تصاویر لندست پیشنهاد شده است که در این طرح از ترکیب باندی ۳-۵ برای ساخت تصویر رنگی و بارز نمودن هر چه بیشتر آبکندها در تصاویر حاصل شده از فیلتر Edge Enhance استفاده شد. نمودار زیر مراحل انجام کار را نشان می‌دهد.



شکل ۴- فلوچارت انجام مطالعات

نتایج و بحث

به منظور تعیین میزان گسترش در آبکندهای فعال، نقشه نواحی آبکندی شده‌ی سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد نظر با بهره‌گیری از نرم افزار ArcMap و سامانه داده‌های جغرافیایی (GIS) مشخص و ترسیم شد. نتیجه ترسیم مرز آبکندها در

پیشروی در محدوده سرخندق غالباً به صورت حفره‌ای صورت گرفته است به نحوی که خندق در ناحیه افق‌های میانی تا زیری انحلال پیدا کرده و ریزش می‌نماید. سپس سطح بالایی خندق نیز یک مرتبه فرو می‌ریزد و باعث پیشروی آن می‌شود. این نشان‌دهنده لایه‌های سست، وجود املاح و یا عناصر انحلال‌پذیر در این بخش از خاک است که این عمل با حضور مستمر آب صورت می‌گیرد و در قسمت دیواره‌ها یا بدنه خندق‌ها نیز پیشروی به صورت یکدست می‌باشد (شکل ۷). باتوجه به مقادیر اندازه‌گیری شده از طریق تصاویر ماهواره‌ای، میانگین رشد طولی خندق‌ها در سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۱، مقدار ۰/۹۹ متر در سال اندازه‌گیری شد. این نتایج تا حدودی نزدیک به نتایج عوض‌زاده توکلی (۱۳۸۸) که متوسط رشد طولی خندق‌ها

در طول دو دوره ۲۴ ساله، ۱/۳۶ متر در سال و ۱۶ ساله، ۱/۲۳ متر در سال برآورد کرده مطابقت دارد. اما دیگر محققان متوسط رشد طولی خندق در مناطق دیگر را کمتر از این مقدار برآورد کرده‌اند. این اختلاف می‌تواند به دلیل حساسیت بالای منطقه مورد مطالعه به فرسایش، مخصوصاً فرسایش خندقی باشد (محمدی، ۱۳۸۵). در دوره ۵۰ ساله، ۰/۲۰۶ متر در سال (Schlindwein، ۲۰۰۴)، ۰/۷۳-۰/۱ متر در سال (Pellikka و همکاران، ۲۰۰۵)، ۰/۶۳ متر در سال در خندق‌های کوچک و ۰/۲۱-۰/۵۲ متر در سال در شیب‌ها و ۰/۱۸-۱/۹۸ متر در سال در کف دره‌ها (Martinez، ۲۰۰۳)، در یک دوره ۳۴ ساله ۰/۲ متر در سال و حداکثر نرخ پیشروی هدکت (پیشانی گالی) خندق‌ها را ۰/۷ تا ۰/۸ متر در سال برآورد کرده‌اند.

جدول ۲- متوسط گسترش طولی در خندق‌های مورد مطالعه در طول دوره

شماره خندق	مختصات سرخندق در سال ۲۰۰۱		مختصات سرخندق در سال ۲۰۱۴		گسترش طولی آبکند در طول دوره (متر در سال)	نرخ فرسایش
	X	Y	X	Y		
۱	۴۱۸۱۳۹۴	۳۸۵۵۴۰	۴۱۸۱۳۹۲	۳۸۵۵۶۲	۱۲/۴۴	۰/۹۶
۲	۴۱۸۰۱۳۲	۳۸۳۸۹۴	۴۱۸۰۱۳۳	۳۸۳۹۰۵	۱۷/۶۹	۱/۳۶
۳	۴۱۷۸۷۶۵	۳۸۳۰۲۵	۴۱۷۷۸۷۲	۳۸۳۰۲۲	۱۳/۸۷	۱/۰۷
۴	۴۱۷۷۸۵۸	۳۸۳۱۲۱	۴۱۷۷۸۷۶	۳۸۳۱۳۹	۹/۱۲	۰/۷
۵	۴۱۷۶۳۰۵	۳۳۸۳۱۲۳	۴۱۷۶۳۱۹	۳۸۳۱۱۰	۱۱/۸۹	۰/۹۱
۶	۴۱۷۵۱۴۶	۳۸۳۳۳۹	۴۱۷۵۱۵۵	۳۸۳۳۴۴	۱۲/۹	۰/۹۹

جمع بندی و نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف تعیین تغییرات سیستم خندق‌ها در دوره زمانی (۲۰۱۴ - ۲۰۰۱) تدوین شده است. به منظور دستیابی به پراکنش آبکندهای منطقه و تغییرات آن در منطقه، از تصاویر ماهواره‌ای منطقه در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ استفاده شد.

بررسی و تحلیل نتایج مربوط به شکل‌گیری و گسترش مکانی فرسایش خندقی در منطقه تحقیق در رابطه با سازندهای زمین‌شناسی و ریخت‌شناسی و خاک، نشان‌دهنده نقش و مشارکت مستقیم عوامل مذکور در رخداد و گسترش انواع شکلی خندق است. به طوری که اکثر خندق‌ها در منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر نیروی تنش برشی و قدرت حمل رواناب‌های متمرکز همراه با انحلال مواد موجود در سنگ بستر و خاک (نهشته‌ها و خاک‌های لسی) در اثر رخداد فرسایش انحلالی به‌ویژه در تپه اراضی کم شیب میان تپه‌ای در تراس‌های کم‌شیب ایجاد و در شرق حوضه گسترش یافته‌اند.

بررسی میانگین گسترش طولی خندق در طول دوره مطالعاتی نشان می‌دهد که خندق ۲ بیشترین میزان گسترش طولی به میزان ۱/۳۶ متر در سال را به خود اختصاص داده است (جدول ۲).

باتوجه به فعال بودن آبکندها، به‌ویژه در ماه‌های پر بارش سال، به‌منظور اتخاذ تدابیری در جهت جلوگیری از رشد سریع آنها یا به حداقل رساندن رشد آنها، ابتدا باید ریخت‌شناسی و سپس نحوه و علل رشد آبکندها را مطالعه کرد.

پی‌نوشت

1- Maximum likelihood concept

منابع

احمدی، م. ۱۳۹۰. تحلیل عوامل موثر بر شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی (مطالعه موردی: حوضه دشت کهور لامرد، فارس). پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران. صفحه ۱۰۳.

صوفی، م. و چرخابی، ا. ح. ۱۳۸۳. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی فرآیند ایجاد خندق و نرخ رشد آن در لامرد و مرودشت. نشریه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران، صفحه ۹۵.

عوض‌زاده توکلی، ف. ۱۳۸۸. برآورد میزان گسترش طولی خندق

- tion of gully erosion. *Catena*, 50(2-4): 293-308.
- Poesen J. and Govers G. 1990. Gully erosion in the loam belt of Belgium: typology and control measures. In *Soil erosion on agricultural land. Proceedings of a workshop sponsored by the British Geomorphological Research Group, Coventry, UK, January 1989.* (pp. 513-530). John Wiley & Sons Ltd..
- Poesen J., Nachtergaele J., Verstraeten G. and Valentin C. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50(2-4): 91-133.
- Schindwein P.A. 2004. Evolution of Piedmont Floodplains and Stream Channels: Implication for Urban Stream Restoration. World Water and Environmental Resources Congress, Salt Lake City, Utah, United States.
- Siakeu J. and Oguchi T. 2000. Soil erosion analysis and modelling: a review. *Transactions of the Japanese Geomorphological Union*, 21(4): 413-429.
- Pellikka P.K.E., Clark B.J.F., Sirviö T. and Masalin K. 2005. September. Environmental change monitoring applying satellite and airborne remote sensing data in the Taita Hills, Kenya. In *Proceedings of the 1st International Conference on Remote Sensing and Geoinformation Processing in the Assessment and Monitoring of Land Degradation and Desertification*, Trier, Germany (7-9).
- Sidorchuk A., Borisova O. and Panin A. 2001. Fluvial response to the Late Valdai/Holocene environmental change on the East European Plain. *Global and Planetary Change*, 28(1-4): 303-318.
- Singh B.M. 1977. Interpretation of satellite imagery for delineation of ravines. *Journal of the Indian Society of Photo-Interpretation*, 5(1): 3-31.
- Vrieling A., Rodrigues S.C., Bartholomeus H. and Sterk G. 2007. Automatic identification of erosion gullies with ASTER imagery in the Brazilian Cerrados. *International Journal of Remote Sensing*, 28(12): 2723-2738.
- Valentin C., Poesen J. and Li Y. 2005. Gully erosion: impacts, factors and control. *Catena*, 63(2-3): 132-153.
- با استفاده از مدل (مطالعه موردی: استان بوشهر). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- محمدی، ع. ا. ۱۳۸۵. واسنجی چهار مدل پیش‌بینی رشد طولی فرسایش خندقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- مختاری، ا. ۱۳۸۲. بررسی ویژگی‌های مورفوکلیماتیک خندق‌های استان اصفهان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. انتشارات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. صفحات ۴۲-۴۹.
- Brooks A.P., Shellberg J.G., Knight J. and Spencer J. 2009. Alluvial gully erosion: an example from the Mitchell fluvial megafan, Queensland, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 34(14): 1951-1969.
- Burkard M.B. and Kostaschuk R.A. 1997. Patterns and controls of gully growth along the shoreline of Lake Huron. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group*, 22(10): 901-911.
- Desmet P.J.J. and Govers G. 1997. Two-dimensional modelling of the within-field variation in rill and gully geometry and location related to topography. *Catena*, 29(3-4): 283-306.
- Gábris G., Kertész Á. and Zámbo L. 2003. Land use change and gully formation over the last 200 years in a hilly catchment. *Catena*, 50(2-4): 151-164.
- Giordano A. and Marchisio C. 1991. Analysis and correlation of the existing soil erosion maps in the Mediterranean basin. *Quaderni di Scienza del Suolo*, 3 :97-132.
- Kirkby A., Clark D. and McPherson A. 2009. Drainage Modification Associated with the Northern Lapstone Structural Complex, New South Wales, Australia. *Geoscience Australia*.
- Millington A.C., Walsh S.J. and Osborne P.E. eds. 2013. GIS and remote sensing applications in biogeography and ecology (Vol. 626). Springer Science & Business Media.
- Martinez-Casasnovas J.A. 2003. A spatial information technology approach for the mapping and quantifica-

Flood Risk Management Analysis based on Concepts of Hazard, Exposure, and Vulnerability by Providing Frameworks and Models

M. Hajibigloo^{1*}, V. Sheikh²

1,2- Ph.D Student & Associate Professor of Watershed Management, Gorgan University, Gorgan, Iran.

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

Received: 02-02-2017

Accepted: 28-08-2017

تحلیل مدیریت ریسک سیلاب براساس مفاهیم خطر، مواجهه و آسیب پذیری با ارائه چارچوب ها و مدل ها

محبوبه حاجی بیگلر^{۱*}، واحدبردی شیخ^۲

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری رشته آبخیزداری و دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۰۶

Abstract

Flood risk management is a comprehensive approach which includes various evaluation indicators in river basins, it is an effective and sustainable but complex method. Flood risk assessment provides valuable information to assess vulnerability and exposure to hazard. For assessing the flood risk in river basins, several models such as RF, DSS, ANN, RFM, SVM, and GA are used to study the effective parameters of flood risk which have been used in different watersheds for the determination of the importance of these indicators. Determining a suitable model for use on the basin scale requires the consideration of the model suitability for the basin local conditions, data requirements, model complexity, accuracy and validity of the model, model hypothesis, spatial and temporal variation of the model, model components, and user target. In general, there is no model suitable for all conditions. Problems related to the inability to identify, the lack of uniqueness of the model, and the physical incomprehensibility of calibration parameters are some of the issues that are caused by the application of distributive and physical models. These issues also exist in complex conceptual models. To meet the growing needs of field administrators, it is necessary to have tools that can be fully used to investigate the spatial distribution of floods and the transport of river materials. As a general and practical rule, the development of distributed models with a relatively low physical complexity is recommended.

Keywords: Hazard, Vulnerability, Flood risk assessment, Flood risk management, Modeling.

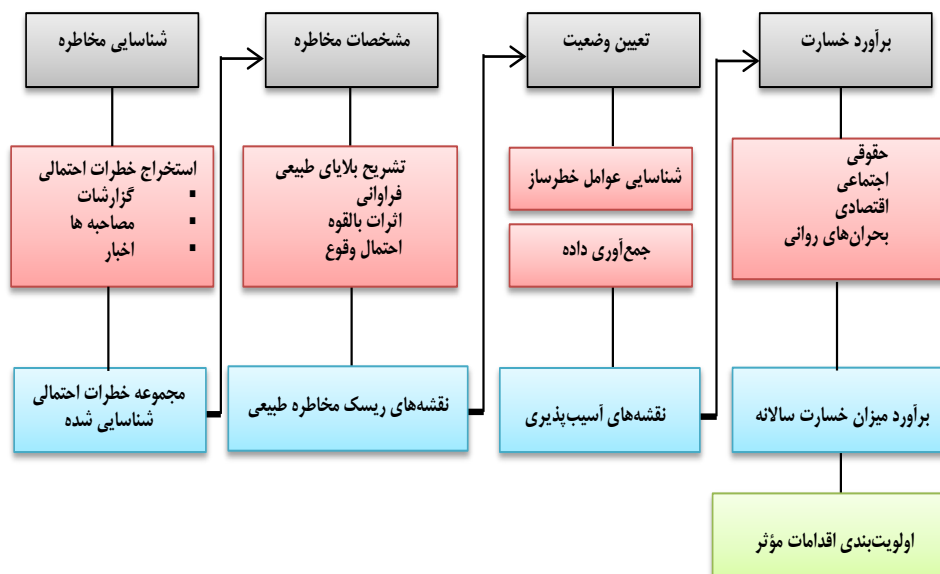
چکیده

مدیریت ریسک سیلاب رویکردی جامع است که شامل شاخص های متعدد ارزیابی در حوضه آبخیز رودخانه ها و یک روش مؤثر و پایدار ولی پیچیده است. ارزیابی ریسک سیلاب به منظور بررسی میزان آسیب پذیری و مواجهه با خطر، اطلاعات ارزشمندی را برای مدیریت ریسک سیلاب فراهم می کند. در ارزیابی ریسک سیلاب در حوزه های آبخیز رودخانه ها از مدل های متعددی از قبیل RF^۱، DSS^۱، ANN^۲، RFM^۳، SVM^۴ و GA^۵ به منظور بررسی شاخص های مؤثر در ریسک سیلاب و تعیین درجه اهمیت این شاخص ها در حوزه های آبخیز مختلف استفاده شده است. تعیین مدل مناسب برای کاربرد در مقیاس حوضه نیازمند در نظر گرفتن شایستگی مدل برای شرایط محلی حوضه، نیازهای داده ای، پیچیدگی مدل، صحت و اعتبار مدل، فرضیات مدل، تغییرات زمانی مکانی مدل، مؤلفه های مدل و هدف کاربر مدل می باشد. به طور کلی، مدلی که برای تمامی شرایط مناسب باشد، وجود ندارد. مشکلات مربوط به عدم قابلیت شناسایی، عدم منحصر به فرد بودن مدل و تفسیرناپذیری فیزیکی پارامترهای واسنجی جزء مواردی است که با کاربرد مدل های توزیعی، فیزیکی ایجاد می شود. این مسائل همچنین در مدل های مفهومی پیچیده نیز دیده می شود. به منظور رفع نیازهای روبه رشد مدیران حوضه به ابزارهایی که بتوانند از آن به طور کامل در جهت بررسی توزیع های مکانی سیلاب و انتقال مواد رودخانه ای استفاده کنند، مطالعه جامعی روی این ابزارها نیاز است. به عنوان یک قاعده کلی و عملی، توسعه ای مدل های توزیعی با پیچیدگی نسبتاً کم و فیزیکی توصیه می شود.

واژه های کلیدی: خطر، آسیب پذیری، ارزیابی ریسک سیلاب، مدیریت ریسک سیلاب، مدل سازی.

و همکاران، ۲۰۱۳). مدیریت مخاطرات، مدیریتی سیستماتیک از تصمیمات اجرایی، سازمان‌ها، قابلیت‌ها و مهارت‌های عملکردی برای اجرای سیاست‌ها، استراتژی‌ها و قابلیت‌های مقابله‌ای اجتماعی یا فردی همراه با تقلیل برخوردها و وقایع مخاطرات طبیعی، محیطی و تکنولوژیکی می‌باشد (IPCC، ۲۰۰۷). به عبارت دیگر مدیریت بلایا، به معنای رویارویی‌های گوناگون با مخاطرات و ظرفیت‌ها برای مقابله با مخاطرات سیستماتیک در جوامع روستایی و شهری است (Said و همکاران، ۲۰۱۵). فرآیند شناسایی بلایا به عنوان پایه‌ای برای توسعه راهبردهای مقابله با ضرورت‌های ویژه، جهت تخصیص منابع و اولویت‌ها و استانداردها در تأمین امنیت عمومی به کار می‌رود (Kaewkitipong و همکاران، ۲۰۱۲) (شکل ۱). براین اساس برنامه‌ریزی و انجام اقدامات جامع جهت پیشگیری و کاهش خسارات سیل در قالب طرح‌های مطالعاتی و اجرایی اهمیت بسزایی در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار دارد.

سیلاب‌های اخیر به وقوع پیوسته در بسیاری از شهرها منجر به خسارت‌های زیادی شده است. در طی چندین دهه گذشته سیلاب‌ها منجر به خسارت‌های اقتصادی و تلفات انسانی بسیاری در مناطق مختلف جهان شده است (Guo و همکاران، ۲۰۱۴). براساس آمار جمع‌آوری شده در طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۵ در اثر وقوع سیلاب‌ها، مرگ ۷ میلیون انسان و ۶۰۰ میلیارد دلار خسارت را شاهد بودیم. اما هنوز هم وقوع سیلاب‌های با فراوانی و با شدت زیاد در طی سال‌های اخیر را شاهد هستیم که اغلب در اثر بالا آمدن سطح آب دریا و فراوانی وقوع بارندگی‌های خیلی شدید می‌باشد (Stathis و Stefanidis، ۲۰۱۳؛ Stephane و همکاران، ۲۰۱۳). با این تفاسیر تعریف استراتژی‌های بهینه‌سازی مدیریت سیلاب يك امر ضروری می‌باشد (Ballesteros-Cánovas)



شکل ۱- گام‌های مدیریت مخاطره (Kaewkitipong و همکاران، ۲۰۱۲)

سیلاب تلفیقی از تمامی این رویکردها انگاشته می‌شود (Foudi و همکاران، ۲۰۱۵). از دهه ۲۰۰۰ به بعد عمده تأکید نظریه‌پردازان مدیریت سیل بر رویکرد چندهدفی یا کل‌نگر و سیستمی است که ترکیب انطباقی از دو شیوه ساختاری و غیر ساختاری می‌باشد.

رهیافت‌های مدیریت مخاطره سیل

با در نظر گرفتن فرآیند و چرخه مدیریت مخاطرات، رویافت‌های مدیریت مخاطرات محیطی می‌تواند به سه دسته تقسیم شود (جدول ۱).

ریسک سیلاب عموماً به منظور اندازه‌گیری احتمال وقوع سیلابی که به وقوع خواهد پیوست، تعریف می‌شود (Erdlenbruch و همکاران، ۲۰۰۹). وقوع سیلاب معمولاً در نتیجه يك وضعیت خاص، شدت زیاد بارندگی و یا تغییرات محیط جغرافیایی به وقوع می‌پیوندد که اغلب تشخیص ارتباط بین این شاخص‌ها دارای اهمیت می‌باشد. امروزه توجه به مدیریت ریسک سیلاب نیز ساختار بسیار پیچیده‌ای به خود گرفته است و از رویکردهای راهبردی مختلفی برای مبارزه با آثار منفی بلایای طبیعی استفاده می‌شود (Immitzer و همکاران، ۲۰۱۲). برخی از این رویکردها فیزیکی و زیرساختی، برخی اجتماعی و برخی نهادی بوده‌اند، اما در دیدگاهی سیستماتیک، مدیریت

جدول ۱- مقایسه رهیافت‌های مدیریت مخاطرات محیطی (Foudi و Osés-Eraso، ۲۰۱۴)

رهیافت مدیریت بالا به پایین (سیاستهای استاندارد)	رهیافت مدیریت پایین به بالا (مبتنی بر جوامع)	رهیافت مدیریت مشارکتی تلفیقی
- صرفاً تکنولوژی محور - دستوری و کنترلی (بالا به پایین) - توجه به آیین‌نامه‌ها و قوانین - پیوند ضعیف بین مدیریت بلایا و توسعه پایدار - عدم توجه به آسیب‌پذیری - تصمیمات از مقامات بالا براساس درک آن‌ها از نیازها و عدم توجه به مشارکت مردم در فرآیند تصمیم‌گیری و اجرای فعالیت‌ها - دولت مسئول تعدیل بلایا - بی‌توجهی به منابع و امکانات محلی و توجه به تکنولوژی و مهارت‌های خارجی - توجه به اجتماعات تنها به عنوان قربانیان یا گیرندگان کمک‌ها	- مشارکت محور - مردم محور (پایین به بالا) - توجه به موقعیت جوامع و ارزیابی خطر - ارتباط قوی با فرآیند توسعه (توجه به پیشرفت عمومی کیفیت زندگی مردم و محیط) - راهبرد اصلی کاهش آسیب‌پذیری (افزایش ظرفیت جوامع برای واکنش به وقایع غیرمترقبه) - تأکید بر مشارکت مردم در تمامی مراحل تصمیم‌گیری مدیریت بحران - عدم پذیرش مسئولیت کمک به اجتماعات حادثه دیده توسط نیروهای بیرونی و دولتی - توجه به تفاوت‌های اجتماعی و فرهنگی - تأکید بر ظرفیت‌ها و توانایی‌های موجود - توجه به جمعیت محلی آسیب‌دیده به عنوان افرادی با توانایی عمل و مشارکت	- رویکردهای مشارکتی همسو با تکنولوژی‌های به‌روز مدافع زیست محیط پایدار - مدیریت سازگار با نیازهای مردمی با اتخاذ سازگارترین تکنولوژی‌ها - راهبردهای مدیریتی قانون محور برای نهادهای مسئول طبق قوانین اولویت‌بندی شده براساس نظرات و نیازهای مردم محلی - راهبردهای انطباقی بین سیاست‌های مدیریتی با شرایط محیطی و محلی در تدوین قوانین - اتخاذ راهبردی توسعه مبنای هدف ارتقای سطح استانداردهای مقاومتی و زیرساختی - رویکرد مشارکتی محور با توجه به ابعاد مؤثر در پایداری اکولوژیکی در مدیریت (زیرساختی، فنی، اقتصادی) - راهبردهای همسو با توانمندسازی اجتماعات محلی در جهت برطرف نمودن ابعاد آسیب‌پذیری اجتماعات - نهاد سازی برای ارتقا ظرفیت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی اجتماعی و زیست (ارتقا استانداردها) - راهبردهای مشارکتی بین مردم و نهادهای ذی‌ربط مدیریت بحران (جهت اجماع نظر و سیاست‌گذاری در تعیین اولویت‌های پیش‌روی یک اجتماع در طی بحران و سپس تصمیم‌گیری) - راهبردهای نظارتی و اجرایی نهادها - توأم با مشارکت مردم محلی



شکل ۲- چرخه مدیریت مخاطره طبیعی

در تمام مراحل ذکر شده در مدیریت ریسک سیلاب فرآیند تصمیم‌گیری در محیط مشارکت چندجانبه صورت می‌گیرد و به‌گونه‌ای پیچیده بدنبال دستیابی به اهداف چند معیاره طبیعت خود است (Akter و Simonovic، ۲۰۰۶). برای وصول به اهداف فوق تعدادی گزینه‌ی راهبردی ممکن وجود دارد که سطوح متفاوتی از رضایتمندی برای مسائل مختلف نظیر مسائل اقتصادی، اجتماعی، نهادی، سیاسی و محیطی را تأمین می‌نماید. در برخی از کشورها و جوامع، عدم شکل‌گیری هم‌افزایی مدیریتی در

اقدامات راهبردی مدیریت ریسک سیلاب

مدیریت بحران دارای ماهیت استراتژیک است و بین مدیریت استراتژیک و مدیریت بحران ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. وقوع يك بحران می‌تواند استراتژی جاری و اقدامات استراتژیک را نیز در يك جامعه/سازمان تغییر دهد (Kaewkitipong و همکاران، ۲۰۱۲). از طرف دیگر، بدون انجام اقدامات استراتژیک در حوزه مدیریت بحران، احتمال وقوع رخدادهای بحرانی نیز زیاد می‌شود. زیرا در برنامه‌ریزی راهبردی امکان توجه همزمان به عوامل و نیروهای درونی و بیرونی مؤثر در فرآیند مدیریت بحران فراهم بوده و زمینه را برای مدیریت یکپارچه امکان‌پذیر می‌سازد. این امر به‌ویژه در رابطه با ریسک سیلاب که حاصل تأثیرگذاری عوامل مختلف درونی و بیرونی می‌باشد، بسیار مهم است (شکل ۲). براین‌اساس می‌توان گفت مدیریت یکپارچه ریسک سیلاب، فرآیند توسعه یکپارچه نسبت به رهیافت تک‌ساختاری یا جزئی‌نگر به مدیریت سیلاب است. در واقع پنج عنصر کلیدی در مدیریت ریسک سیلاب، اهداف این نوع مدیریت را مشخص می‌کند که عبارت‌اند از: ۱- توسعه پایدار: توسعه متعادل نیازها و ریسک سیلاب، ۲- افزایش مزایا: تضمین امنیت ساکنین، تسکین و کاهش فقر، ۳- کاهش آسیب‌پذیری ۴- کاهش تلفات جانی ۵- حفاظت محیطی (Evers و همکاران، ۲۰۱۶).

و هم در سطح مدیریت سازمانی وجود دارد که مانع از شکل‌گیری نظام مدیریت راهبردی کارآمد در زمینه مدیریت بحران سیل می‌گردد (جدول ۲).

زمینه مدیریت سیلاب‌ها، منجر به کاهش سطح راندمان و کارایی و کارآمدی برنامه‌ریزی راهبردی می‌شود. براین اساس در مدیریت سیلاب، چالش‌ها و موانع متعددی هم در سطح مدیریت منطقه‌ای

جدول ۲- چالش‌های مدیریت ریسک سیلاب (Akter و Simonovic، ۲۰۰۶)

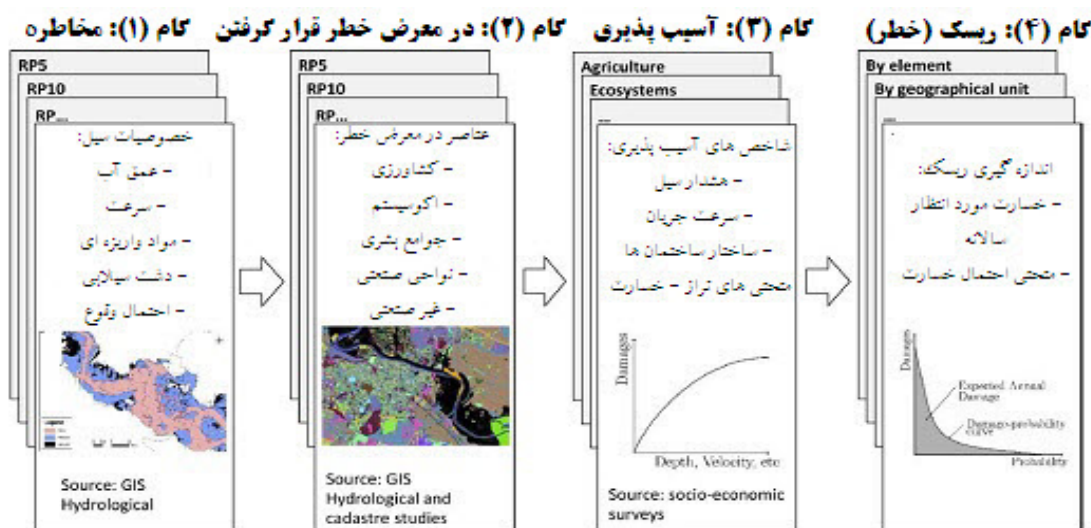
چالش‌های ناشی از عملکرد سازمان‌های متولی مدیریت ریسک سیلاب	چالش‌های مردمی در مدیریت ریسک سیلاب
- عدم توجه مسئولان به مقوله مشارکت - ضعف آموزش مردم در رابطه با مدیریت ریسک سیلاب - تغییر قوانین - نبود اطلاعات لازم جهت ارائه به روستاییان - عدم تعهد مالی و بودجه و کمک‌های مالی - تداخل مسئولیت‌ها - عدم توانایی پیش‌بینی دقیق سیلاب - اطلاع‌رسانی ضعیف - نبود کانال و رودخانه جهت خروج آب مازاد - عدم توجه به بهسازی زیرساخت‌ها - ضعف در تدوین و اجرای طرح‌های حفاظت خاک - عدم تعهد مالی سازمان‌های متولی مدیریت ریسک سیلاب - ناآشنایی سازمان‌های متولی مدیریت سیل با مناطق در معرض سیلاب - موازی‌کاری سازمان‌های متولی مدیریت ریسک سیلاب	- مشارکت ضعیف مردم در امر مدیریت سیلاب - ضعف همکاری مردمی با سازمان‌های متولی مدیریت ریسک سیلاب - ساخت و ساز مسکن برخلاف معیارهای مصوب - عدم توجه به مقوله پیشگیری - تخریب مراتع در اثر چرای بیش‌ازحد - نبود وسایل حمل و نقل مناسب جهت خروج سریع مردم و دام‌ها - نبود صندوق همیاری سوانح - میزان اطلاعات کم در برابر وقوع سیلاب - میزان بسیار کم پس‌انداز برای مقابله با سیلاب - نگرانی از وقوع سیلاب و بار منفی ناشی از آن

(Penning-Rowell و همکاران، ۲۰۰۵) که در شکل (۳) نشان داده شده است (Jha و همکاران، ۲۰۱۲).

ریسک (خطر) سیلاب به صورت زیر تعریف می‌شود:
 $Risk = Hazard \times vulnerability$ (خطر) = (مخاطره) × (آسیب‌پذیری)
 (در معرض خطر قرار گرفتن) $\times$ exposer

ارزیابی ریسک سیلاب

ارزیابی ریسک سیلاب یک روش کیفی یا نیمه کمی بوده که به ترکیب اثرات فاکتورهای فاجعه‌ساز و محیط خطر ساز به منظور حل مسائل مربوطه می‌پردازد (Stephane و همکاران، ۲۰۱۳). ارزیابی ریسک سیلاب در طی چهار مرحله انجام می‌شود



RP: نقشه حاصل از همپوشانی هر یک از معیارهای اشاره شده برای هر یک از شاخص‌ها

شکل ۳- گام‌های ارزیابی ریسک سیلاب (Jha و همکاران، ۲۰۱۲)

مدل‌های ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب

به‌منظور دستیابی به منابع علمی مناسب، جستجو در سایت‌های معتبر علمی نمایه شده ژورنال‌های علمی از قبیل Science direct، Elsevier، Springer با جستجوی کلمات کلیدی: ارزیابی، مدیریت، ریسک سیلاب، مخاطره، آسیب‌پذیری، خطر سیلاب، آنالیز فروانی سیلاب، مدل‌های مفهومی، رواناب، هشدار سیلاب و غیره انجام گرفت. غالب بر ۵۰ مقاله ISI گردآوری شد که بعد از مطالعه و مرتبط بودن با هدف مطالعه حاضر، چکیده ۲۰ مقاله و متن کامل ۱۵ مقاله که دارای بیشترین ارجاعات بودند، انتخاب شد. در ادامه خلاصه‌ای از مهم‌ترین یافته‌های این مقالات به‌منظور شناسایی و تحلیل شاخص‌های مؤثر در ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب آورده شده است.

در گام (۱)، ارزیابی مخاطره اطلاعاتی درخصوص ویژگی‌های سیلاب (عمق آب، مساحت پهنه سیلابی و سرعت جریان و ...) با دوره بازگشت‌های مختلف ارائه می‌دهد که در نقشه سیلاب خلاصه می‌شود. در گام (۲)، ارزیابی در معرض خطر قرار گرفتن، این نقشه‌ها با نقشه کاربری اراضی همپوشانی داده می‌شود تا ارزیابی عناصر در معرض سیل صورت گیرد. هدف آن تعیین موقعیت مکانی عناصر متأثر از سیلاب مانند کاربری‌های مسکونی و غیرمسکونی، کشاورزی و جمعیت انسانی است. در گام (۳) ارزیابی آسیب‌پذیری مشخص می‌کند این عناصر چگونه توسط سیل آسیب می‌بینند. گام (۴)، نهایتاً ارزیابی ریسک شامل تولید یک منحنی خسارت-احتمال که در احتمالات مختلف وقوع سیلاب میزان خسارات ناشی از سیلاب را بیان می‌کند. این کار در مقیاس‌های مختلف انجام می‌شود.

جدول ۳- مدل‌های ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب

مدل	نوع	مقیاس	ورودی	خروجی	نویسندگان
AGORA-DS ^v	مفهومی	حوضه آبخیز شهری- بزرگ مقیاس	اطلاعات ثبت شده شبکه‌های حسگر بی‌سیم، اطلاعات جغرافیایی منطقه	موقعیت نقاط بحرانی	Horita و همکاران (۲۰۱۵)
RF	توزیعی	حوضه آبخیز- متوسط مقیاس	بارندگی ۳ روزه، عمق رواناب، فراوانی گردباد، مدل رقومی ارتفاع، شاخص رطوبت توپوگرافیکی، شاخص پوشش اختلاف استاندارد، شاخص قدرت آبراهه، بافت خاک، فاصله تا رودخانه، شیب، الگوی کاربری اراضی	تعیین سطوح ریسک، مشخص نمودن شاخص درجه اهمیت، نقشه ارزیابی ریسک سیل	Wanga و همکاران (۲۰۱۵) Dong و همکاران (۲۰۱۳) Runge و Deng (۲۰۱۳)
SVM	فیزیکی	حوضه آبخیز- کوچک مقیاس	پارامترهای اقلیمی، عمق رواناب، مدل رقومی ارتفاع، مشخصات هیدرولیکی رودخانه، مشخصات جغرافیایی حوضه	تعیین سطوح ریسک، ارزیابی ریسک سیل	Martens و همکاران (۲۰۰۷)
DTs ^a	فیزیکی	حوضه آبخیز- کوچک مقیاس	پارامترهای اقلیمی، عمق رواناب، مشخصات هیدرولیکی رودخانه، مشخصات جغرافیایی حوضه	تعیین سطوح ریسک	Yeh و Li (۲۰۰۲)
ANNs	فیزیکی	حوضه آبخیز- کوچک مقیاس	بارندگی، حجم رواناب، ژئومتری رودخانه، مشخصات جغرافیایی حوضه	تعیین سطوح ریسک	Li و همکاران (۲۰۱۳) Xue و Ni (۲۰۰۳)
DIANE-CM ^d	مفهومی	جامعه آماری	تراکم جمعیت، توپوگرافی منطقه، وضعیت منازل مسکونی، ذی‌نفعان منطقه	تعیین گروه‌های آسیب‌پذیر، مدیریت ریسک سیلاب	Evers و همکاران (۲۰۱۶)
TOPSIS ¹¹	تصمیم‌گیری چند معیاره	جامعه آماری	داده‌های آماری جمعیت	تعیین اولویت‌های مدیریتی و ارائه راه حل ایده‌آل	Korukoglu و Balli (۲۰۰۹)
RFM	فرآیند محور	حوزه رودخانه	مدل بارش- رواناب SWIM، مدل هیدرودینامیکی روندیابی کانال، مدل سیلاب ساحلی، مدل برآورد تلفات سیل برای ساختمان‌های مسکونی FLEMops + r	برآورد فراوانی سیلاب، استخراج منحنی ریسک سیل، شبیه‌سازی بلند مدت و پیوسته ریسک سیلاب	Falter و همکاران (۲۰۱۵) Ishwaran و Chen (۲۰۱۲)
MPA ¹¹	مفهومی	حوضه آبخیز	نتایج بدست آمده از پرسشنامه و مصاحبه‌های حضوری	مدیریت یکپارچه ریسک سیلاب	Van Herk و همکاران (۲۰۱۵)
SPA ¹² AHP ¹³ FCE ¹⁴	تصمیم‌گیری چندمعیاره	جامعه آماری	داده‌های آماری جمعیت	تعیین اولویت‌های مدیریتی و ارائه راه حل ایده‌آل	Zou و همکاران (۲۰۱۳)

نتایج ارزیابی ریسک سیلاب به طور گسترده برای بیمه سیل، مدیریت سیلاب دشت، طراحی سیستم‌های هشدار خطر سیلاب و مسیرهای فرار دارای اهمیت می‌باشد و در مدیریت ریسک خطر سیلاب و سیستم‌های پشتیبان تصمیم مناسب می‌باشند. هدف ارزیابی ریسک سیلاب، ایجاد سطوح ریسک می‌باشد

که به منظور دستیابی به این امر بایستی روابط غیرخطی و چند متغیره بین شاخص‌ها و سطوح ریسک در نظر گرفته شود. مدل‌ها و الگوریتم‌های متعددی برای ارزیابی ریسک سیلاب استفاده می‌شود که در جدول (۴) به این الگوریتم‌ها اشاره شده است.

جدول ۴- نوع الگوریتم‌های مورد استفاده در مدل‌ها

مدل	الگوریتم	معادله مورد استفاده	نام معادله
SVMs, RF	ساختارهای درختی رگرسیون احتمال کلاس ریسک z در گره t	$\text{Gini}(t) = 1 - \sum_{j=1}^k [p(j t)]^2$ متغیر Gini توصیف کننده سطح ناخالصی هر گره می‌باشد. (Mihailescu و همکاران، ۲۰۱۳)	معیار ناخالصی Gini
RFM	مدل بارش- رواناب +SWIM +مدل روندیابی کانال+ مدل برآورد تلفات سیل + r FLEMOps	$\text{FAI} = \frac{M1}{M1 + M1D0 + M0D1}$	شاخص سطح سیل
DIANE- CM	مدل سازی مشارکتی (TOPSIS)	$\text{HR} = H(\delta + 0.5) + d\text{f}$ HR نرخ خطر و بیان کننده میزان آسیب پذیری اجتماعی می‌باشد.	شاخص آسیب پذیری اجتماعی (SVI) ^{۱۵}

در حل مسائل غیرخطی، این قبیل مدل‌ها دارای یکسری نقاط قوت و ضعف‌هایی می‌باشد، برای مثال مدل ماشین بردار پشتیبان از یکسری توابع ریاضی پیچیده استفاده می‌کند که برای کاربرها غیرقابل فهم است (Martens و همکاران، ۲۰۰۷). مدل شبکه عصبی مصنوعی نیاز به یادگیری بالا و دارای سرعت کم در حل مسائل می‌باشد (Li و همکاران، ۲۰۱۳). این مدل‌ها قادر به تخمین میزان مشارکت هر یک از این شاخص‌ها برای کل ریسک نمی‌باشند. بنابراین ما نیاز به مدل‌هایی داریم که بتواند ضعف‌های شناسایی شده برخی از مدل‌ها را پوشش دهد. مهم‌ترین مسئله در امر مدیریت ریسک سیلاب، رابطه غیرخطی و چند متغیره بین شاخص‌ها و سطوح ریسک می‌باشد. اولین گام در امر مدیریت ریسک سیل، انتخاب شاخص مناسب ریسک می‌باشد. متغیرهای شاخص ریسک بر طبق خصوصیات هر مکان بین نواحی مختلف، متفاوت می‌باشد. در مطالعات انجام شده (Yang و همکاران، ۲۰۱۳؛ Yeh و همکاران، ۲۰۱۰) فاکتورهای فاجعه ساز و فاکتورهای محیطی خطر ساز، که در مجموع ۱۱ شاخص هستند، در امر مدیریت ریسک سیلاب به کار برده شده‌اند. در مدیریت ریسک سیلاب ما نیاز به ترکیب مدل‌های مفهومی و مدل‌های تصمیم‌گیری جمعی داریم تا بعد از ارزیابی ریسک سیلاب در حوضه آبخیز و توزیع سطح ریسک سیلاب در مناطق

مختلف حوضه بتوان با مشارکت جمعی ذی‌نفعان و دولت‌مردان اقدام به تهیه چارچوب مناسب برای مقابله، آمادگی و بازسازی وقایع سیلاب نمود. وجود اطلاعات دقیق و به روز از ریسک سیلاب می‌تواند تا حد زیادی نقش مؤثری در بیان اطلاعات برای سازمان‌های درگیر در فعالیت‌های اورژانسی در امر مدیریت ریسک سیل داشته باشد. مدیریت ریسک سیلاب نیازمند پایش متناوب و مکرر اطلاعات براساس مشاهدات صورت گرفته از داده‌های بارش و سطح تراز آب در نواحی سیل گیر می‌باشد (Tingsanchali و Karim، ۲۰۱۰). در امر مدیریت ریسک سیلاب دو گام اصلی دنبال می‌شود: گام اول تعریف یک چارچوب مفهومی به منظور یکسان سازی فاکتورهای مورد استفاده در امر مدیریت ریسک سیلاب و انعطاف پذیری کافی در داده‌ها به منظور کاربرد در سایر مناطق است تا از این طریق بتوان از صحت داده‌ها و تطابق آن‌ها با داده‌های استاندارد موجود اطمینان حاصل کرد. گام دوم تعریف یک سناریوی واقعی است تا میزان کارایی مدل‌های کاربردی در امر مدیریت ریسک سیلاب مشخص گردد. بعد از بررسی مدل‌های به کار رفته در امر ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب مقایسه تطبیقی بین مدل‌ها صورت گرفت که نتایج آن در جدول (۵) خلاصه شده است.

جدول ۵- مقایسه تطبیقی مدل‌های ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب

مدل	مزایا/ معایب	کاربر پسندی	تعداد تکرارها	تعداد کاربردها	پراکنش مکانی کاربردها در دنیا
AGORA-DS	مزایا: کاربرد برای مناطق فاقد داده‌های آماری، کاربرد سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری معایب: هزینه بالا، نیاز به سنسورهای قوی مخابره اطلاعات	بله	۲	۳	در مناطقی که با محدودیت داده و اطلاعات آماری روبه‌رو هستیم
RF	مزایا: تخمین میزان مشارکت هر شاخص برای کل ریسک، متمایز نمودن شاخص‌های غیرضروری، کاهش بار پردازش داده‌ها و کاهش زمان محاسبات کل معایب: وابستگی مدل به پارامترهای هواشناسی، نقش کم‌اهمیت شاخص کاربری اراضی و پوشش گیاهی در مدل	بله	۳	۳	در اغلب مناطق
SVM	مزایا: تخمین میزان مشارکت هر شاخص برای کل ریسک معایب: به‌کاربردن توابع ریاضی پیچیده، غیرقابل فهم بودن برای کاربرها، عدم تخمین میزان مشارکت هر یک از شاخص‌ها برای کل ریسک	خیر	۸	۳	در اغلب مناطق
DTs	مزایا: ارائه شاخص ارزیابی ریسک سیل (EAD) معایب: عدم تخمین میزان مشارکت هر یک از شاخص‌ها برای کل ریسک	خیر	۳	۴	در اغلب مناطق
ANNs	مزایا: مشخص نمودن وزن هر شاخص، امکان اولویت‌بندی شاخص‌های ریسک معایب: نیاز به یادگیری بالا، دارای سرعت کمی در حل مسائل، عدم تخمین میزان مشارکت هر یک از شاخص‌ها برای کل ریسک	خیر	۲	۴	در اغلب مناطق
DIANE-CM	مزایا: ارائه دیدگاه اجتماعی مؤثر برای مشارکت دولتی و مردمی در حوضه آبخیزها، به‌کاربردن سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری معایب: رتبه‌بندی براساس نظرات کارشناسی، وابسته به تجربه کاربر، تعدد سناریوها، فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده	بله	۸	۳	اجتماعات شهری
TOPSIS	مزایا: معیارهای کمی و کیفی در ارزیابی ریسک به‌صورت هم‌زمان دخالت دارند، مطلوبیت شاخص‌های مورد نظر در مدیریت ریسک، به‌طور یکنواخت افزایشی یا کاهش می‌باشد، تعداد قابل توجهی معیار در نظر گرفته می‌شود. معایب: عدم تخمین میزان مشارکت هر یک از شاخص‌ها برای کل ریسک	بله	۱۰	۵	در اغلب مناطق
RFM	مزایا: زنجیره مدل جفت شده که شامل مدل هیدرولوژیکی پیوسته، مدل هیدرودینامیکی و مدل تلفات سیل، توزیع خسارت مورد انتظار سالانه به ساختمان‌های مسکونی در مقیاس زیرحوضه معایب: وجود عدم قطعیت‌های معنادار در مدل هیدرودینامیک، فقط برای حوضه‌های بزرگ امکان‌پذیر است.	خیر	۱	۱	حوضه‌های بزرگ مقیاس
SPA AHP FCE	مزایا: بررسی روابط غیرخطی و چند متغیری بین شاخص‌ها معایب: عدم تخمین میزان مشارکت هر یک از شاخص‌ها برای کل ریسک	بله	۱۲	۵	در اغلب مناطق

طیف وسیعی از مدل‌ها برای امر ارزیابی و مدیریت ریسک سیلاب وجود دارد. این مدل‌ها از حیث پیچیدگی، فرآیندها و داده‌های مورد نیاز برای واسنجی و کاربرد متفاوت هستند. تعیین مدل مناسب برای کاربرد در مقیاس حوضه نیاز به در نظر گرفتن شایستگی مدل برای شرایط محلی حوضه، نیازهای داده‌ای، پیچیدگی، صحت و اعتبار، فرضیات، گسسته‌سازی زمانی و مکانی و مؤلفه‌های آن و هدف کاربر است. به‌طور کلی، یک مدل مناسب برای همه شرایط وجود ندارد (van den Berg و همکاران، ۲۰۰۹). مناسب‌ترین مدل بستگی به هدف استفاده و خصوصیات حوضه دارد. عوامل مؤثر دیگر در انتخاب مدل شامل موارد زیر هستند (Koks و همکاران، ۲۰۱۵):

- داده‌های مورد نیاز مدل شامل متغیر مکانی- زمانی ورودی و خروجی مدل
 - صحت و اعتبار مدل و فرضیات آن
 - مؤلفه‌های مدل که نشان‌دهنده قابلیت‌های آن باشند.
 - اهداف کاربر مدل شامل سهولت استفاده از مدل، مقیاس
 - نیازمندی‌های سخت افزاری مدل
- به‌طور معمول، با افزایش دقت و اعتبار مدل، پیچیدگی‌ها و نیازهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری آن هم افزایش می‌یابد. در این میان، مدل‌های

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

تعدادی از مدل‌های مدیریت ریسک سیلاب در بخش‌های قبل بررسی شد. مدل‌های مرور شده در اینجا نشان‌دهنده روش‌های مورد استفاده برای توصیف و ارزیابی شاخص‌های مؤثر در مدیریت ریسک سیلاب می‌باشد. این مدل‌ها از نظر فرآیند، شیوه‌های نمایش فرآیند و نیز مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت هستند. در مقیاس حوضه‌ای، برای نشان دادن واقعیت تا حد ممکن، مدل ریسک سیلاب نیاز به تعدادی از ریزمدل‌های اندازه‌گیری دارد: یعنی مدل رواناب- بارش، مدل هیدرولیک جریان و مدل جریان آبراهه‌ای. تعداد کمی از مدل‌های بررسی شده در اینجا همه‌ی مؤلفه‌ها را در نظر می‌گیرند. مدل RFM زنجیره مدل جفت شده شامل مدل هیدرولوژیکی پیوسته، مدل هیدرودینامیکی و مدل تلفات سیل بوده که در نمایش فرآیندهای موجود در حوضه توانایی مناسبی دارد اما به دلیل استفاده از زیر مدل‌های مختلف دارای عدم قطعیت‌های بیشتری در مدل‌سازی می‌باشد. این مدل جزء مدل‌های تمام مقیاس حوضه‌ای بوده که کلیه فرآیندهای موجود در حوضه در این مدل در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه مدل‌هایی نظیر ANN، DIAN-CM، AGORA DS، RF، SVM فاقد قابلیت فرآیند محوری هستند. این مدل‌ها که در آن فرآیندها با استفاده از الگوریتم‌هایی که به شکل فیزیکی توصیف می‌شوند، محدود به مطالعه‌ی حوضه‌هایی هستند که قبلاً کارهای

تجربی به‌علت سادگی و نیاز اطلاعاتی پایین و دقت و اعتبار قابل قبول همچنان مورد توجه می‌باشند. به‌طور کلی در انتخاب یک مدل باید به موارد زیر توجه نمود: الف) مدل برای چه شرایطی ارائه شده است. برای نمونه اگر یک مدل برای شرایط محیطی مرطوب ارائه شده باشد نباید از آن در شرایط غیرمرطوب استفاده کرد. مثال دیگر اینکه از مدلی که برای حوضه‌های کوچک طراحی شده است در حوضه‌های بزرگ استفاده نشود و یا بر عکس. ب) فرضیات مدل رعایت شوند. پ) هدف از کاربرد مدل مشخص باشد: برای مثال، اگر هدف از پژوهش، ارزیابی شاخص‌های ریسک سیلاب است؛ از مدلی که برای این منظور ارائه شده است، استفاده شود؛ نه مدلی که فرآیند وقوع سیلاب را بررسی می‌کند و یا مدلی که سرعت جریان یا حجم رواناب را برآورد می‌نماید. ت) دقت و صحت مورد نظر مشخص باشد به‌طور معمول مدل‌های دقیق‌تر، نیازمندی‌های بیشتری دارند و پیچیده‌تر هستند. ج) نیازمندی‌های مدل مد نظر قرار گیرند. برای مثال، اگر داده‌های اندکی در اختیار است، مدلی متناسب با آن داده‌ها انتخاب شود؛ هرچند که مدل مورد نظر، نسبت به دیگر مدل‌ها از دقت کمتری برخوردار باشد. البته اگر مدلی باشد که داده‌های زیادی بخواهد، ولی به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی شده باشد که با داده‌های کم و ناقص هم اجرا شود، می‌توان آن را نیز مورد آزمون قرار داد. ح) بررسی امکانات، هزینه‌ها و زمان که باید بر اساس آن‌ها مدل انتخاب شود.

زیادی برای توصیف حوضه انجام شده و ورودی‌های لازم برای مدل به خوبی توسعه یافته‌اند.

با توجه به مدل‌های بررسی شده دو مدل را می‌توان شناسایی کرد: مدل‌های مفهومی پیچیده با اطلاعات بسیار جزئی در خصوص فرآیندهای مدل‌سازی شده از حوضه و مدل‌هایی که فقط نمایش فرآیند را ساده‌سازی می‌کنند. مدل‌های دوم درجات بالایی از تجربی بودن را نشان می‌دهند و از این‌رو در امر شبیه‌سازی حوضه از نظر مکانی، ورودی‌های به مدل به‌صورت پراکنده، نقطه‌ای و متناسب با تجربه مدل‌ساز می‌باشد. پیش‌بینی‌های مدل به دلیل ناپیوستگی مقیاس‌ها بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در حوضه و استفاده از این پارامترها با مقیاسی متفاوت در مدل‌سازی، دارای صحت و دقت مناسب نمی‌باشد. این مسئله در مدل‌هایی که نیاز به داده‌های بیشتری دارند بیشتر مشهود است. در حوضه‌های آبخیز، طیف وسیعی از خصوصیات که ممکن است بر پاسخ آن‌ها تأثیر بگذارند منجر به ایجاد یک الگوی پیچیده از پاسخ حوضه می‌شوند. (Wanga و همکاران، ۲۰۱۵) اذعان کردند که در مدل RF اثر کاربری اراضی، پوشش گیاهی و شیب بر روی سطوح ریسک سیلاب با همبستگی کاربری اراضی با توپوگرافی پنهان شده و قابل تشخیص نمی‌باشد. برای مثال پارامترهای اختلاف استاندارد پوشش گیاهی (NDVI)^{۱۶}، نوع الگوی کاربری اراضی (LUP)^{۱۷}، قدرت آبراهه (SPI)^{۱۸} و شیب (SL)^{۱۹} اهمیت کمتری داشته و سهم آن‌ها از کل ریسک ۲۷/۸٪ می‌باشد. در حالی که پارامترهای

فوق در مدل‌های دیگر جزء پارامترهای با درجه اهمیت بالا بودند. بنابراین اثرات مجزای توپوگرافی و کاربری اراضی بر پاسخ حوضه در این مدل کمتر مشهود است. (Horita و همکاران، ۲۰۱۵) در مطالعه خود با مدل AGORA-DS کمبود اطلاعات در مورد نحوه انتقال مواد بستر رودخانه را در مدل‌سازی مدیریت رودخانه جزء ضعف‌های مدل بیان نمودند. این مسئله به ماهیت پیچیده‌ی سیستم‌های زهکشی و دانش محدود ما در خصوص ارتباط بین رواناب و خصوصیات درون و بیرون آبراهه‌ی رودخانه بر می‌گردد. با این حال مشکلات اصلی در اندازه‌گیری و ثبت داده‌های تراز سطح آب و انتقال مواد بستر و کف رودخانه یک عامل بسیار مهم می‌باشد. مشکلات مربوط به عدم قابلیت شناسایی، عدم انحصاری بودن مدل و تفسیر ناپذیری فیزیکی پارامترهای واسنجی جزء مواردی است که با کاربرد مدل‌های توزیعی، فیزیکی ایجاد می‌شود. این مسائل همچنین در مدل‌های مفهومی

پیچیده نیز دیده می‌شود. به‌طور کلی نتیجه گرفته می‌شود که مدل‌های فیزیکی و مدل‌های مفهومی پیچیده‌تر به دلایل زیر اهمیت ویژه‌ای برای برآورد نقش شاخص‌های مؤثر در مدیریت ریسک سیلاب ندارد: کمبود داده‌های با توزیع مکانی کافی برای جداسازی مدل‌ها از نظر کاربرد، کمبود داده‌های واسنجی در مقیاس مکانی و زمانی برای تعریف مجموع پارامتر خاص برای مدل‌ها و در نتیجه خروجی مطمئن، وابستگی بیش از حد نتایج مدل به تجربه‌ی کاربر، برای مدل‌های فیزیکی نیاز محاسباتی بالا در حوضه‌های بزرگ احساس می‌شود. به‌منظور رفع نیازهای روبه‌رشد مدیران حوضه به ابزارهایی که بتوانند از آن به‌طور کامل در جهت بررسی توزیع‌های مکانی سیلاب و انتقال مواد رودخانه‌ای استفاده کنند، مطالعه‌ی بر روی این ابزارها نیاز است. توسعه‌ی مدل‌های توزیعی با پیچیدگی نسبتاً کم و فیزیکی توصیه می‌شود.

پی‌نوشت

- 1- Random Forest
- 2- Decision Support System
- 3- Artificial Neural Networks
- 4- Regional Flood Model
- 5- Support Vector Machines
- 6- Goal Analysis
- 7- AGORA Decision System
- 8- Decision Trees
- 9- DIANE Collaborative Modeling
- 10- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
- 11- Multi-pattern approach
- 12- Set Pair Analysis
- 13- Analytic Hierarchy Process
- 14- Fuzzy Comprehensive Evaluation
- 15- Social Vulnerability Index
- 16- Normalized difference vegetation index
- 17- Land use patterns
- 18- Stream power index
- 19- Slope

منابع

- ing Fuzzy AHP and TOPSIS methods. *J. Mathematical and Computational Applications Journal*, 14(2): 119-130.
- Chen X. and Ishwaran H. 2012. Random forests for genomic data analysis. *Genomics Journal*, 99(6): 323-329.
- Deng H. and Runge G. 2013. Gene selection with guided regularized random forest. *Pattern Recogn Journal*, 46(12): 3483-3489.
- Dong L.J., Li X.B. and Peng K. 2013. Prediction of rockburst classification using Random Forest. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China Journal*, 23(2): 472-477.
- Erdlenbruch K., Thoyer S., Grelot F., Kast R. and Enjolras G. 2009. Risk-sharing in the context of the French Flood Prevention Action Programmes. *Environ. Manage Journal*, 91: 363-369.
- Evers M., Jonoski A., Almoradie A. and Lange L. 2016. Collaborative decision making in sustainable flood risk management: A socio-technical approach and tools for participatory governance. *Environmental Science & Policy Journal*, 55(1): 335-344.
- Falter D., Schröter K., Viet Dung N., Vorogushyn S., Kreibich H., Heiko Apel H. and Merz M. 2015. Spatially coherent flood risk assessment based on long-term continuous simulation with a coupled model chain. *Hydrology Journal*, 524: 182-193.
- Foudi S., Osés-Eraso N. and Tamayo I. 2015. Integrated spatial flood risk assessment: The case of Zaragoza. *Land Use Policy Journal*, 42: 278-292.
- Foudi S. and Osés-Eraso N. 2014. Flood risk management: assessment for prevention with hydro-economic approaches. In: Markandya A., Galarraga I., Sainz de Murieta E. (Eds.), *Routledge Handbook of the Economics of Climate Change Adaptation*. Taylor & Francis.
- Ballesteros-Cánovas J.A., Sanchez-Silva M., Bodoque J.M., et al. 2013. An integrated approach to flood risk management: a case study of Navaluenga (Central Spain). *Water Resour. Manage Journal*, 27(8): 3051-3069.
- Balli S. and Korukoglu S. 2009. Operating system selection us-

- to the rapid feedback of potential ecological risk in flood diversion zone. *Eng. Appl. Artif. Intell. Journal*, 16(2): 105–119.
- Penning-Rowsell E., Johnson C., Tunstall S., Tapsell S., Morris J., Chatterton J. and Green C. 2005. *The Benefits of Flood and Coastal Risk Management: A Handbook of Assessment Techniques*. Middlesex University Press.
- Said F., Afzal U. and Turner G. 2015. Risk taking and risk learning after a rare event: Evidence from a field experiment in Pakistan. *Economic Behavior & Organization Journal*, 118: 167–183.
- Simonovic S. and Akter T., 2006. Participatory floodplain management in the Red River Basin, Canada. *Annual Reviews in Control* 30: 183–192.
- Stefanidis S. and Stathis D. 2013. Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). *Nat. Hazards Journal*, 68: 569–585.
- Stephane H., Colin G., Robert J.N., et al. 2013. Future flood losses in major coastal cities. *Nat. Climate Change Journal*, 3(9): 802–806.
- Tingsanchali T. and Karim F. 2010. Flood hazard assessment and risk-based zoning of a tropical flood plain: case study of the Yom River, Thailand. *Hydrol. Sci. J. – J. Sci. Hydrol. Journal*, 55(2): 145–161.
- van den Berg M., Fort R. and Burger K. 2009. Natural hazards and risk aversion: experimental evidence from Latin America. In: *International Association of Agricultural Economists Conference*, Beijing, China.
- Van Herk S., Rijke J., Zevenberg C. and Ashley R. 2015. Understanding the transition to integrated flood risk management in the Netherlands. *Environmental Innovation and Societal Transitions Journal*, 15: 84–100.
- Wanga Z., Lai C., Chen X., Yang B., Zhao S. and Bai X. 2015. Flood hazard risk assessment model based on random forest. *Hydrology Journal*, 527: 1130–1141.
- Yang X.L., Ding J.H. and Hou H. 2013. Application of a triangular fuzzy AHP approach for flood risk evaluation and response measures analysis. *Nat. Hazards Journal*, 68: 657–674.
- Yeh C.C., Chi D.J. and Hsu M.F. 2010. A hybrid approach of DEA, rough set and support vector machines for business failure prediction. *Expert Syst. Appl. Journal*, 37(2): 1535–1541.
- Zou Q., Zhou J.Z., Zhou C., Song L.X. and Guo J. 2013. Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess Journal*, 27: 525–546.
- Guo E.L., Zhang Z.Q. and Ren X.H., et al. 2014. Integrated risk assessment of flood disaster based on improved set pair analysis and the variable fuzzy set theory in central Liaoning Province, China. *Nat. Hazards Journal*, 74: 947–965.
- Horita E.A., Porto de Albuquerque A., Degrossi A., Mendiando M. and Ueyama A. 2015. Development of a spatial decision support system for flood risk management in Brazil that combines volunteered geographic information with wireless sensor networks. *Computers & Geosciences Journal*, 80: 84–94.
- Immitzer M., Atzberger C. and Koukal T. 2012. Tree species classification with random forest using very high spatial resolution 8-band worldview-2 satellite data. *Remote Sens Journal*, 4: 2661–2693.
- IPCC. 2007. *Climate Change. Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jha A.K., Bloch R. and Lamond J. 2012. *Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*. The World Bank, Washington, DC, USA.
- Kaewkitipong L., Chen C. and Ractham P. 2012. Lessons learned from the use of social media in combating a crisis: a case study of 2011 Thailand flooding disaster. In: *Proceedings of the 33th International Conference on Information Systems (ICIS)*, Orlando, USA, 1–17. URL: <http://aisel.aisnet.org/icis2012/proceedings/ProjectManagement/8/>.
- Koks E.E., Jongman B., Husby T.G. and Botzen W.J.W. 2015. Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. *Environmental Science & Policy Journal*, 47: 42–52.
- Li X. and Yeh A.G.O. 2002. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *Int. Geogr. Inf. Sci. Journal*, 16(4): 323–343.
- Li Q., Jiang X.W. and Liu D.H. 2013. Analysis and modelling of flood risk assessment using information diffusion and artificial neural network. *Water SA Journal*, 39: 643–648.
- Martens D., Backer M.D., Haesen R., Vanthienen J., Snoeck M. and Baesens B. 2007. Classification with ant colony optimization. *IEEE Trans. Evol. Comput. Journal*, 11(5): 651–665.
- Mihailescu D., Gui V., Toma C. I., et al. 2013. Computer aided diagnosis method for steatosis rating in ultrasound images using random forests. *Med. Ultrason. Journal*, 15(3): 184–190.
- Ni J.R. and Xue A. 2003. Application of artificial neural network

Measuring the Effects of National Dam-Construction Projects on Regional Development, Case Study: Karun-3 Dam, Izeh City, Khuzestan

A. Moahmmadi^{1*}, T. Chahartange²

1,2-Associate professor & MSc in Geography and Urban Planning, Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

*(Corresponding Author Email: a.mohammadi@uma.ac.ir)

Received: 08-05-2017

Accepted: 18-12-2017

بررسی آثار پروژه‌های ملی سدسازی بر توسعه پایدار منطقه‌ای، مطالعه موردی: سد کارون ۳، شهرستان ایذه، خوزستان

علیرضا محمدی^{۱*}، طوبی چهارتنگی^۲

۱-۲- به ترتیب دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: a.mohammadi@uma.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۷

Abstract

Implementing large civil projects such as dam construction can considerably affect geographical areas, and these impacts are not necessarily positive. Therefore, attention to this problem to decrease the negative effects of dam construction and considering these effects in the assessment of benefits and costs in water sector planning is necessary. This study aims to measure the effects of Karun-3 dam's construction on the environment, society, economy, and the body of Izeh city. This investigation is a descriptive-analytical research. The territory of study is the Izeh city located in Khuzestan province. The statistical population of the study consists of experts, specialists, and regional development experts who live in city of Izeh. To measure the effects, a researcher-made questionnaire has been used. The sample volume is calculated as 375 people using the Cochran method which are questioned by the available random method. Central statistics and binomial tests were used to describe, analyse, and determine the correlation between independent and dependent variables. The results show that implementing Karun-3 dam had negative effects on the environment, society, and economy with correlation values of 0.77, 0.63, and 0.56, respectively. However, the effects of dam construction on physical component were low, with the value of 0.15.

Keywords: Socio- economical sustainability, Regional development, Environment.

چکیده

اجرای پروژه‌های بزرگ سدسازی می‌تواند بر توسعه مناطق جغرافیایی، آثار عمیقی بگذارد که الزاماً مثبت نیستند. از این‌رو، توجه به این مسئله برای کاهش آثار منفی پروژه‌های بزرگ سدسازی و در نظر گرفتن آنها در ارزیابی فایده‌ها و هزینه‌ها، برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی‌های بخش آب ضروری است. هدف این پژوهش، سنجش آثار سد کارون ۳، بر محیط زیست، جامعه، اقتصاد و کالبد شهرستان ایذه است. این پژوهش، از نوع توصیفی - تحلیلی است. قلمرو پژوهش، شهرستان ایذه در استان خوزستان است. جامعه آماری را متخصصان، کارشناسان و افراد آگاه در حوزه توسعه منطقه‌ای ساکن در شهرستان ایذه، تشکیل می‌دهند و برای سنجش آثار، روش پرسشگری محقق ساخته، استفاده شده است. حجم نمونه با استفاده از روش کوکران ۳۷۵ نفر محاسبه شده و پرسشگری به روش تصادفی در دسترس انجام شده است. از آمار مرکزی، آزمون دوجمله‌ای برای شرح، تحلیل و تعیین میزان تأثیرگذاری و رابطه همبستگی بین متغیر مستقل با متغیرهای وابسته استفاده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهند که اجرای سد کارون ۳ بر مؤلفه محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی، به ترتیب با مقدار ۰/۷۷، ۰/۶۳ و ۰/۵۶ همبستگی، آثار منفی برجای گذاشته است. لیکن، آثار سدسازی بر مؤلفه کالبدی با مقدار ۰/۱۵، کم بوده است.

واژه‌های کلیدی: پایداری اقتصادی-اجتماعی، عمران منطقه‌ای، محیط‌زیست.

کارون ۳، در کنار آثار مثبت، ممکن است با آثار منفی و بلندمدت که پایداری توسعه مناطق را به خطر اندازد، همراه باشد. از آن جمله می‌توان به مسئله آلودگی آب، هوا، خاک و منابع کشاورزی و نیز از بین رفتن چشم‌اندازهای محیطی و به خطر افتادن حیات جانوری و انسانی اشاره کرد (دفتر کشاورزی اتاق ایران، ۱۳۹۱). با توجه به این مسئله و در راستای برنامه‌ریزی فضایی و آمایشی، بررسی علمی آثار سدسازی ملی بر توسعه نواحی امری ضروری است. هدف اصلی این پژوهش، بررسی آثار سدسازی در مقیاس ملی بر توسعه منطقه‌ای از نظر اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و کالبدی است و برای این منظور سد کارون ۳ در شهرستان ایذه استان خوزستان، انتخاب شده است. با توجه به هدف و ضرورت تحقیق، تلاش خواهد شد تا به این پرسش‌ها پاسخ داده شود که:

- ۱) آیا ساخت و بهره‌برداری از سد کارون ۳، بر محیط‌زیست شهرستان ایذه تأثیر داشته است؟
 - ۲) آیا بر ساختار اجتماعی و فرهنگی شهرستان تأثیر گذاشته است؟
 - ۳) آیا بر اقتصاد شهرستان ایذه تأثیر گذاشته است؟
 - ۴) آیا بر ساختار کالبدی و زیرساخت‌های منطقه تأثیر گذاشته است؟
- در کنکاش برای پاسخ دادن به این پرسش‌ها، به نوع و میزان تأثیر سدسازی بر متغیرهای وابسته محیط‌زیستی، ساختار اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و کالبدی پرداخته شده است.

Yan و همکاران (۲۰۰۵)، به این نتیجه رسیده‌اند که زنان جابه‌جا شده بیشتر از مردان از پروژه‌های سدسازی تأثیر منفی می‌گیرند و احتمال یافتن شغل جدید در مناطق جدید کمتر برای آنها پیش می‌آید. Maybury-Lewis (۲۰۰۳)، نتیجه می‌گیرد که در روند سدسازی حق دریافت غرامت مالکان در اغلب موارد نادیده گرفته می‌شود. Chao (۲۰۰۱)، در نتیجه‌ای مشابه به ضایع شدن حقوق جابجاشوندگان اشاره می‌کند. Cernea (۲۰۰۰)، جابجایی اجباری را از مهم‌ترین آثار منفی سدسازی می‌داند. کمیسیون جهانی سدها (WCD) (۲۰۰۰)، به این نتیجه می‌رسد که روند سدسازی باید با در نظر گرفتن آثار غیراقتصادی همراه باشد. McCully (۱۹۹۶)، آثار منفی سدسازی را قابل توجه می‌داند. محتشمی و همکاران (۱۳۹۳) نیز نتایج منفی محیط‌زیستی سدسازی در ایران را، فاجعه بار می‌دانند. ملک حسینی و میرک‌زاده (۱۳۹۴) آثار منفی سدسازی را در ابعاد محیطی و اجتماعی قابل توجه ارزیابی می‌کنند. احمدی‌اوندی و همکاران (۱۳۹۳) به این نتیجه رسیده‌اند که احداث کارون سه آسیب‌زایی به اقتصاد و جامعه روستایی شهرستان‌های پیرامون وارد کرده است. میرزایی و همکاران (۱۳۹۰) آثار اجتماعی سدها بر مردم حوزه تحت تأثیر سد را بررسی کرده، به این نتیجه رسیدند که نمی‌توان در یک طرح بزرگ سدسازی زندگی هزاران انسان را که مستقیم و غیر مستقیم تحت تأثیر آن قرار می‌گیرند، نادیده گرفت. پیری (۱۳۹۰) به این نتیجه می‌رسد که تغییرات اقلیمی از جمله آثار منفی سدسازی است. پیرستانی و

تا آغاز قرن ۲۱ بیش از ۴۵۰۰۰ سد بزرگ در کشورهای مختلف از جمله چین، آمریکا، هند، اسپانیا و ژاپن که حدود ۸۰ درصد از سدهای بزرگ جهان در آنها قرار دارند، احداث شده است (ابوالحسنی و صیادی، ۱۳۹۰). در ایران، ساخت سدها از دهه ۱۳۳۰ آغاز شد و طی دهه‌های ۱۳۴۰، ۱۳۵۰ و دهه ۱۳۷۰ روند شتابانی به خود گرفت. تعداد سدهای ساخته شده در ایران از ۲۷ سد در سال ۱۳۵۶ به بیش از ۱۳۳۰ سد در سال ۱۳۹۵ رسیده است که آثار منفی و مثبت آنها بر توسعه مناطق اجتناب‌ناپذیر بوده است (قلی‌نژاد، ۱۳۹۳). دشت خوزستان، از جمله مناطقی از ایران است که از همان آغاز برای سدسازی مورد توجه قرار گرفته است (احمدی‌اوندی و همکاران، ۱۳۹۳). خوزستان با دارا بودن توان‌های بالای اقتصادی برای توسعه در سطح ملی، در اغلب برنامه‌های عمرانی کشور، برای اجرای طرح‌های صنعتی و عمرانی از جمله سدسازی در مقیاس ملی، مورد توجه قرار گرفته است (رحمتی، ۱۳۹۱). در مجموع تعداد ۲۴ سد در حوضه آبریز کارون بزرگ (خوزستان) به بهره‌برداری رسیده که سد کارون ۳، در شهرستان ایذه با حجم مخزن ۲/۸۵۷ میلیارد مترمکعب از آن جمله است (دفتر کشاورزی اتاق ایران، ۱۳۹۱). لیکن، مسئله این است که اجرای سدهای ملی مانند

مروری بر مطالعات گذشته تحقیق

در این بخش به طور مختصر به برخی مطالعات انجام شده در زمینه آثار پروژه‌های بزرگ سدسازی، اشاره می‌شود. Kirchherr و Charles (۲۰۱۶) به این نتیجه رسیده‌اند که سدسازی می‌تواند آثار بلند مدت منفی اجتماعی را بر برخی از ساکنان حوزه تأثیر داشته باشد. Aledo و همکاران (۲۰۱۵)، در نتیجه‌گیری مشابهی، نقش پروژه‌های سدسازی را در ایجاد آثار منفی بر وضعیت اجتماعی و محیطی ساکنان مناطق تأیید می‌کنند. طبق نظر Mudzengi (۲۰۱۲)، سدسازی هم آثار مثبت و هم منفی بر متأثرشوندگان دارد. Beck و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که سدسازی بر محیط‌زیست آثار مخرب جبران‌ناپذیری می‌گذارد. Gleick (۲۰۰۸)، در مطالعاتی روی سد تری جورج رودخانه یانگ تسه چین به این نتیجه می‌رسد که سدسازی در مقیاس کلان دارای آثار منفی مانند شکست اجتماعی، فساد سیاسی، تلفات بوم‌شناختی و اکولوژیکی، تهدیدهای زمین‌شناسی همراه با زمین‌لغزه‌ها و زمین‌لرزه‌ها است. این سدی یکی از بحث‌برانگیزترین پروژه‌ها به واسطه آثار اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی بوده است. Tilt و همکاران (۲۰۰۸) نیز به نتایج مشابه رسیدند. Hwang و همکاران (۲۰۰۷)، بر آثار منفی سدسازی بر جابجاشوندگان و مهاجران اشاره می‌کنند. Aguirre (۲۰۰۵) سدسازی در مقیاس بزرگ را یک آفت بزرگ اجتماعی برمی‌شمرد.

شفقتی (۱۳۸۸)، رحمتی و نظریان (۱۳۸۹)، فرج‌زاده و رستم‌زاده (۱۳۸۶)، حسینی توسل و همکاران (۱۳۸۶)، فره‌ودی و عبدالمهی (۱۳۸۴) و وزارت نیرو (۱۳۸۴) و به تحقیق پیرامون پیامدها و آثار اجرای سدها و از جمله سدهای ملی پرداخته‌اند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۵ انجام شده و از نظر روش از نوع توصیفی و تحلیلی، از نظر تبیین روابط از نوع پژوهش‌های اکتشافی و از نظر هدف از پژوهش‌های بنیادی است. روش گردآوری داده‌ها از نوع پیمایشی (پرسشنامه) است. جامعه آماری این پژوهش شامل متخصصان، کارشناسان و افراد آگاه در حوزه توسعه منطقه‌ای شهرستان ایذه بوده که به دلیل مقیاس ملی سد کارون ۳، خود نیز به عنوان ساکنان شهرستان، تحت تأثیر قرار گرفته یا در جریان آثار آن بوده‌اند. با توجه به عدم امکان مطالعه تمام جامعه و مشخص نبودن حجم جامعه آماری، از روش کوکران در مواردی که حجم جامعه مشخص نیست، استفاده شده است (معادله ۱).

$$n = \frac{z^2 \times pq}{d^2} \quad (1)$$

در این رابطه n حجم نمونه، z متغیر نرمال واحد استاندارد، p نسبتی از جمعیت دارای صفت معین، q نسبتی از جمعیت فاقد صفت معین (q=1-p) و d مقدار اشتباه مجاز است. بر اساس این معادله و در سطح خطای ۵ درصد (d)، z معادل ۱/۹۶ خواهد بود و با فرض p و q برابر با ۰/۵ حجم نمونه ۳۸۴ به دست آمد.

برای تکمیل پرسشنامه‌ها از روش نمونه‌گیری در دسترس استفاده شد. بعد از تکمیل و خارج کردن پرسشنامه‌های ناقص از فرآیند تحلیل، تعداد ۳۷۵ نمونه، مبنای تحلیل قرار گرفتند. برای سنجش آثار احداث سد کارون ۳ در مقیاس منطقه (شهرستان ایذه) از چهار مؤلفه‌ی محیط‌زیستی، اقتصادی، اجتماعی - فرهنگی و کالبدی و حدود ۶۰ شاخص (جدول ۱)، در قالب پرسشنامه‌ای با مقیاس لیکرت پنج گزینه‌ای استفاده شده است. اساتید و کارشناسان امر روایی محتوایی ابزار را تأیید نمودند. برای بررسی پایایی ابزار نیز ابتدا با پیش‌آزمونی، پرسشنامه بر روی نمونه‌ای به حجم ۳۰ نفر اجرا شده، سپس پایایی پرسشنامه با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شد که ضریب ۰/۹۲ به دست آمده سطح بالای پایایی را نشان داد. در این پژوهش از آزمون دو جمله‌ای (Binomial Test) و آزمون همبستگی پیرسون برای آزمون فرضیه‌ها و از نرم‌افزارهای EXCEL، SPSS و ArcGIS برای داده‌پردازشی و تجزیه و تحلیل داده‌ها، استفاده شده است. در جدول (۱)، مؤلفه‌ها و شاخص‌های استفاده شده در این پژوهش که از درون پیشینه پژوهش استخراج شده‌اند، منعکس شده‌اند.

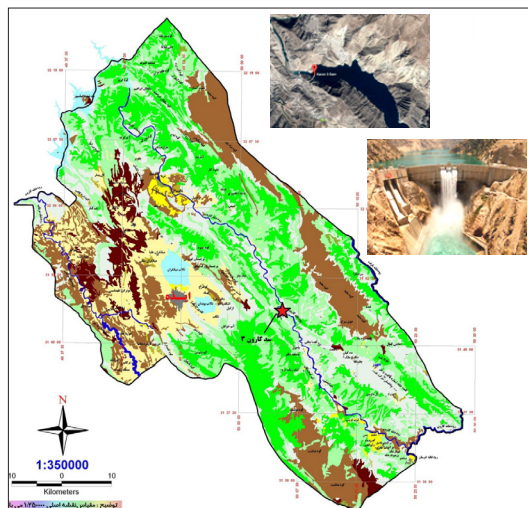
از آنجایی که توسعه پایدار دارای سه اصل اساسی یعنی پایداری محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی است، اغلب شاخص‌های انتخاب شده به نحوی در راستای سنجش میزان پایداری منطقه، انتخاب شده‌اند. اگرچه در اصول سه‌گانه به پایداری کالبدی اشاره نشده است و شاخص‌های کالبدی در دسته محیط‌زیستی قابل بررسی‌اند، لیکن در این پژوهش برای بررسی جزئی، شاخص‌های کالبدی در مؤلفه کالبدی قرار گرفته و به‌عنوان یک دسته جداگانه، بررسی شده است.

جدول ۱- مؤلفه‌ها و شاخص‌های پژوهش*

مؤلفه	نماگرها (گویه‌ها)
محیط زیست	آب‌های زیرزمینی، سطح آب‌های زیرزمینی و سطحی، آب رودخانه، حجم آب تالاب میانگران، سیل‌گیری و سیل‌خیزی منطقه، حیات جانوری منطقه، سیلاب در منطقه، گیاهان آبی، لرزه‌خیزی، پوشش گیاهی و جنگلی، تبخیر آب، انباشت زباله، خاک، آب آشامیدنی، شور شدن زمین، چشم‌اندازهای طبیعی، دما، رطوبت
اقتصادی	اشتغال، بیکاری، قیمت املاک، قیمت اجاره مسکن، قیمت محصولات کشاورزی، حجم محصولات کشاورزی، زمین‌های کشاورزی، ماهیگیری، درآمد سالانه خانوار، سرمایه‌گذاری، دسترسی مردم منطقه به نیروی برق، هزینه خانوار، دارایی خانوار، مالکیت زمین، دامداری، صنعتی شدن، زنبورداری، صنعت گردشگری، امکانات و فضاهای اوقات فراغت
فرهنگی و اجتماعی	سطح بهداشت همگانی، سطح سواد در منطقه، تحرکات جمعیتی و مهاجرت از روستا به شهرستان، رشد سکونتگاه‌های غیررسمی در شهرستان، ایمنی، امنیت، افزایش آسیب‌های اجتماعی، مهاجرت خارج از شهرستان به شهرستان، رشد یا کاهش فقر در شهرستان
کالبدی	تغییر کاربری زمین شهری، میزان ساخت‌وساز در شهرستان، اراضی کشاورزی و باغات، دسترسی به نقاطی از منطقه، کیفیت تأسیسات آب در منطقه، کیفیت تأسیسات برق در منطقه، کیفیت تأسیسات مخابرات در منطقه، کیفیت تأسیسات و تجهیزات گاز، کیفیت زیرساخت‌های آموزشی، کیفیت زیرساخت‌های درمانی، بافت روستاها، آثار باستانی، فرسودگی ساختمان‌ها، رشد فیزیکی شهرستان، توسعه و عمران کالبدی شهرستان

* (گردآوری از: احمدی اوندی و همکاران، ۱۳۹۳؛ سرتیپی‌پور، ۱۳۹۰؛ برک‌پور و مسن‌زاده، ۱۳۹۰؛ Heydari و همکاران، ۲۰۱۳، محتشمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ سلیم‌فرگی، ۱۳۸۶؛ پیری، ۱۳۹۰؛ رحمتی و نظریان، ۱۳۸۹؛ پیرستانی و شفقتی، ۱۳۸۸؛ میرزایی و همکاران، ۱۳۹۰)

و در فاصله ۶۱۰ کیلومتری مصب رودخانه کارون در شمال شرقی استان خوزستان ساخته شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت شهرستان ایذه و سد کارون
۳ (اداره منابع طبیعی استان خوزستان، ۱۳۹۵)

بر آن زیرشاخص‌ها است. این تأثیر بر افزایش رطوبت هوا و گرما در منطقه، از بین رفتن پوشش گیاهی نواحی پایین دست سد، از بین رفتن حیات جانوری، شدیدتر و دارای میانگین بیشتر از ۳ (مقدار متوسط) بوده است (جدول ۲). در عوض سهم آثار مثبت سدسازی از قبیل مهار سیل و کاهش سیل خیزی منطقه ناچیز است.

• آثار اجتماعی

در پاسخ به پرسش دوم پژوهش، با استفاده از آزمون دوجمله‌ای چون معنی‌داری این آزمون برای متغیر آثار اجتماعی برابر صفر و کمتر از ۰/۰۵ است (جدول ۶)، لذا فرض این‌که مقدار میانه این متغیر برابر ۳ (مقدار میانی طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت) باشد، رد می‌شود. همچنین با بکارگیری آزمون همبستگی چون معنی‌داری این آزمون برای مؤلفه اجتماعی کمتر از ۰/۰۵ است (جدول ۷)، لذا فرض صفر (عدم وجود ارتباط خطی) رد شده و بین احداث سد کارون ۳ و مؤلفه اجتماعی ارتباط خطی وجود دارد. مقدار ضریب همبستگی اسپیرمن برای این مؤلفه اجتماعی برابر ۰/۶۳ است (جدول ۷). این مقدار ضریب همبستگی نشانگر وجود یک ارتباط خطی مستقیم بین مؤلفه اجتماعی و احداث سد کارون ۳ است. با توجه به معناداری هر دو آزمون دوجمله‌ای و همبستگی و جهت گویه‌ها و نسبت مشاهدات، احداث سد کارون ۳ بر مؤلفه اجتماعی تأثیر قوی گذاشته است. نتایج آمار توصیفی نیز نشان می‌دهند که از میان ۹ گویه، تأثیر احداث سد کارون ۳ بر ۵ زیرشاخص افزایش ایمنی در شهرستان، افزایش امنیت در شهرستان، افزایش آسیب‌های اجتماعی، افزایش سطح عمومی بهداشت و افزایش سواد میانگین کمتر از ۳ (مقدار متوسط) دارد که نشانگر تأثیر کم بر آن زیرشاخص‌ها است. از سوی دیگر این تأثیر بر زیرشاخص‌های تغییرات جمعیتی، مهاجرت و شکل‌گیری سکونتگاه‌های غیررسمی شدیدتر بوده است (جدول ۳).

از جمله محدودیت‌های این پژوهش این است که بررسی کمی و تجربی تمام ابعاد و آثار سد کارون ۳ از نظر هزینه، زمان و نیز محدودیت آمار ثبت شده مقدور نشده است. در عین حال، در این پژوهش آثار با استفاده از نظرات متخصصان، حرفه‌مندان، کارشناسان و افراد آگاه ساکن در شهرستان سنجش شده است.

• قلمرو پژوهش

شهرستان ایذه با وسعتی حدود ۲۳۲۹/۱ کیلومترمربع دشتی بیضی‌شکل در شمال‌شرقی استان خوزستان است. شهر ایذه، مرکز شهرستان ایذه و بزرگ‌ترین شهر شهرستان می‌باشد. این منطقه در ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی واقع شده و ارتفاعی معادل ۷۶۰ متر دارد (اداره کل راه و شهرسازی استان خوزستان، ۱۳۸۸). شهرستان ایذه براساس اطلاعات استانداری خوزستان (۱۳۹۳) در سالنامه آماری استان، دارای دو شهر، سه بخش، ۱۰ دهستان و ۴۳۳ روستا و آبادی است که ۱۶۱ مورد آنها تخلیه شده‌اند. سد کارون ۳ در ۲۸ کیلومتری شرق شهرستان ایذه

تحلیل و بحث

ابتدا، برای انتخاب آزمون‌های آماری مناسب، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، مورد بررسی قرار گرفت. چون معنی‌داری این آزمون برای تمامی مؤلفه‌ها کمتر از ۰/۰۵ بدست آمد، لذا هیچ یک از متغیرها دارای توزیع نرمال نیستند. لذا از آزمون ناپارامتری دوجمله‌ای برای پاسخ به پرسش‌های پژوهش استفاده شده است.

• آثار محیط‌زیستی

در پاسخ به پرسش اول پژوهش، از آزمون دوجمله‌ای استفاده شد. معنی‌داری این آزمون برای متغیر آثار محیط‌زیستی برابر صفر و کمتر از ۰/۰۵ است (جدول ۶)، لذا فرض این‌که مقدار میانه این متغیر برابر ۳ (مقدار میانی طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت) باشد، رد می‌شود. همچنین با بکارگیری آزمون همبستگی چون معنی‌داری این آزمون برای متغیر آثار محیط‌زیستی کمتر از ۰/۰۵ است (جدول ۷)، لذا فرض صفر (عدم وجود ارتباط خطی) رد شده و بین احداث سد کارون ۳ و مؤلفه محیط‌زیست ارتباط خطی وجود دارد. مقدار ضریب همبستگی اسپیرمن برای این مؤلفه محیط‌زیست برابر ۰/۷۷ است (جدول ۷). این مقدار ضریب همبستگی نشانگر وجود یک ارتباط خطی مستقیم بین مؤلفه محیط‌زیست و احداث سد کارون ۳ است. با توجه به معناداری نتایج آزمون‌های دوجمله‌ای و همبستگی اسپیرمن و جهت گویه‌ها و نسبت مشاهدات، احداث سد کارون ۳ بر مؤلفه محیط‌زیست تأثیر قوی گذاشته است. همچنین نتایج آمار توصیفی مربوط به گویه‌های محیط‌زیستی نشان می‌دهد که از میان گویه‌ها، بنا به نظر پاسخگویان، سدسازی در اغلب شاخص‌های محیط‌زیست دارای میانگین کمتر از ۳ (مقدار متوسط) است که نشانگر تأثیر کم

جدول ۲- آماره‌های مرکزی شاخص‌های محیط‌زیست

گوپه	میانگین	میانگین خطای معیار	میان	مد	انحراف معیار	واریانس
افزایش آلودگی آب‌های زیرزمینی	۲/۱۷	۰/۰۵۴	۲	۱	۱/۰۶	۱/۱۳
بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی	۲/۲۴	۰/۰۵۵	۲	۲	۱/۰۸	۱/۱۷
راکد شدن آب رودخانه	۳/۲۵	۰/۰۵۹	۳	۳	۱/۱۵	۱/۳۲
پایین آمدن کیفیت آب رودخانه	۲/۶۷	۰/۰۶۲	۳	۲	۱/۲۱	۱/۴۸
پایین آمدن حجم آب تالاب	۲/۷۷	۰/۰۶۶	۳	۳	۱/۲۹	۱/۶۶
از بین رفتن حیات جانوری	۳/۱۵	۰/۰۵۷	۳	۳	۱/۱۲	۱/۲۵
تغییر در حوزه‌های سیل‌خیز منطقه	۱/۹۳	۰/۰۵۱	۲	۱	۰/۹۸	۰/۹۷
به وجود آمدن گیاهان آبی	۲/۶۷	۰/۰۵۷	۳	۳	۱/۱۰	۱/۲۲
آلودگی آب‌های سطحی	۲/۴۸	۰/۰۵۸	۳	۳	۱/۱۲	۱/۲۶
به وجود آمدن لرزه‌خیزی	۳/۵۸	۰/۰۵۸	۴	۳	۱/۱۴	۱/۳۰
از بین رفتن پوشش گیاهی	۳/۴۲	۰/۰۶۵	۴	۴	۱/۲۷	۱/۶۰
افزایش تبخیر آب	۳/۱۸	۰/۰۶۴	۳	۳	۱/۲۴	۱/۵۵
افزایش انباشت زباله در منطقه	۲/۵۴	۰/۰۵۸	۲	۲	۱/۱۳	۱/۲۹
آلودگی خاک منطقه	۲/۲۵	۰/۰۵۸	۲	۲	۱/۱۳	۱/۲۸
افزایش آب آشامیدنی	۲/۱۲	۰/۰۵۹	۲	۱	۱/۱۴	۱/۳۱
افزایش شوری زمین	۲/۱۲	۰/۰۵۷	۲	۱	۱/۱۱	۱/۲۴
تغییر چشم‌اندازهای طبیعی	۳/۵۸	۰/۰۵۹	۴	۳	۱/۱۴	۱/۳
افزایش دما	۳/۸۷	۰/۰۵۸	۴	۵	۱/۱۲	۱/۲۷
افزایش رطوبت هوا	۳/۸۹	۰/۰۵۵	۴	۵	۱/۰۷	۱/۱۵

جدول ۳- آماره‌های مرکزی شاخص‌های اجتماعی

گوپه	میانگین	میانگین خطای معیار	میان	مد	انحراف معیار	واریانس
افزایش سطح عمومی بهداشت	۲/۱۵	۰/۰۵۳	۲	۲	۱/۰۳	۱/۰۶
افزایش سطح سواد	۲/۱۳	۰/۰۵۴	۲	۲	۱/۰۵	۱/۱۱
افزایش تحرکات جمعیتی	۳/۸۶	۰/۰۶۳	۴	۵	۱/۲۲	۱/۴۹
افزایش سکونتگاه‌های غیررسمی	۳/۵۸	۰/۰۶۱	۴	۳	۱/۱۹	۱/۴۳
افزایش ایمنی در شهرستان	۱/۹۷	۰/۰۴۸	۲	۱	۰/۹۳	۰/۸۷
افزایش امنیت در شهرستان	۲/۰۱	۰/۰۴۹	۲	۱	۰/۹۵	۰/۹
افزایش آسیب‌های اجتماعی	۲/۸۲	۰/۰۶۴	۳	۳	۱/۲۴	۱/۵۵
افزایش مهاجرت‌ها	۳/۵۸	۰/۰۶۱	۴	۳	۱/۱۸	۱/۴۱
افزایش فقر در شهرستان	۲/۳۵	۰/۰۵۸	۲	۳	۱/۱۳	۱/۲۹

• آثار اقتصادی

رد می‌شود. همچنین با بکارگیری آزمون همبستگی معنی‌داری این آزمون برای متغیر اقتصاد کمتر از ۰/۰۵ است (جدول ۷). لذا فرض صفر (عدم وجود ارتباط خطی) رد شده و بین احداث سد کارون ۳ و مؤلفه اقتصادی ارتباط خطی وجود دارد. مقدار ضریب همبستگی اسپیرمن برای این مؤلفه برابر ۰/۵۶ است (جدول ۷).

در پاسخ به پرسش سوم پژوهش، با استفاده از آزمون دوجمله‌ای چون معنی‌داری این آزمون برای متغیر آثار اقتصادی برابر صفر و کمتر از ۰/۰۵ است (جدول ۶)، لذا فرض این که مقدار میانه این متغیر برابر ۳ (مقدار میانی طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت) باشد،

این مقدار ضریب همبستگی نشانگر وجود یک ارتباط خطی مستقیم بین مؤلفه محیط‌زیست و احداث سد کارون ۳ است. با توجه به معناداری هر دو آزمون دوجمله‌ای و همبستگی و جهت گویه‌ها و نسبت مشاهدات، احداث سد کارون ۳ بر مؤلفه اقتصاد تأثیر قوی گذاشته است. از میان ۱۹ گویه از مؤلفه اقتصادی، احداث سد کارون ۳ به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر افزایش قیمت اجاره مسکن (با مقدار ۳/۸) و ایجاد آبیاری (با مقدار ۱/۸۸) داشته

است. زیرشاخص‌های افزایش قیمت املاک، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و افزایش هزینه خانوارها تأثیر بیشتری از احداث سد کارون ۳ پذیرفته‌اند. ۷ زیرشاخص افزایش حجم تولید محصولات کشاورزی، افزایش اشتغال در شهرستان، کاهش بیکاری در شهرستان، افزایش ماهیگیری، افزایش درآمد سالانه خانوار، افزایش سرمایه‌گذاری در شهرستان، افزایش دسترسی به نیروی برق تأثیر کمتری از احداث سد کارون ۳ پذیرفته‌اند (جدول ۴).

جدول ۴- آماره‌های مرکزی شاخص‌های اقتصادی

گوینه	میانگین	میانگین خطای معیار	میان	مد	انحراف معیار	واریانس
افزایش اشتغال در شهرستان	۲/۵۶	۰/۰۵۵	۳	۳	۱/۰۶	۱/۱۴۵
کاهش بیکاری در شهرستان	۲/۴۳	۰/۰۵۲	۳	۳	۱/۰۲	۱/۰۴۹
افزایش قیمت املاک	۳/۶۸	۰/۰۵۳	۴	۴	۱/۰۳	۱/۰۶۲
افزایش قیمت اجاره مسکن	۳/۸۰	۰/۰۵۴	۴	۴	۱/۰۶	۱/۱۳۰
افزایش حجم تولید محصولات کشاورزی	۲/۳۶	۰/۰۶۰	۲	۲	۱/۱۶	۱/۳۵۵
ایجاد آبیاری جدید	۱/۸۸	۰/۰۵۶	۲	۱	۱/۰۹	۱/۱۹۶
از بین رفتن زمین‌های کشاورزی	۳/۳۴	۰/۰۶۶	۳	۳	۱/۲۹	۱/۴۹۱
افزایش ماهیگیری	۲/۳۷	۰/۰۵۹	۲	۱	۱/۱۵	۱/۳۳۲
افزایش درآمد سالانه خانوار	۲/۲۸	۰/۰۵۹	۲	۱	۱/۱۴	۱/۳۱۷
افزایش سرمایه‌گذاری در شهرستان	۲/۳۴	۰/۰۵۶	۲	۳	۱/۱	۱/۲۱۷
افزایش دسترسی به نیروی برق	۲/۳۱	۰/۰۵۹	۲	۱	۱/۱۵	۱/۳۴۰
افزایش هزینه خانوار	۳/۰۹	۰/۰۵۸	۳	۳	۱/۱۴	۱/۳۰۲
افزایش دارایی خانوار	۲/۳۴	۰/۰۵۵	۲	۳	۱/۰۷	۱/۱۴۸
از دست دادن مالکیت زمین	۳/۲۴	۰/۰۵۷	۳	۱	۱/۱۱	۱/۲۴۶
افزایش درآمد دامداری	۲/۳۱	۰/۰۵۶	۲	۲	۱/۰۹	۱/۲۰۶
صنعتی شدن شهرستان	۲/۲۵	۰/۰۵۹	۲	۱	۱/۱۵	۱/۳۲۵
توسعه زنبورداری در منطقه	۲/۲۴	۰/۰۵۶	۲	۱	۱/۱	۱/۲۱۲
افزایش درآمد صنعت گردشگری	۲/۷۳	۰/۰۵۵	۳	۳	۱/۰۸	۱/۱۷۳
افزایش فضای اوقات فراغت	۲/۳۲	۰/۰۵۶	۲	۳	۱/۰۹	۱/۱۸۹

• آثار کالبدی

در پاسخ به پرسش چهارم پژوهش، با استفاده از آزمون دو جمله‌ای چون معنی‌داری این آزمون برای متغیر آثار کالبدی برابر ۰/۴۷ و بیشتر از ۰/۰۵ است (جدول ۶)، لذا فرض این که مقدار میانه این متغیر برابر ۳ (مقدار میانی طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت) باشد، رد نمی‌شود. همچنین با بکارگیری آزمون همبستگی معنی‌داری این آزمون برای متغیر کالبد بیشتر از ۰/۰۵ است (جدول ۷)، لذا فرض صفر (عدم وجود ارتباط خطی) رد نشده و بین احداث سد کارون ۳ و مؤلفه کالبد ارتباط خطی وجود ندارد. مقدار ضریب همبستگی اسپیرمن برای این مؤلفه برابر ۰/۱۵ است (جدول ۷). این مقدار ضریب همبستگی نزدیک صفر است که نشانگر عدم وجود ارتباط خطی بین مؤلفه کالبدی و

احداث سد کارون ۳ است. با توجه به عدم معناداری هر دو آزمون دوجمله‌ای و همبستگی، احداث سد کارون ۳ بر مؤلفه کالبد تأثیر معنی‌داری نگذاشته است. به عبارت بهتر، در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌توان گفت احداث طرح ملی سد کارون ۳ بر ساختار کالبدی تأثیر چندانی نداشته است و یا آثار آن در حال حاضر، هویدا نیستند. این آثار عمدتاً چشمگیر نبوده و یا محدود به پیرامون سد بوده است. مقادیر مربوط به هر یک از ۱۵ گویه مؤلفه کالبدی در جدول (۵) گزارش شده است. بالاترین میانگین را گویه‌های "از بین رفتن بافت روستاها" و "افزایش تغییر کاربری زمین شهری" با میانگین ۳/۶۰ درصد و کم‌ترین میانگین را گویه‌ی "از بین رفتن تأسیسات گاز" با میانگین ۲/۲۷ درصد به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۵- آماره‌های توصیفی شاخص‌های کالبدی

گویه	میانگین	میانگین خطای معیار	میانه	مد	انحراف معیار	واریانس
افزایش تغییر کاربری زمین	۳/۶۰	۰/۰۵	۴	۳	۱/۱۷	۱/۳
افزایش میزان ساخت‌وساز	۳/۳۷	۰/۰۵	۳	۳	۰/۹۹	۰/۹۹
از بین رفتن اراضی کشاورزی و باغات	۳/۵۲	۰/۰۵	۴	۴	۱/۱۴	۱/۳
قطع ارتباط روستاها	۳/۳۴	۰/۰۶	۳	۳	۱/۲	۱/۴
از بین رفتن تأسیسات آب	۲/۷۱	۰/۰۵	۳	۳	۱/۰۴	۱/۰۹
از بین رفتن تأسیسات برق	۲/۵۷	۰/۰۵	۳	۳	۱/۰۸	۱/۱۷
از بین رفتن تجهیزات مخابرات	۲/۳۸	۰/۰۵	۳	۳	۱/۰۴	۱/۰۸
از بین رفتن تأسیسات گاز	۲/۲۷	۰/۰۵	۲	۲	۱/۰۹	۱/۱۹
از بین رفتن زیرساخت‌های آموزشی	۲/۵۱	۰/۰۵	۳	۳	۱/۰۶	۱/۱۳
از بین رفتن زیرساخت‌های درمانی	۲/۶۰	۰/۰۵	۳	۳	۱/۰۹	۱/۱۹
از بین رفتن بافت روستاها	۳/۶۰	۰/۰۵	۴	۴	۱/۱۲	۱/۲۵
از بین رفتن آثار باستانی	۳/۴۳	۰/۰۶	۴	۴	۱/۲۱	۱/۴۷
فرسودگی ساختمان‌ها	۳/۳۴	۰/۰۶	۳	۳	۱/۱۹	۱/۴۲
رشد فیزیکی شهرستان	۳/۲۶	۰/۰۵	۳	۳	۱/۰۶	۱/۱۳
توسعه و عمران کالبدی	۳/۳۲	۰/۰۶	۳	۳	۱/۲۲	۱/۵

نتایج آزمون دوجمله‌ای که در هر کدام از مؤلفه‌ها به نتایج آن اشاره شد، برای آزمون فرضیه‌های پژوهش در جدول (۶) خلاصه شده‌اند:

جدول ۶- آزمون دوجمله‌ای برای تعیین تأثیر سده‌سازی بر مؤلفه‌های پژوهش

مؤلفه	گروه‌بندی آزمون	رده	تعداد	نسبت مشاهدات	نسبت مورد آزمون	معنی‌داری
محیط زیست	گروه ۱	≤ 3	۲۲۸	۰/۶۱	۰/۵۰	۰/۰۰۰
	گروه ۲	> 3	۱۴۷	۰/۳۹		
	مجموع	-	۳۷۵	۱/۰۰		
اقتصاد	گروه ۱	≤ 3	۳۰۲	۰/۸۱	۰/۵۰	۰/۰۰۰
	گروه ۲	> 3	۷۳	۰/۱۹		
	مجموع	-	۳۷۵	۱/۰۰		
اجتماع و فرهنگ	گروه ۱	≤ 3	۲۸۴	۰/۷۶	۰/۵۰	۰/۰۰۰
	گروه ۲	> 3	۹۱	۰/۲۴		
	مجموع	-	۳۷۵	۱/۰۰		
کالبد (محیط ساخته شده)	گروه ۱	≤ 3	۱۹۵	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۴۷۰
	گروه ۲	> 3	۱۸۰	۰/۴۸		
	مجموع	-	۳۷۵	۱/۰۰		

همچنین نتیجه آزمون همبستگی پیرسون برای آزمون فرضیه‌های پژوهش در جدول (۷) میزان و شدت این تأثیرگذاری را نشان می‌دهد.

جدول ۷- آزمون همبستگی برای تعیین تأثیرپذیری سدسازی بر مؤلفه‌های پژوهش

متغیر	ضریب همبستگی	سطح معناداری	نتیجه آزمون
آثار محیط‌زیستی	۰/۷۷**	۰/۰۰۱	همبستگی قوی
اقتصادی	۰/۵۶**	۰/۰۰۰	همبستگی متوسط
اجتماعی و فرهنگی	۰/۶۳**	۰/۰۰۰	همبستگی قوی
کالبدی	۰/۱۵**	۰/۰۶۲	همبستگی پایین

نتایج آزمون‌های همبستگی نشان می‌دهد که احداث و بهره‌برداری از سد کارون ۳، بر محیط زیست و جامعه محلی بیشترین آثار منفی را بر جا گذاشته است.

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهند که سد کارون ۳ از نظر محیط‌زیستی موجب راکدشدن آب رودخانه در پشت سد و ایجاد دریاچه‌ای به طول ۶۰ کیلومتر، عامل آلودگی آب و پایین آمدن کیفیت آب، خطرات بهداشتی و ایجاد بیماری در منطقه، تبخیر آب و هدر رفتن آن، بالا رفتن رطوبت هوا و گرم شدن هوا، به وجود آمدن زمین‌لرزه و از بین رفتن پوشش گیاهی و جنگلی شده است. از این رو یافته‌های تحقیق با نتایج پژوهش Aguirre (۲۰۰۵) در ارتباط با ساخت سد چیسکوی و نتایج پژوهش Gleick (۲۰۰۸) در مورد سد تری جورج رودخانه یانگ‌تسه و نتایج پژوهش Mudzengi (۲۰۱۲) مبنی بر آثار منفی محیط‌زیستی پروژه‌های بزرگ سدسازی مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

آثار احداث سد کارون ۳ که از طرح‌های عمرانی ملی است، بر چهار حوزه محیط‌زیست، جامعه، اقتصاد و کالبد شهرستان ایزه از منظر متأثرشوندگان بررسی و تحلیل شد. در حوزه محیط‌زیستی تحلیل‌ها نشان دادند که راکدشدن آب رودخانه، آلودگی آب، پایین آمدن کیفیت آب، خطرات بهداشتی و ایجاد بیماری، تبخیر آب و هدر رفتن آن، بالا رفتن رطوبت هوا در نتیجه گرم شدن هوا، به وجود آمدن زمین‌لرزه، از بین رفتن پوشش گیاهی منطقه و حوزه‌های جنگلی از مهم‌ترین آثار سدسازی بودند. در بخش اقتصادی، سدسازی بر افزایش قیمت اجاره مسکن و املاک، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و منابع تغذیه، افزایش هزینه خانوار، از دست دادن مالکیت زمین بیشترین تأثیر را گذاشته است. در حوزه اجتماعی، بر افزایش تحرکات

از نظر اجتماعی، یافته‌های تحقیق نشان می‌دهند که احداث سد کارون ۳ برافزایش تحرکات جمعیتی و مهاجرت روستا - شهری و افزایش مهاجرت خارج از شهرستان به شهرستان و بوجود آمدن سکونتگاه‌های غیررسمی، تأثیر گذاشته است. بنابراین، یافته‌های این تحقیق با نتایج تحقیق McCully (۱۹۹۶)، Cernea (۲۰۰۰)، فرهودی و عبدالهی (۱۳۸۴)، احمدی اوندی و همکاران (۱۳۹۳) مبنی بر آثار منفی پروژه‌های بزرگ سدسازی بر اجتماع مطابقت دارد.

از نظر اقتصادی، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهند که احداث سد کارون ۳ باعث افزایش قیمت اجاره مسکن و املاک، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی، تأثیر برافزایش هزینه خانوار، تأثیر بر از دست دادن مالکیت زمین در شهرستان ایزه شده است. از این رو، یافته‌ها با نتایج تحقیق رحمتی و نظریان (۱۳۸۹) و ملک حسینی و میرک‌زاده (۱۳۹۴) مبنی بر اثرات منفی اقتصادی پروژه‌های بزرگ سدسازی، همسویی دارد.

از نظر کالبدی یافته‌های تحقیق نشان می‌دهند که احداث سد کارون ۳ موجب افزایش ساخت و سازهای خارج از برنامه، افزایش رشد فیزیکی شهر ایزه، افزایش تغییرات در کاربری زمین، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی، قطع ارتباط روستاها با یکدیگر، فرسودگی ساختمان‌ها، از بین رفتن آثار باستانی و فرهنگی به ویژه در شهرستان ایزه شده است. بنابراین، یافته‌های این تحقیق با نتایج پژوهش‌های Tilt و همکاران (۲۰۰۸) و فرج‌زاده و رستم‌زاده (۱۳۸۶) مبنی بر آثار منفی پروژه‌های بزرگ سدسازی همسو است.

در مجموع به رغم اثرات ملی اقتصادی طرح‌های بزرگ سدسازی که یکی از آنها تأمین انرژی برق آبی است، براساس یافته‌های این پژوهش و مقایسه آن با پیشینه پژوهش، اثرات منفی پروژه‌های بزرگ سدسازی برجسته‌تر است.

جمعیتی، مهاجرت روستا - شهری، افزایش مهاجرت خارجی به درون شهرستان، به وجود آمدن سکونتگاه‌های غیررسمی و افزایش آسیب‌های اجتماعی آثار زیادی گذاشته است. در بخش کالبدی اگرچه تغییرات در مقیاس شهرستان چشمگیر نبوده‌اند، لیکن می‌توان به افزایش تغییر کاربری زمین، افزایش میزان ساخت‌وساز و از بین بردن منابع و زمین‌های کشاورزی و باغات، احداث سد، از بین رفتن روستاهای تحت تأثیر، از بین رفتن آثار باستانی و فرهنگی و رشد فیزیکی شهر ایزه اشاره کرد. در مجموع، فعالیت‌های سدسازی به تغییر چشم‌اندازهای محیطی آثار سوء گذاشته است. سد کارون ۳، اگرچه در تأمین برق ملی بسیار مهم بوده است، لیکن در مقیاس منطقه‌ای، ناپایداری را در سطح منطقه، به دنبال آورده است. براساس نتایج به دست آمده از بررسی و تحلیل مؤلفه‌های پژوهش، پیشنهاد زیر ارائه می‌شوند:

محیط زیستی: با توجه به راکد شدن آب رودخانه و امکان پایین آمدن کیفیت آب و به وجود آمدن بیماری در منطقه، برنامه ریزی جهت جلوگیری از آلودگی آب و نیز جلوگیری از ایجاد بیماری در منطقه صورت گیرد. با توجه به از بین رفتن جنگل ها و مراتع پس از آبیگری سد، برنامه ریزی و اقدام در زمینه ی احیای جنگل ها و مراتع و جلوگیری از تخریب بیشتر آن ها و کنترل تغییرات چشم اندازهای طبیعی در راستای توسعه پایدار و آمایش سرزمین در منطقه صورت گیرد.

اجتماعی: ساماندهی و توانمندسازی مهاجرانی که به دنبال احداث سد کارون ۳، به شهر ایذه مهاجرت کرده اند و جلوگیری از ایجاد سکونتگاه های غیررسمی و آسیب های اجتماعی به وجود آمده.

اقتصادی: با توجه به اینکه شغل ساکنین متأثر از سدسازی و مهاجرین اکثراً کشاورزی و دامداری بوده و ذخیره آب در پشت مخزن سد قطع منابع آب و درآمد و در نتیجه نارضایتی آنها را در پی داشته است، حل این مشکل ضروری و از نظر انسانی، قانونی و شرعی بر متولیان امر الزامی است.

منابع

- ابوالحسنی، ن. و صیادی، م.ح. ۱۳۹۰. اثرات منفی زیست محیطی سدسازی و راهکارهای کاهش آن. اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، زیباکنار، ایران.
- احمدی اوندی، ذ.، بهمنی، س.، سپهوند، ع.ا. و لجم اورک مرادی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی تأثیرات اجتماعی و فرهنگی پروژه احداث سد کارون ۳ شهرستان ایذه. فصلنامه توسعه اجتماعی (توسعه انسانی سابق)، ۳(۸): ۲۷۵۲.
- اداره منابع طبیعی استان خوزستان، ۱۳۹۵
- برک پور، ن. و مسنن زاده، ف. ۱۳۹۰. بررسی مقایسه ای سیاست های بهینه سازی مصرف انرژی در حوزه برنامه ریزی کاربری زمین در ایران و انگلیس. فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات شهری، ۱: ۴۱-۶۰.
- پیرستانی، م.ر. و شفقتی، م. ۱۳۸۸. بررسی اثرات زیست محیطی احداث سد. فصلنامه پژوهشی جغرافیای انسانی، ۱(۳): ۴۰-۵۰.
- پیری، ح. ۱۳۹۰. ارزیابی اثرات زیست محیطی احداث سد چاه نیمه چهارم در زابل. آمایش سرزمین، ۳(۵): ۱۴۵-۱۶۳.
- حسینی توسل، م.، کهندل، ا. و مرتضایی فریزهندی، ق. ۱۳۸۶. جلوگیری از اثرات منفی سدسازی و استفاده از فرصت های جدید با بررسی راهکارهای اجرایی در بخش های مرتبط با منابع طبیعی (مطالعه موردی سد کارون ۳). اولین همایش ملی سد و سازه های هیدرولیکی، کرج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج: ۱۲-۱۰.
- اداره کل راه و شهرسازی استان خوزستان. ۱۳۸۸. خلاصه گزارش

کالبدی: احیاء جاده ها و راه های ارتباطی و رسیدگی به زیرساخت های منطقه توصیه می شود، تا از مهاجرت و وارد آمدن آسیب های بیشتر به مردم منطقه کاسته شود. آثار باستانی و فرهنگی قبل از احداث سد باید به صورت کامل شناسایی می شدند و از به زیر آب رفتن آن ها جلوگیری می شد. در حال حاضر لازم است به منظور کاهش آسیب ها، از آثار باستانی باقی مانده محافظت شود.

با توجه به پیامدهای سدهای بزرگ، همچنان شاهد احداث سدهای بزرگ و متوالی در حوضه رودخانه کارون هستیم که برای جلوگیری از پیامدهای سدسازی بهتر است از روش های جایگزین برای استفاده از پتانسیل های رودخانه کارون استفاده شود، تا بیشتر از این شاهد بر هم زدن پایداری منطقه ای نباشیم.

پی نوشت

1- Bionomial Test

2- World Commision on Dams

- طرح توسعه و عمران (جامع) ایذه. گزارش داخلی: ۳۰-۵۵.
- وزارت نیرو. ۱۳۸۴. گزارش دستورالعمل ارزیابی اثرات طرح های سدسازی بر محیط زیست (مرحله تفصیلی). شرکت مدیریت منابع آب ایران، معاونت پژوهش و مطالعات پایه دفتر استانداردها و معیارهای فنی: ۱-۸۷.
- دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۱. گزارش ارزیابی اثرات زیست محیطی سد کارون ۳ و ۴، تهران.
- دفتر کشاورزی اتاق ایران. ۱۳۹۱. اتاق بازرگانی صنایع و معادن ایران. گزارش وضعیت آب خوزستان. جلد ۴: ۱-۳۲.
- رحمتی، ع. ر. ۱۳۹۱. بررسی روند ارزیابی اثرات محیط زیستی در ایران چالش ها و راهکارها. مجله محیط زیست و توسعه، ۳(۵): ۱۵-۲۳.
- رحمتی، ع.ر. و نظریان، ا. ۱۳۸۹. آثار اجتماعی و اقتصادی سکونتگاه های مشمول جابجایی ناشی از ایجاد سدها (مطالعه موردی سد گتوند علیا، رودخانه کارون). پژوهش های محیط زیست، ۲: ۵۳-۶۶.
- استاندارداری خوزستان. ۱۳۹۳. سالنامه آماری استان خوزستان.
- سرتیپی پور، م. ۱۳۹۰. نقش و جایگاه انرژی های تجدید پذیر در توسعه و عمران روستایی. فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، ۳۱: ۱۲۵-۱۴۸.
- سلیم فرگی، ف. ۱۳۸۶. بررسی اثرات زیست محیطی احداث سدها. اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی. ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- فرج زاده، م. و رستم زاده، ع. ۱۳۸۶. ارزیابی اثر سدهای بزرگ در تغییر کاربری اراضی با استفاده از سنجش از راه دور و GIS

- Gleick P.H. 2008. Three Gorges Dam Project, Yangtze River, China. *The Worlds Water 2008-2009*. Pp.139-150.
- Heydari M., Othman F. and Noori M. 2013. A review of the Environmental Impact of Large Dams in Iran, *International Journal of Advancements, civil Structural and Environmental Engineering-IJACSE*. Volume1: Lssue1, P 1-4. Social Impacts of Large Dams: The China Case, Lubiao Zhang Chinese Academy of Agricultural Sciences, China, Prepared for Thematic Review I.1: Social Impacts of Large Dams Equity and Distributonal Issues, p 1-33.
- Hwang S.S., Xi j., Cao Y., Feng X. and Qiao X. 2007. Anticipation and psychological stress and the Three Gorges Dam project, China. *Social Science and Medicine*, 65(5): 1012-1024.
- Kirchherr J. and Charles K. 2016. The Social impacts of dams: A new framework for scholarly analysis, *Environmental Impact Assessment Review EIR-06023*. No of pages 16.
- Maybury-Lewis D. 2003. Development and the Human Rights of Minorities, in Y. Kikuchi, *Development Anthropology: Beyond Economics*, Manila. New Day Publishers (forthcoming).
- Mudzeni BK. 2012. An Assessment of the Socio-Economic Impacts of the Construction of Siya Dam in the Mazungunye Area: Bikita District of Zimbabwe. *Journal of Sustainable Development in Africa*, 14: 1-17.
- McCully P. 1996. Excerpt from *Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams*. Zed Books, London.
- Tilt B., Braun Y. and Hedaming D. 2008, Social impacts of large dam porogects: A comparison of international case studies and implications for best practice. *Journal of Environmental Management*, 90: 249-257.
- WCD (World Commission on Dams). 2000. Dams and development: a new framework for decision-making. London: Earthscan.
- Yan T., Hugo G. and Potter L. 2005. Rural women, displacement and the Three Gorges Projects. *Development and Change*, 36(4): 711-734.
- (مطالعه موردی: سد ستارخان اهر). فصلنامه مدرس علوم انسانی، ۱۱(۱): ۴۷-۶۶.
- فروودی، ر.ا. و عبدالحی، م. ۱۳۸۴. ارزیابی فرآیند برنامه‌ریزی و اثرات منطقه‌ای طرح‌های عمرانی ملی (پژوهش موردی سد کارون ۳). فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۷: ۸۰-۹۸.
- قلی‌نژاد، م. ۱۳۹۳. سدسازی و قوانین و مقررات زیست‌محیطی در ایران. اولین کنگره ملی مهندسی ساخت و ارزیابی پروژه-های عمرانی، گرگان، ایران.
- محتشمی، ن.، صالح، ا.، نظری، م.ر. و رفیعی، ح. ۱۳۹۳. ارزیابی آسیب‌های زیست‌محیطی احداث سد البرز در استان مازندران با استفاده از روش آزمون انتخاب. مجله اقتصاد کشاورزی، ۸: ۱۲۷-۱۵۳.
- ملک حسینی، ا. و میرک‌زاده، ع.ا. ۱۳۹۴. تحلیل اثرات اجتماعی-اقتصادی سدسازی بر توسعه روستایی (مطالعه موردی سد سلیمان‌شاه). نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۳۲۵-۳۵۱: ۵۳.
- میرزایی، ع.، هاشمی، س.ض.، حیدری، ک. و میرزائی، ح. ۱۳۹۰. تأثیرات اجتماعی ساخت سدها بر حوزه تحت تأثیر سد، با بررسی سه سد بزرگ کارون ۳، کارون ۴ و گتوند علیا. اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق‌آبی، تهران.
- Aguiree I. 2005. Social Investigation of the Communities Affected by Chixoy Dam, Rights Action, Washington, DC. Panel Appraisal, 213: 215-224.
- Aledo A., Andreu H.G. and Pinese J. 2015. Using Causal maps to support ex-post assessment of social impacts of dams. *Environmental Impact Assessment Review*, 55: 84-97
- Beck M.W., Classen A.H. and Hundt P.J. 2012. Environmental and livelihood impacts of dams' common lessons across development gradients that challenge sustainability. *Enternational Jornal of River Basin Management*, 1-20.
- Cernea M.M. 2000. Risks, safeguards, and reconstruction: a model for population displacement and Resettlement, in M.M. Cernea and C. McDowell eds, *Risks and Reconstruction: Experiences of Resettlers and Refugess*, Washington, DC: The World Bank.
- Chao J. 2001. Relocation for giant dam inflames Chinese peasantes *National Geographic News*, May 15.

Recommendation of New Approaches for Urban Flood Management

Gh. Panahi¹, K. Esmaili^{2*}

1,2- Masters of Water Structures and Associate Professors, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

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

Received: 13-02-2017

Accepted: 07-02-2018

توصیه رویکردهای نوین در مدیریت سیلاب شهری

قاسم پناهی^۱، کاظم اسماعیلی^{۲*}

۱-۲- به ترتیب کارشناسی ارشد سازه‌های آبی و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱۸

Abstract

Control and collection of flood runoffs are one of the most important and fundamental issues in the watershed management which is more important in cities due to urban development and significant changes in the natural pattern of the watershed. In many countries, traditional urban flood management approaches have focused on the collection, transport, and dispose of the flood runoffs. Nowadays, a modern approach in urban flood management is recommended which relies on methods that best fit the natural cycle of surface water processes, namely "low-impact development" methods. Using this method as one of the key strategies in urban flood management, especially in developed countries, is becoming more important. In Iran, due to the growth of urbanisation and the formation of large cities, urban flood management has growing importance. Therefore, large investments have been made on urban flood management with a traditional approach by creating a variety of structures for flood collection and disposal, and less attention has been paid to low-impact development methods. In this study, low-impact development methods are introduced and already implemented procedures and their role in urban flood management are expressed. Moreover, the best management solutions for different regions of Iran are introduced.

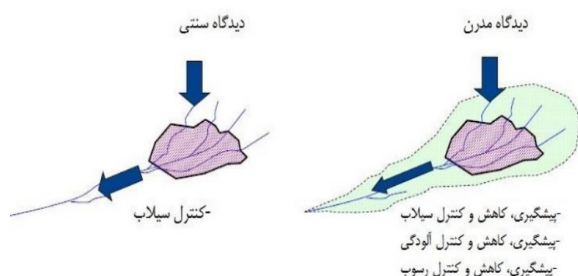
Keywords: Watershed, Flood hydrograph, Urban development, Best management practices.

چکیده

کنترل و جمع‌آوری سیلاب‌ها از مهم‌ترین و اساسی‌ترین موضوعات در مدیریت حوضه آبریز است، که در شهرها به دلیل توسعه شهری و تغییرات قابل توجه در الگوی طبیعی حوضه آبریز، اهمیت بیشتری می‌یابد. در گذشته رویکرد مدیریتی، سیلاب شهری بسیاری از کشورها به صورت سنتی و معطوف به جمع‌آوری، انتقال و دفع آن بوده است. اما امروزه رویکرد مدرن در مدیریت سیلاب شهری با تکیه بر روش‌هایی که بیشترین تطابق را با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی که اصطلاحاً روش‌های توسعه کم‌اثر نامیده می‌شود، پیشنهاد می‌شود. بکارگیری این روش به عنوان یکی از راهبردهای مهم در مدیریت سیلاب شهری به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته هر روزه اهمیت بیشتری پیدا کرده و رو به گسترش است. در ایران نیز به دلیل رشد شهرنشینی و شکل‌گیری کلان‌شهرها، مسئله مدیریت سیلاب شهری هر روزه اهمیت بیشتری می‌یابد. در این راستا هزینه‌های زیادی برای مدیریت سیلاب شهری به روش سنتی با ایجاد انواع سازه‌ها، برای جمع‌آوری و دفع سیلاب صرف شده و کمتر به روش‌های توسعه کم‌اثر توجه شده است. در این پژوهش سعی شده تا روش‌های توسعه کم‌اثر معرفی شده و روش‌های اجرا شده و جایگاه آن در مدیریت سیلاب شهری بیان شود. همچنین بهترین راهکارهای مدیریتی برای مناطق مختلف ایران معرفی شود.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبریز، آبنمود سیلاب، توسعه شهری، بهترین راهکارهای مدیریتی.

را در بر می‌گیرد. دلیل این امر این است که در روش‌های توسعه کم‌اثر، عملیات اجرایی مدیریت سیلاب تنها به جمع‌آوری و انتقال سیلاب محدود نشده و هدف اصلی آن کنترل و کاهش سیلاب‌ها و انتقال آلودگی ناشی از سیلاب‌ها می‌باشد.

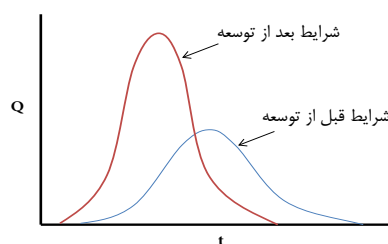


شکل ۲- تفاوت‌های کلی دو دیدگاه مدرن و سنتی

عمده‌ترین پیامد توسعه شهری از منظر مدیریت رواناب، کاهش سطوح نفوذپذیر حوضه و در نتیجه کاهش زمان حرکت آب بر روی این سطوح و افزایش حجم رواناب و اوج آبدی و همچنین افزایش تماس با آلودگی‌ها و در نتیجه کاهش کیفیت رواناب، می‌باشد. همان‌طور که گفته شد، در روش توسعه کم‌اثر، سعی بر حفظ و بازگرداندن شرایط هیدرولوژیکی طبیعی حوضه آبریز و بهبود شرایط زیست‌محیطی در آن است. این روش عملاً شامل مجموعه‌ای از روش‌های برنامه‌ریزی اراضی و طراحی مهندسی است که برای مدیریت رواناب‌های سطحی و سیلاب‌های شهری بکار گرفته می‌شود و ابزاری برای مدیریت سیلاب در حوضه آبریز می‌باشد. به عبارت ساده روش توسعه کم‌اثر، تأکید بر حفاظت از سیمای طبیعی حوضه برای حفاظت از کمیت و کیفیت آب را دارد و از فرصت‌های محیطی، در مدیریت رواناب‌های سطحی در راستای احیاء چرخه طبیعی آب حداکثر استفاده را می‌کند. کاربردهای اختصاصی روش توسعه کم‌اثر و تکنیک‌های بکار گرفته شده در مدیریت سیلاب‌های شهری را می‌توان به ۴ دسته کلی تقسیم کرد. این ۴ دسته عبارتند از:

۱) **بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای مناظر و فضای سبز:** این دسته از تکنیک‌ها، روش‌هایی هستند که انتخاب گیاه، انطباق گیاه با محیط، آبیاری و شیوه‌های فرهنگی و مدیریتی را یکپارچه می‌سازند. از این دسته می‌توان به آبراهه‌هایی با پوشش گیاهی یا جوی باغچه، آبراهه‌های زیستی، باغچه‌های ذخیره باران، آبراهه‌ها یا حوضچه‌ها یا ترانشه‌های نفوذی، محدوده همجوار ضربه‌گیر و پارک‌ها و فضاهای باز اشاره کرد. شکل (۳) نمونه‌هایی از این موارد را نشان می‌دهد. **آبراهه‌هایی با پوشش گیاهی یا جوی باغچه‌ها:** کانال‌های روباز پیش ساخته‌ای هستند که وظیفه آن‌ها هدایت و انتقال رواناب سطحی و نفوذ آن است. طراحی این سازه‌ها با توجه به شیب، طول، عمق، نوع پوشش گیاهی و ... انجام می‌شود. این سازه‌ها جایگزین مناسبی برای جوی‌های بتنی موجود در شهرها می‌باشد. در ادامه برخی از خصوصیات این سازه‌ها آورده شده است.

حوضه‌های شهری همان حوضه‌ی آبریز طبیعی هستند که به مرور زمان پوشش طبیعی خود را از دست داده و به سطوح نفوذناپذیر شهری تبدیل شده‌اند (Chow و همکاران، ۱۹۸۸). با توجه به ساخت‌وساز روزافزون در شهرها و ایجاد کلان شهرها، سطوح نفوذناپذیر حوضه‌ها در حال گسترش بوده و شرایط هیدرولوژیکی آن‌ها در حال تغییر می‌باشد. تأثیر چنین تغییراتی را در تغییر آبنمودهای سیلاب‌ها می‌توان مشاهده کرد. شکل (۱) به طور شماتیک تغییر آبنمود^۱ سیلاب را قبل و بعد از توسعه حوضه شهری نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل (۱) پیداست، با توسعه شهری و کاهش سطوح نفوذپذیر در حوضه، مدت زمان نفوذ رواناب ناشی از سیلاب در حوضه کاهش یافته و همین امر باعث افزایش دبی حداکثری سیلاب در زمان وقوع آن می‌شود.



شکل ۱- تفاوت دبی سیلاب نسبت به زمان قبل و بعد از توسعه حوضه شهری

همان‌طور که بیان شد در گذشته رویکردهای مدیریت سیلاب‌های شهری، بر اساس جمع‌آوری، انتقال و دفع سیلاب‌ها بوده است در حالی که رویکردهای مدرن در مدیریت سیلاب‌های شهری، بر بکارگیری روش‌هایی که حداکثر تطابق را با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی داشته باشد، تأکید دارد. هدف از رویکردهای مدرن در مدیریت سیلاب‌های شهری، کنترل و کاهش سیلاب و انتقال آلودگی ناشی از آن می‌باشد. این روش‌ها که در آن‌ها تأکید بر حداکثر تطابق با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی می‌باشد را اصطلاحاً روش‌های "توسعه کم‌اثر"^۲ می‌گویند. این مفهوم، برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ در ایالات متحده آمریکا، مطرح شد. به دلیل توسعه شهرها و افزایش جمعیت و در نتیجه آن بوجود آمدن تغییرات گسترده در شرایط هیدرولوژیکی حوضه و مشکلات ناشی از سیلاب‌های شهری و از طرف دیگر فواید اقتصادی بکارگیری روش توسعه کم‌اثر در مدیریت سیلاب شهری و جلوگیری از ایجاد خسارت در زیرساخت‌های شهری، روش‌های توسعه کم‌اثر در کشورهای توسعه یافته روز به روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در شکل (۲)، تفاوت‌های کلی دو دیدگاه سنتی و مدرن قابل مشاهده می‌باشد. همان‌طور که از شکل مشخص است، در دیدگاه سنتی مدیریت سیلاب، مطالعات به قسمتی از حوضه مورد نظر محدود می‌شود در حالی که در روش‌های نوین مدیریت سیلاب، محدوده مطالعات و عملیات‌های اجرایی بخش گسترده‌تری از حوضه



شکل ۳- بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای مناظر و فضای سبز: الف) آبراهه با پوشش گیاهی ب) آبراهه زیستی ج) باغچه ذخیره باران د) ترانشه نفوذپذیر

۲) بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای ساختمان‌ها: این دسته از تکنیک‌ها، روش‌هایی هستند که در ساختمان‌ها، مناطق مسکونی و تجاری بیشترین کاربرد را دارند. از این دسته می‌توان به بام‌های سبز، آب‌انبارها و مخازن ذخیره باران و زنجیره‌های باران اشاره کرد.



شکل ۴- بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای ساختمان‌ها: الف) بام سبز ب) مخزن ذخیره آب باران ج) زنجیره باران

بام سبز^۶، یک بام یا قسمتی از بام است که پوشیده از پوشش گیاهی است. بام سبز از چند لایه تشکیل شده است که عبارتند از: لایه ضد آب، میان لایه پوشش گیاهی مهندسی شده، لایه زهکشی و گیاهان مخصوص. بام‌های سبز قابلیت نصب بر روی اکثر بام‌ها را دارند. بام‌های سبز در کاهش حجم و سرعت رواناب، راندمان بالا و تأثیر بسزایی دارند. بدین صورت که رواناب را برای مدت کوتاهی در خود ذخیره و به تدریج به سمت فاضلاب هدایت می‌کنند. همچنین میزان تبخیر-تعرق را به طور چشمگیری افزایش می‌دهند.

مخازن ذخیره باران^۷، مخازنی هستند که آب تجمع‌یافته در پشت بام‌ها را در خود ذخیره می‌کنند. از آب ذخیره شده برای استفاده مجدد در آبیاری چمن‌ها، باغچه‌ها، گلدان‌های پشت پنجره‌ها و یا درختان خیابان، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مخازن با ذخیره آب باران و جلوگیری از ورود آن به سیستم انتقال رواناب شهر باعث کاهش حجم رواناب خواهند شد. باید توجه داشت که این مخازن در صورتی که بین دو بارندگی تخلیه شوند و از آب آن‌ها استفاده مجدد شود، با وجود حجم کمی که دارند در کاهش حجم رواناب ورودی به سیستم‌های انتقال رواناب در زمان بارندگی‌های شدید، تأثیر بسزایی دارند.

- به عنوان جایگزینی برای سیستم‌های سنتی انتقال رواناب می‌باشند.

- این سازه به طور معمول سطح مقطع دوزنقه یا سهمی دارد.

- حجم رواناب به وسیله نفوذ دادن رواناب کاهش می‌یابد.

- با توجه به نفوذ دادن رواناب به داخل زمین، کیفیت آب بهبود پیدا می‌کند.

- با توجه به طولانی شدن مسیر جریان و افزایش زبری، سرعت رواناب کاهش پیدا می‌کند.

آبراهه‌های زیستی^۸، سازه‌هایی هستند که به منظور حذف گل و لای و آلودگی از رواناب، به کار گرفته می‌شوند. این سازه، پوشیده از پوشش گیاهی و سنگچین و شیب جانبی کمتر از ۶ درصد است. با توجه به اینکه زبری این آبراهه‌ها زیاد می‌باشند، در نتیجه سرعت آب داخل این آبراهه‌ها کاهش یافته و این امر موجب انتقال کمتر رسوبات همراه جریان می‌شود.

باغچه‌های ذخیره باران^۹، قطعه زمین‌هایی پوشیده از گیاه هستند که برای رواناب ناشی از سطوح نفوذناپذیری مانند پشت بام‌ها، پیاده‌روها و ... شرایط نفوذ را فراهم می‌کند. این سازه مسئولیت کاهش حجم رواناب و آلودگی آن را از طریق نفوذ آن به زمین دارد. باغچه‌های ذخیره باران قابلیت طراحی و کارگذاری در انواع خاک و اقلیم‌های متفاوت را دارند. باغچه‌های ذخیره باران از نظر ظاهری مانند یک باغچه معمولی به نظر می‌رسند که پوشیده از انواع گیاهان است. اما زیر این باغچه فرآیندهای زیادی در حال وقوع است که شرایط هیدرولوژی یک سطح جنگلی طبیعی را شبیه‌سازی می‌کند. این سازه در واقع یک سازه ذخیره‌ای - زیستی است، با این تفاوت که رواناب ورودی، حجم و آلودگی کمتری دارد. باغچه‌های ذخیره‌ای به طور معمول برای زهکشی ۴ ساعته، بعد از وقوع یک اینچ بارندگی طراحی می‌شوند. بنابراین گیاهانی که برای استفاده در این سازه انتخاب می‌شوند، می‌بایست تحمل حالت غرقابی در زمان بارندگی و تحمل خشکی را در فاصله بین بارندگی‌ها داشته باشند.

ترانشه‌های نفوذی^{۱۰}، خندق‌های خطی طولی و کم عرضی هستند که درون آن‌ها با ذرات درشت دانه و قطعه‌سنگ‌ها پر می‌شود و معمولاً مجرای خروجی ندارد. رواناب ورودی به این سیستم در فضای خالی مابین ذرات درشت دانه موقتاً ذخیره می‌شود و به تدریج از کف و دیواره‌ها به دورن خاک اطراف ترانشه نفوذ می‌کند. هدف اصلی این سازه کنترل کیفیت رواناب است. خاک داخل این ترانشه‌ها نفوذپذیری بسیار بالایی دارد که به رواناب ورودی اجازه می‌دهد تا با سرعت بسیار زیادی به زمین نفوذ کند. از مزایای این سازه کاهش حجم رواناب، کنترل و کاهش آلودگی رواناب و در نهایت تغذیه آب زیرزمینی است. رواناب خروجی از اماکن و محوطه‌هایی همچون پارکینگ‌ها و نواحی اطراف اتوبان‌ها را می‌توان به سمت ترانشه‌های نفوذی هدایت کرد و به داخل زمین انتقال داد. بنابراین ترانشه‌های نفوذی را می‌توان برای زهکشی رواناب یک محوطه به جای جوی‌های بتنی و یا در کنار آن‌ها توصیه نمود.

زنجیره‌های باران^۱، سازه‌ای ساده که به عبارتی شبیه به یک ناودان مدرن عمل می‌کند و وظیفه انتقال باران از بام به زمین را دارد. خروجی این سازه یا به زمین و برای تغذیه آب زیرزمینی است و یا در اکثر موارد برای استفاده‌های خانگی به یک مخزن هدایت می‌شود.

۳) بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای خیابان‌ها و کوچه‌ها: این دسته از تکنیک‌ها، روش‌هایی هستند که سعی بر به حداقل رساندن سطوح نفوذناپذیر و کنترل میزان رواناب، آلودگی و کنترل رسوب در معابر شهری و سطح شهر هستند. از این دسته می‌توان به پیاده‌روها و سنگ‌فرش‌های متخلخل، حوضچه‌های نگهداشت خشک، حوضچه‌های مرطوب، حوضچه‌های فیلتر شنی و سیستم ماند بیولوژیکی اشاره کرد.



تکنیک‌های مدیریت رواناب برای خیابان‌ها و کوچه‌ها: (الف) پیاده‌رو متخلخل (ب) حوضچه نگهداشت خشک (ج) حوضچه نگهداشت مرطوب

پیاده‌روها و مسیرهای سنگ‌فرش متخلخل، از جمله روش‌هایی هستند که به آب اجازه نفوذ سریع داده و مانع از ایجاد رواناب می‌شوند. روکش‌های بسیار زیادی برای این کار مورد استفاده قرار می‌گیرد که از جمله آن‌ها می‌توان به آسفالت نفوذپذیر، بتن‌های نفوذپذیر و سنگ‌فرش‌های به هم پیوسته، اشاره کرد. قابلیت‌های این روش شامل ذخیره موقت رواناب، کاهش حجم و دبی اوج رواناب، تغذیه آب‌های زیرزمینی و بهبود کیفیت آب است. این روکش‌های نفوذپذیر را می‌توان به جای انواع سطوح نفوذناپذیر شهری به‌ویژه پیاده‌روها و پارکینگ‌ها بکار برد.

حوضچه‌های نگهداشت خشک، حوضچه‌هایی هستند که دهانه خروجی آن طوری طراحی شده است که بتواند رواناب را برای یک حداقل زمان (به طور مثال ۲۴ ساعت)، نگه دارد تا اجازه دهد مواد و آلاینده‌ها ته‌نشین شوند. برای طراحی این سازه می‌بایست به شرایط منطقه اعم از نوع خاک، وضعیت زمین‌شناسی منطقه، شیب منطقه، اطلاعات هیدرولوژیکی و میزان آلاینده‌های موجود در سیلاب‌ها، توجه گردد. این روش برای استفاده، به منطقه بسیار وسیعی برای ساخت نیاز دارد و ظرفیت و مساحت زهکشی آن بستگی به خصوصیات طراحی آن دارد. در صورتی که مخزن ذخیره سیلاب نیز در طراحی در نظر گرفته شود این سازه نقش کنترل سیلاب را نیز خواهد داشت. نکات کلیدی استفاده از این حوضچه‌ها وجود فضاهای کافی جهت احداث، توجه به عمق آب زیرزمینی، میزان آلاینده‌های موجود در منطقه (اگر میزان آلاینده‌های موجود در منطقه بالا باشد، این روش توصیه نمی‌گردد)، ایمن‌سازی دیواره‌های جانبی حوضچه و لایروبی و نگهداری مستمر آن است.

حوضچه‌های مرطوب، حوضچه‌های ساخته شده مصنوعی هستند که دارای یک استخر می‌باشد که در طول سال (یا حداقل در طول فصل مرطوب) دارای آب است. این حوضچه‌ها به ذرات موجود در رواناب ورودی اجازه ته‌نشین شدن می‌دهند و همچنین جلبک‌ها از مواد نامطلوب داخل آب تغذیه می‌کنند و به این ترتیب کیفیت رواناب بهبود پیدا می‌کند. مکانیزم حذف اولیه، به محض وارد شدن رواناب به سیستم اتفاق می‌افتد. اما جذب آلاینده‌ها توسط جلبک‌ها در طی فعالیت‌های بیولوژیکی در حوضچه اتفاق می‌افتد. حوضچه‌های مرطوب قابلیت استفاده در بسیاری از مکان‌ها را دارا هستند و محدودیت استفاده آن‌ها تنها در مناطق بسیار خشک است. این سازه موجب کاهش دبی اوج و در نتیجه حفاظت از کانال‌های پایین‌دست در برابر فرسایش و رسوب می‌شود و همان‌طور که اشاره شد قابلیت حذف آلاینده‌های محلول را دارد.

۴) بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای طراحی ساختگاه‌ها: اجرای هر پروژه در یک سایت (ساختگاه) همواره همراه با تغییرات در چرخه هیدرولوژیکی است. در روش‌های توسعه کم اثر، سعی بر این است که این تغییرات به حداقل میزان خود برسد. اصولاً در این مرحله بیشتر از روش‌های غیرسازه‌ای از جمله کاهش سطوح نفوذناپذیر، سیستم زهکشی نفوذپذیر و به حداقل رساندن رواناب سطحی، بهره می‌برند. این تکنیک مدیریتی نیاز به بازرسی‌های دوره‌ای برای اطمینان از تأثیرگذاری آن‌ها دارد. در حالت کلی ۳ نوع بازرسی برای این حالت وجود دارد. بازرسی عادی، بازرسی‌های قبل وقوع بارندگی و بازرسی‌های بعد از وقوع بارندگی.

سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا در نشریه‌ای که برای مدیریت سیلاب‌های شهری ارائه کرده است، مراحل انتخاب بهترین راهکارهای مدیریتی را بر اساس مراحل زیر پیشنهاد داده است.

(الف) امکان‌سنجی: در این مرحله قابلیت هر راهکار مدیریتی برای برآورده شدن نیاز مورد نظر، بررسی می‌گردد.

(ب) تعریف اهداف طراحی: در این مرحله با استفاده از داده‌های هواشناسی، تکنیک‌های مدل‌سازی، مطالعات قبلی، داده‌های منتشر شده و غیره، به تعریف تمامی اهداف پروژه، مخصوصاً حجم رواناب ورودی به سیستم بطور مشخص، تعریف می‌گردند.

(ج) ارزیابی گزینه‌های طراحی: در این مرحله تمامی راهکارهای مدیریتی که قابلیت برآورده کردن اهداف تعریف شده در مرحله قبل را دارند، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و در نهایت تصمیم برای انتخاب بهترین گزینه گرفته می‌شود.

(د) نهایی کردن طراحی و برآورد هزینه طرح‌های اجرا شده در کشورهای مختلف:

همان‌طور که اشاره شد روش‌های توسعه کم‌اثر بیشتر در کشورهای توسعه یافته اجرا شده است. در جدول (۱)، روش‌هایی از بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب که در کشورهای مختلف اجرا شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۱- بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب در کشورهای مختلف

کشور	بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای منظره و فضای سبز	بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای ساختمان‌ها	تکنیک‌های مدیریت رواناب برای خیابان‌ها و کوچه‌ها
انگلیس	آبراهه زیستی - ترانشه نفوذ پذیر	مخزن ذخیره آب باران	پیاده‌رو متخلخل
فرانسه	آبراهه زیستی	مخزن ذخیره آب باران	پیاده‌رو متخلخل
آلمان	باغچه ذخیره باران	مخزن ذخیره آب باران	پیاده‌رو متخلخل
هلند	باغچه ذخیره باران - آبراهه با پوشش گیاهی	زنجیره باران - بام سبز	پیاده‌رو متخلخل - حوضچه نگهداشت مرطوب
ایتالیا		مخزن ذخیره آب باران	پیاده‌رو متخلخل
استرالیا	باغچه ذخیره باران	مخزن ذخیره آب باران - بام سبز	حوضچه نگهداشت مرطوب
آمریکا	باغچه ذخیره باران	زنجیره باران	پیاده‌رو متخلخل
ژاپن	آبراهه با پوشش گیاهی	زنجیره باران	حوضچه نگهداشت خشک
کره جنوبی	آبراهه با پوشش گیاهی	بام سبز	حوضچه نگهداشت خشک
تایلند	آبراهه زیستی	بام سبز	حوضچه نگهداشت خشک

تصمیم‌گیری در مورد اجرای بهترین تکنیک مدیریت رواناب، شامل چند مرحله می‌باشد که در ادامه به اختصار بیان شده است.

- **بررسی کاربردها و محدودیت‌ها:** در این مرحله در ابتدا به بررسی میزان کاربرد و مزایای بهترین تکنیک مدیریتی مورد نظر پرداخته می‌شود. به این معنی که این تکنیک از مدیریت رواناب در کدام قسمت (کنترل پیک رواناب، کنترل رسوب، افزایش نفوذپذیری) کاربرد دارد. در گام بعدی محدودیت‌های استفاده از این تکنیک (محدودیت شیب، میزان رسوب، نوع خاک) بررسی می‌شود.

- **طراحی:** اولین گام در طراحی، بازدید میدانی از ساختگاه و در گام‌های بعدی جمع‌آوری داده‌ها با توجه به نوع بهترین تکنیک مدیریتی و نیاز آن از قبیل داده‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی، هواشناسی، میزان شیب، خصوصیات خاک، میزان مواد محلول، نوع رسوبات و ... است. سپس با توجه به استانداردهای طراحی و در نظر گرفتن کلیه شرایط، به طراحی کلیه اجزا پرداخته می‌شود.

- **واسنجی:** واسنجی به منظور کنترل صحت و دقت پارامترها و کلیه تجهیزاتی است که عملکرد آن‌ها بر کیفیت فرآیند، تأثیرگذار می‌باشد. این کار باید در ابتدا و سپس به صورت دوره‌ای انجام شود زیرا عواملی نظیر گذشت زمان، فرسودگی، حوادث غیر قابل پیش‌بینی و ...، سازه مورد نظر را از حالت استاندارد خارج کرده و عملکرد سازه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

- **شبیه‌سازی مدل رواناب:** شبیه‌سازی پدیده بارش - رواناب به منظور بررسی وقوع پدیده و چگونگی آن است. شبیه‌سازی هیدرولوژیکی از مراحل اساسی و اولیه در مدیریت منابع آب است.

- **معیارهای امکان‌سنجی:** امکان‌سنجی مطالعه‌ای است که از آن طریق احتمال انجام موفقیت‌آمیز تصمیم برآورد می‌شود. درواقع مطالعه امکان‌سنجی برای حصول اطمینان از عملی بودن طرح از لحاظ فنی و اقتصادی و قبل از اجرای طرح، صورت می‌گیرد. معیارهای

امکان‌سنجی در انتخاب بهترین تکنیک‌های مدیریتی عبارتند از:

- اثرهای محیطی: باید تأثیرات وارده به محیط و نحوه اجرا و محل بهترین تکنیک‌های مدیریتی تحت مطالعه قرار گیرد.

- سطح زهکشی: برای حداقل و حداکثر میزان سطح زهکشی استاندارد و محدودیت‌هایی با توجه به شرایط منطقه تعریف می‌شود.

- محدودیت‌های توپوگرافی مانند موقعیت تراز آب زیرزمینی، بستر سنگی، شیب‌های بسیار تند.

- **ساخت:** بعد از اتمام تمامی مراحل بالا نوبت به مرحله ساخت سازه می‌رسد که با توجه به طراحی انجام شده، ملاحظات و محدودیت‌های تعریف شده، ساخت سازه انجام می‌گیرد.

- **نگهداری:** نگهداری از هر سازه با توجه به کاربرد آن و بر مبنای ارزیابی‌هایی که انجام می‌شود، برای حفظ عملکرد درست سازه، مانند ثابت نگه‌داشتن ظرفیت ذخیره، ثابت نگه‌داشتن ظرفیت حذف رسوبات، کنترل میزان حذف آلودگی‌ها و ...، صورت می‌گیرد. این نگهداری بر اساس استانداردها و تعاریف در زمان مقرر به طور مداوم انجام می‌گیرد.

سابقه موضوع در ایران: سابقه پژوهش‌های توسعه کم‌اثر در ایران سابقه طولانی نداشته و بسیار جوان می‌باشد. در زیر به مطالعاتی که در دانشگاه‌های مختلف ایران بر روی روش‌های توسعه کم‌اثر و تأثیر آن‌ها بر سیلاب‌های شهری انجام شده است، اشاره می‌شود.

رازدار و همکارن (۱۳۸۹) با بررسی آثار و دلایل وقوع سیلاب‌های شهری، چنین نتیجه‌گیری کردند که تا حد امکان با اعمال روش‌های مدیریتی صحیح و دقیق باید از میزان سطوح نفوذناپذیر کاست. همچنین بیان کردند که روش دیگر کنترل و مهار سیلاب‌های شهری، هدایت آب روی سقف خانه‌ها به سوی باغچه‌های دارای پوشش گیاهی می‌باشد. کاویانپور و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی حوضه کن استان تهران، چنین بیان کردند که با گذشت زمان و توسعه مناطق

شهری، دبی پیک سیلاب حوضه مورد نظر، ۳ برابر شده است. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که اگر در حوضه مورد نظر از روش‌های توسعه کم‌اثر برای کنترل سیلاب‌ها استفاده شود، میزان افزایش دبی پیک در بیشترین حالت ۱/۵ برابر خواهد شد. روش‌های توسعه کم‌اثر پیشنهادی کاویانپور و همکاران برای کنترل سیلاب‌های حوضه کن، استفاده از باغچه‌ها و مخازن ذخیره باران می‌باشد. رشیدی مهرآبادی (۱۳۹۰) با انجام پژوهشی در زمینه کنترل سیلاب‌های شهری چنین نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از روش‌های غیر سازه‌ای همچون باغچه‌های ذخیره باران و بسترهای نفوذپذیر در پیاده‌روها و خیابان‌ها، علاوه بر کاهش میزان حجم سیلاب‌های شهری می‌توان میزان آلودگی سیلاب‌ها را کاهش داد. کمالی و تجربی (۱۳۹۰) با انجام مطالعاتی بر روی بسترهای نفوذپذیر، تأثیر این بسترها را در مدیریت سیلاب‌ها بررسی کردند. آن‌ها با توجه به نتایج حاصل از مطالعاتشان چنین نتیجه گرفتند که اگر طرح پیشنهادی برای مناطق خشک، بسترهای نفوذپذیر باشد، بستر باید در ۳ لایه با ضخامت‌های ۵ سانتی‌متر اجرا شود. دانه‌بندی لایه بالایی برابر ۵۰ میلی‌متر، لایه میانی بین ۲/۳۶ تا ۴/۷۵ میلی‌متر و لایه پایین با توجه به جنس خاک منطقه انتخاب می‌شود. توکلی و تجربی (۱۳۹۰) برای حوضه مقصودیگ واقع در شمال تهران، مطالعات ارزیابی اقتصادی بین ۳ روش جوی باغچه، پشت‌بام سبز و حوضچه ذخیره رواناب را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که جوی باغچه اقتصادی‌ترین گزینه برای منطقه مورد بررسی می‌باشد. کمالی و تجربی (۱۳۹۰) مطالعاتی بر روی تأثیر بسترهای نفوذپذیر بر کیفیت سیلاب‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که بسترهای نفوذپذیر رسوبات جامد رواناب را بطور کامل حذف کرده و باعث کاهش ۵۶ درصدی آمونیاک می‌شود. بهرامی و همکاران (۱۳۹۲) نیز تأکید کردند که استفاده از روش‌های نوین کنترل سیلاب شهری علاوه بر مهار سیلاب‌ها، باعث تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود. فلاحتی‌زرنندی و طاهریون (۱۳۹۲) با انجام مطالعاتی بر روی تأثیر روش‌های توسعه کم‌اثر بر روی کیفیت و کمیت سیلاب‌های شهری نشان دادند که روش‌های جوی باغچه و پشت‌بام سبز اثرات مثبتی بر کیفیت و کمیت سیلاب‌های شهری دارند. آن‌ها بیان کردند که در اجرای روش‌های توسعه کم‌اثر باید شرایط اقتصادی طرح‌ها نیز مورد بررسی قرار بگیرد. لنگری و همکاران (۱۳۹۳) کاربرد روش‌های توسعه کم‌اثر بر کنترل سیلاب‌های شهری را در شهرستان بجنورد مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که بهترین روش برای شهرستان بجنورد با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی منطقه مورد بررسی، روش حوضچه‌های ذخیره سیلاب می‌باشد. سلطانی و همکاران (۱۳۹۳) با توجه به این موضوع که ایران کشوری با اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و اکثر بارش‌ها در مدت زمان کم و با شدت بالا رخ می‌دهد، بیان کردند که برای کاهش سیلاب‌های ناشی از این بارش‌ها و همچنین کاهش آلودگی‌های ناشی از آن‌ها و خطرات دیگری که در پی دارند، استفاده از روش‌های نوین کنترل سیلاب شهری از قبیل روش‌های

توسعه کم‌اثر اجتناب ناپذیر است. آن‌ها بیان کردند که با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، بهترین روش، استفاده از مخازن ذخیره باران و همچنین پیاده‌روهای متخلخل می‌باشد. حیدری و همکاران (۱۳۹۳) با انجام تحقیقی در بخش مرکزی شهر ورامین، چنین نتیجه‌گیری کردند که زهکش‌های طراحی شده برای جمع‌آوری سیلاب‌های منطقه مورد نظر، دارای ظرفیت کافی برای انتقال آن نمی‌باشند. آن‌ها پیشنهاد کردند که با توجه به روش‌های توسعه کم‌اثر می‌توان از فضای سبز منطقه مورد نظر برای کاهش ظرفیت سیلاب‌های منطقه استفاده کرد. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که در منطقه مورد نظر اگر فضای سبز منطقه، جهت کاهش سیلاب‌ها مورد استفاده قرار گیرد، میزان سیلاب منطقه مورد نظر را به میزان ۳۳٪ کاهش می‌یابد. کاویانپور و همکاران (۱۳۹۳) با انجام پژوهشی بر روی حوضه رودخانه قم (قمرود)، سیلاب این حوضه را در دو حالت بدون اجرا شدن روش‌های توسعه کم‌اثر و با اجرا شدن روش‌های توسعه کم‌اثر، توسط مدل SWMM که یک مدل دینامیک برای بارش-رواناب می‌باشد، مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که در شرایطی که برای حوضه مورد نظر از روش‌های توسعه کم‌اثر استفاده شود، میزان دبی ناشی از طغیان رودخانه و سیلاب‌های ناشی از بارش‌های شدید در حوضه قمرود، با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲ و ۱۰۰ ساله، به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. کاویانپور و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی دیگر در حوضه آبریز قم، اثر توسعه شهرنشینی را بر میزان سیلاب‌ها مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیان کردند که توسعه شهرنشینی باعث افزایش سطوح نفوذناپذیر و در پی آن موجب افزایش حجم سیلاب و میزان آلودگی در آن می‌شود. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که با استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر می‌توان حجم سیلاب‌ها و میزان آلودگی آن‌ها را به میزان قابل توجهی کاهش داد. همچنین بیان کردند که استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر نسبت به روش‌های سازه‌ای به مراتب صرفه اقتصادی بیشتری دارد. کبارفرد و فضل‌اولی (۱۳۹۴) با استفاده از مدل EPA-SWMM دو روش پشت‌بام سبز و جوی باغچه را برای منطقه ۲۲ شهر تهران مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که روش پشت‌بام سبز با کاهش ۱۷/۲ درصدی سیلاب نسبت به جوی باغچه که کاهش ۹/۷ درصدی دارد، روش مناسب‌تری می‌باشد. **سابقه موضوع در جهان:** در حال حاضر بکارگیری روش‌ها و راهکارهای توسعه کم‌اثر و بهترین راهکارهای مدیریتی در مدیریت سیلاب‌های شهری، از جهات مختلف در دنیا مورد پژوهش قرار گرفته است. نمونه‌های زیادی از آن‌ها را می‌توان در بسیاری از کشورهای جهان از جمله انگلیس، فرانسه، آلمان، هلند، ایتالیا، آمریکا، استرالیا، ژاپن، کره جنوبی و تایلند یافت. در زیر به قسمتی از این مطالعات اشاره می‌شود. Ahiablame و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر دو روش مخزن ذخیره باران و پیاده‌رو متخلخل را بر میزان سیلاب‌های شهری مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که این دو روش میزان دبی حداکثر سیلاب را کاهش داده و در پی آن خطرات ناشی از سیلاب‌ها کاهش می‌یابد.

Zahmatkesh و همکاران (۲۰۱۴) با کمک دو مدل SWMM و CMIP، دریافتند که روش‌های توسعه کم‌اثر در دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۲ سال به ترتیب ۲۸ و ۱۴ درصد، حجم سیلاب‌ها را کاهش می‌دهد. Rosa و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل SWMM تأثیر روش‌های توسعه کم‌اثر انتقال آلودگی سیلاب‌ها بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که روش‌های توسعه کم‌اثر باعث کاهش انتقال آلودگی می‌شود. Martin-Mikle و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر روش‌های توسعه کم‌اثر را بر انتقال آلودگی و رسوبات مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بر اساس نتایج بدست آمده از بررسی‌ها چنین بین کردند که اجرای روش‌های توسعه کم‌اثر موجب کاهش ۱۶ درصدی در انتقال آلودگی و کاهش ۱۷ درصدی در انتقال رسوبات می‌شود. Khin و همکاران (۲۰۱۶) با انجام مطالعاتی بر روی پیاده‌روهای متخلخل دریافتند که این روش توسعه کم‌اثر میزان حجم سیلاب شهری را ۱۸/۲ تا ۳۷/۱ درصد کاهش می‌دهد. Li و همکاران (۲۰۱۵) نیز با انجام پژوهشی چنین نتیجه گرفتند که با استفاده از روش‌های باغچه‌های زیستی و پیاده‌روهای متخلخل میزان حجم سیلاب و همچنین آلودگی‌های نقطه‌ای کاهش پیدا می‌کند. Palanisamy و Chui (۲۰۱۵) با انجام پژوهشی چنین نتیجه‌گیری کردند که با استفاده از کانال با پوشش گیاهی، دبی حداکثر سیلاب به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. Bhaskar و همکاران (۲۰۱۶) با انجام پژوهشی بر روی یک حوضه خاص طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴، دریافتند که استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر علاوه بر کاهش خطرات ناشی از سیلاب‌ها، باعث بهبود وضعیت آب‌های زیرزمینی نیز می‌شود. Ahiablame و Shakya (۲۰۱۶) در بررسی ۳ روش توسعه کم‌اثر منبع ذخیره باران، پیاده‌رو متخلخل و باغچه ذخیره باران چنین نتیجه گرفتند که میزان حجم سیلاب بین ۳ تا ۴۷ درصد کاهش پیدا می‌کند.

جمع‌بندی و پیشنهادات

توسعه روزافزون شهرها و افزایش سطوح نفوذناپذیر، ساختار طبیعی حوضه آبریز را دچار تغییرات شدید نموده که منجر به کاهش پتانسیل ذخیره طبیعی آب (نفوذ آب در خاک و ذخیره چالاب) در حوضه و در نتیجه موجب افزایش رواناب در حوضه می‌شود. در روش‌های توسعه

کم‌اثر جهت مدیریت سیلاب شهری، برای حفظ یا بازگرداندن شرایط هیدرولوژیکی طبیعی حوضه آبریز و بهبود شرایط زیست‌محیطی که در آن است، با استفاده از خصوصیات و عوارض طبیعی و مصنوعی واقع در سطح حوضه، اقداماتی در جهت کاهش حجم و دبی اوج رواناب، تصفیه یا کاهش آلودگی رواناب و همچنین افزایش نفوذ و تغذیه آب زیرزمینی انجام می‌شود. برخی از این اقدامات به نام بهترین راهکارهای مدیریت رواناب، به عنوان ابزاری مناسب برای مدیریت سیلاب‌های شهری معرفی شدند. این اقدامات گاهی بصورت سازه‌ای و گاهی بصورت غیرسازه‌ای می‌باشند. همچنین باید یادآور شد که استفاده هر یک از راهکارهای مدیریتی ارائه شده، در شهر با توجه به هدف و ویژگی‌های هر شهر متنوع بوده و درجه کارایی آن‌ها متفاوت می‌باشد که می‌بایست با توجه به شرایط، بومی‌سازی شود. برای بکارگیری این روش می‌توان دو گونه برخورد کرد.

- بکارگیری این تکنیک‌ها در شهر در وضعیت موجود برای بهسازی
- بکارگیری این تکنیک‌ها در طراحی شهری از مرحله نخست در

مقیاس کلان و خرد
سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در سال ۲۰۰۹، دستورالعملی برای استفاده از بهترین تکنیک‌های مدیریت سیلاب، ارائه داده است. در این دستورالعمل طبقه‌بندی کلی مدیریت سیلاب با استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر، بر اساس نوع اقلیم مناطق مختلف ذکر شده است. با توجه به این که دستورالعملی مبنی بر انتخاب روش‌های توسعه کم‌اثر در مناطق مختلف ایران تاکنون ارائه نشده است، براساس بیشترین تشابه اقلیمی بین اقلیم‌های مختلف ایران و آمریکا، جدول زیر برای بکارگیری روش‌های توسعه کم‌اثر در ایران پیشنهاد می‌گردد. لازم به ذکر است که بکارگیری هر یک از این روش‌ها در ایران مستلزم مطالعات دقیق‌تر و بومی‌سازی این روش‌ها بر اساس منطقه مورد استفاده می‌باشد.

با توجه به این که در حال حاضر، این تکنیک‌ها در ایران به دلایل مختلف، تاکنون اجرا نشده است، و در عین حال با توجه به شاهد بودن مشکلات جدی در مسئله مدیریت رواناب‌ها در کلان شهرها، پیشنهاد می‌شود این تکنیک‌ها بیشتر مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفته و روش‌های بومی‌سازی بررسی شوند و با استفاده از این روش‌ها از منابع آبی کشور حفاظت شود.

جدول ۲- بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب پیشنهادی برای ایران

منطقه	بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای مناظر و فضای سبز	بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای ساختمان‌ها	بهترین تکنیک‌های مدیریت رواناب برای خیابان‌ها و کوچه‌ها
مناطق شمالی ایران	آبراهه با پوشش گیاهی	زنجیره باران	پیاده‌رو متخلخل
مناطق غربی ایران	آبراهه با پوشش گیاهی	بام سبز	حوضچه نگهداشت مرطوب
مناطق جنوبی ایران	باغچه ذخیره باران	مخزن ذخیره آب باران	حوضچه نگهداشت خشک
مناطق شرقی ایران	آبراهه زیستی	مخزن ذخیره آب باران	حوضچه نگهداشت خشک
مناطق مرکزی ایران	آبراهه زیستی- باغچه ذخیره باران	مخزن ذخیره آب باران	حوضچه نگهداشت خشک

- 1- Hydrograph
- 2- Low Impact Development(LID)
- 3- Bioswales
- 4-Rain Gardens
- 5- Trenches
- 6- Green Roof
- 7- Rain Barrels
- 8- Rain Chains

منابع

- آلاینده از رواناب شهری. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. تهران. ایران.
- کمالی، م.، تجربی، م. ۱۳۹۰. بکارگیری روسازی نفوذپذیر در مدیریت رواناب شهری. کنفرانس ملی توسعه پایدار و عمران شهری. اصفهان. ایران.
- لنگری، م.، کاویانپور، م.، ر.، بهرامی، ج.، کلایی، ح. ۱۳۹۳. کاربرد روش‌های توسعه کم‌اثر بر رواناب شهری- مطالعه موردی شهرستان بجنورد. اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران. تهران. ایران.
- Ahiablame L. and Shakya R. 2016. Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. *Journal of environmental management*, 171: 81-91.
- Ahiablame L.M., Engel B.A. and Chaubey, I. 2013. Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: Retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement. *Journal of environmental management*, 119: 151-161.
- Bhaskar A.S., Hogan D.M. and Archfield S.A., 2016. Urban base flow with low impact development. *Hydrological Processes*, 30(18): 3156-3171.
- Chow V.T., Maidment D.R. and Mays L.W. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Khin M.M.L., Shaker A., Joksimovic D. and Yan W.Y. 2016. The use of WorldView-2 satellite imagery to model urban drainage system with low impact development (LID) Techniques. *Geocarto International*, 31(1): 92-108.
- Li T., Shan S., Liu J., She N., Chen B. and Wu L. 2015. Applying New Features of Low-Impact Development Techniques in the Master Planning of Guangzhou Educational Town. *International Low Impact Development Conference 2015*, January 19-21, Houston, Texas.
- Martin-Mikle C.J., de Beurs K.M., Julian J.P. and Mayer P.M. 2015. Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use watershed. *Landscape and Urban Planning*, 140: 29-41.
- Palanisamy B. and Chui T.F.M. 2015. Rehabilitation of concrete canals in urban catchments using low impact development techniques. *Journal of Hydrology*, 523: 309-319.
- Rosa, D.J., Clausen, J.C. and Dietz, M.E., 2015. Calibration and verification of SWMM for low impact development. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 51(3), pp.746-757.
- Zahmatkesh Z., Burian S.J., Karamouz M., Tavakol-Davani H. and Goharian E. 2014. Low-impact development practices to mitigate climate change effects on urban stormwater runoff: Case study of New York City. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141(1): 04014043.
- بهرامی، ج.، حسینی، ا.، رفیعی، د. ۱۳۹۲. مدیریت سیلاب شهری به کمک روش‌های نوین. اولین همایش بین‌المللی و چهارمین همایش ملی عمران شهری. کردستان. ایران.
- توکلی، س.، تجربی، م. ۱۳۹۰. بهبود کیفیت رواناب شهری با استفاده از بهترین راه کارهای مدیریتی با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی در تهران. کنفرانس ملی توسعه پایدار و عمران شهری. اصفهان. ایران.
- حیدری، ه.، کاویانپور اصفهانی، م.، ر.، پورحسن‌زارع، م. ع. ۱۳۹۳. بررسی عملکرد تبدیل فضاهای سبز شهری به واحدهای زیست‌ماند به عنوان رویکردی نوین در کاهش تأثیرات سیلاب شهری. دومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب. تهران. ایران.
- رازدار، ب.، قویدل، آ.، ذوقی، م.، ج.، پیروز، ب. ۱۳۸۹. آثار و دلایل وقوع سیلاب‌های شهری. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری. تهران. ایران.
- رشیدی‌مهرآبادی، م. ح. ۱۳۹۰. ارائه و بررسی روش‌های سطوح آبگیر در کنترل سیلاب شهری. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. تهران. ایران.
- سلطانی، ک.، سلیمانی، ح. و رضانی‌پور دستجردی، ف. ۱۳۹۳. روش‌های نوین معماری و شهرسازی در توسعه کم‌اثر. اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران. تهران. ایران.
- فلاحی‌زندی، ا.، طاهریون، م. ۱۳۹۲. بررسی کاربرد بهینه‌ترین راهکارهای مدیریتی در بهبود کمیت و کیفیت رواناب شهری. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب. تهران. ایران.
- کاویانپور، م.، ر.، بهزادی‌پور، ا.، آقازاده‌بری، ع. ا.، مقیمی، ا. ۱۳۹۳. توسعه شهرنشینی و کاربرد روش‌های توسعه کم‌اثر- مطالعه موردی قم‌رود. نهمین سمپوزیوم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی. مشهد. ایران.
- کاویانپور، م.، ر.، مقیمی، ا.، شریفی، س. ۱۳۸۹. تعیین اثرات کاربرد روش توسعه کم‌اثر در کاهش سیلاب‌های شهری و شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری. تهران. ایران.
- کبارفرد، م.، فضل‌اولی، ر. ۱۳۹۴. مدل‌سازی کمی و کیفی سیلاب شهری با مدل EPA-SWMM مطالعه موردی بخشی از منطقه ۲۲ تهران. تهران. ایران.
- کمالی، م.، تجربی، م. ۱۳۹۰. بررسی عملکرد روسازی نفوذپذیر در حذف

A Review of Conceptual Monthly Water Balance Models

I. Sane¹, B. Saghafian^{2*}

1,2- MSc Civil Engineering & Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: b.saghafian@gmail.com)

Received: 19-02-2017

Accepted: 10-10-2017

بررسی انواع مدل‌های مفهومی بیلان آب ماهانه

ایمان صانع^۱، بهرام ثقفیان^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب کارشناس ارشد مهندسی عمران و استاد گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۱۸

Abstract

Water balance models are generally based on mass continuity and the hydrologic cycle of water in the natural environment. Monthly water balance models evaluate the importance of various hydrological parameters under diverse hydrological conditions. As water balance models are becoming widespread, there is a significant effort devoted to the development of these models towards estimating the hydrological components of the basin. Different models and algorithms consider various parameters which range from relatively complex conceptual models for dry areas to very simple models for areas with temperate climates. Therefore, it is essential that these models be closely and precisely analysed, and ultimately, reviewed. Generally, rainfall data have long been recorded, but discharge data are often scarce. Therefore, the need to estimate the discharge of rivers resulted from rainfalls has motivated a great number of research in this area of study. In this paper, parameter naming in different models has been homogenised, presenting a clearer image of similarities and differences among different models. The overall framework of the models is similar and inspired by the Thornth Waite model. The input parameters are precipitation and temperature, and the output is the monthly runoff of the basin. All models include soil water storage capacity, evapotranspiration, and runoff. However, some of the models consist of water storage capacity layers, separation of rain and snow, groundwater storage, and base discharge. These differences in the number of parameters distinguish the models from each other.

Keywords: Conceptual water balance model, Hydrological cycle, runoff estimation.

چکیده

تحقیقات متنوعی بر روی انواع مدل‌های مفهومی بیلان آب ماهانه صورت گرفته است که عموماً بر پایه پیوستگی جرم و چرخه هیدرولوژیک آب در طبیعت پایه‌ریزی شده‌اند. این مدل‌ها پارامترهای چرخه هیدرولوژیک حوضه‌های آبریز را تحت شرایط متنوع، تخمین می‌زنند. با افزایش کاربرد مدل‌های بیلان آب در بازسازی چرخه هیدرولوژیک و بررسی اثرات تغییر اقلیم، تلاش‌های بسیار زیادی جهت توسعه این مدل‌ها صورت گرفت. این مدل‌ها پارامترهای متنوعی را در فرآیند مدل‌سازی‌ها در نظر می‌گیرند، که مدل‌های مفهومی نسبتاً پیچیده برای مناطق خشک و مدل‌های بسیار ساده برای مناطق با آب‌وهوای معتدل را شامل می‌شود. بنابراین ضروری است که دقت آن‌ها برای منطقه مورد مطالعه، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. عموماً داده‌های بارش به مدت طولانی ثبت شده‌اند؛ اما داده‌های دبی اغلب محدود هستند. بنابراین نیاز به برآورد دبی رودخانه ناشی از بارش، انگیزه انجام تحقیقات بسیار زیادی در این زمینه بوده است. این مقاله با یکسان‌سازی نام پارامترها در مدل‌های بررسی شده و ارائه روند نامی مفهومی برای آن‌ها، تصویر روشنی از چگونگی شکل‌گیری رواناب در مدل ارائه داده است. ساختار کلی مدل‌ها یکسان و الهام گرفته از مدل مشهور تورنت‌وایت هستند. پارامترهای ورودی مدل، بارش و دما هستند و پارامتر خروجی آن رواناب حوضه آبریز در مقیاس ماهانه خواهد بود. همه مدل‌ها شامل پارامترهای ذخیره رطوبت خاک، تبخیر و تعرق و رواناب هستند. ولی بعضی از مدل‌ها دارای تعداد لایه‌های ذخیره رطوبت خاک بیشتر، پروسه تفکیک بارش باران و برف، ذخیره آب زیرزمینی و دبی پایه هستند که این تفاوت در تعداد پارامترها، مدل‌ها را از یکدیگر متمایز می‌کند.

واژه‌های کلیدی: مدل مفهومی بیلان آب ماهانه، سیکل هیدرولوژیک، تخمین رواناب.

ویژگی‌های مشترک و متفاوت انواع مدل‌های بیلان آب را می‌توان به صورت زیر صورت‌بندی کرد (Singh و Xu، ۱۹۹۸).

ویژگی‌های مشترک:

۱. این مدل‌ها فرآیندهای هیدرولوژیکی بر پایه زمین را توصیف می‌کنند که به صورت مکانی یکپارچه شده‌اند.
۲. برخی از پارامترهای مدل با برازش بر روی داده‌های مشاهداتی مثل بارش و دبی برآورد می‌شوند.
۳. آن‌ها مدل‌هایی با هدف خاص هستند و اساساً به شبیه‌سازی دبی می‌پردازند.
۴. این مدل‌ها ساختار نسبتاً ساده‌ای دارند و پارامترهای کم‌تری در مقایسه با مدل‌های با مقیاس زمانی کوچک‌تر دارند.
۵. اساس این مدل‌ها معادله پیوستگی است، که همان معادله بیلان آب است.

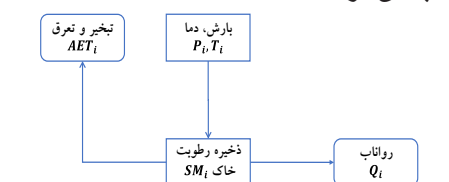
ویژگی‌های متفاوت:

علی‌رغم اینکه این مدل‌ها در طول یک دوره طولانی به دست آمده‌اند، ملاحظه می‌شود که این مدل‌ها اغلب در جزئیات با یکدیگر متفاوت‌اند تا در مفاهیم کلی. این مدل‌ها در موارد اصلی زیر با یکدیگر متفاوت‌اند:

۱. داده‌های ورودی مورد نیاز
۲. ظرفیت رطوبت خاک، دبی لایه آبدار و تعداد مخزن‌ها
۳. تعداد فرآیندهای هیدرولوژیکی
۴. در مدل‌های بررسی شده تبخیر و تعرق، دبی سریع و دبی کند به صورت خیلی ساده در نظر گرفته می‌شوند، در برخی از مدل‌های ذکر شده رواناب سطحی، نفوذ، تبخیر و تعرق، نفوذ عمقی، دبی پایه و دبی آب زیرزمینی محاسبه می‌شوند.

۱. مدل مفهومی بیلان آب تورنت‌وایت (۱۹۴۸)

اولین بار Thornthwaite (۱۹۴۸) تعریف دقیقی از تبخیر و تعرق پتانسیل بیان کرد و بدین ترتیب اولین اسکلت‌بندی از مدل مفهومی بیلان آب از مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل و بارندگی طرح‌ریزی شد. این مدل بر اساس بیلان تغییرات ذخیره رطوبت خاک پایه‌ریزی شده است. در شکل (۱) روند نمای مفهومی مدل آورده شده است. برای محاسبه رواناب حوضه آبریز، بارش و دما به عنوان ورودی‌های اولیه به مدل داده می‌شوند و مقادیر تبخیر و تعرق (پتانسیل و واقعی)، ذخیره رطوبت خاک و نهایتاً رواناب حوضه در ماه مورد نظر محاسبه می‌شود.



شکل ۱- روند نمای مفهومی مدل بیلان تورنت‌وایت (Thornthwaite و Mather، ۱۹۵۷)

مدل‌های هیدرولوژیکی معمولاً در سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند (Singh و Xu، ۱۹۹۸):

- ۱- مدل‌های تجربی (مدل‌های Black-Box)،
 - ۲- مدل‌های مفهومی (مدل‌های Gray-Box)،
 - ۳- مدل‌های فرآیندمحور (مدل‌های White-Box).
- مدل‌های تجربی یا جعبه سیاه، در قالب ساختاری که می‌تواند کاملاً آماری و تا حدی ریاضی باشد خروجی‌ها را به ورودی‌های مدل مرتبط می‌سازد، ولی درکی از روند فیزیکی حوضه آبریز ارائه نمی‌کند. مدل‌های فرآیندمحور ساختاری منطقی مشابه با دینامیک واقعی حوضه آبریز دارند و می‌توانند در شرایطی که حوضه آبریز دچار تغییر شده است مفید واقع شوند، ولی از سوی دیگر آن‌ها مدل‌هایی به لحاظ ریاضی بسیار پیچیده هستند. در صورتی که مدل‌های مفهومی از سویی دارای معادلاتی به مراتب ساده‌تر و از سوی دیگر با ارائه فهم فیزیکی از عملکرد حوضه آبریز، مدل‌هایی کارآمد در تحقیقات منابع آب محسوب می‌شود. مدل‌های مفهومی بیلان آب به صورت مجموعه‌ای از مخازن به هم پیوسته در نظر گرفته می‌شوند که آب در طول این مخزن‌ها حرکت می‌کند. آب به صورت بارش حوضه آبریز از ورودی مخزن به آن وارد شده و به صورت دبی از آن خارج می‌گردد. مدل‌های مفهومی بیلان آب در مقایسه با مدل‌های تجربی و مدل‌های فرآیندمحور، ساختارهایی ساده‌تری دارند و به سادگی بر روی حوضه آبریز واسنجی می‌شوند. این مدل‌ها به دلیل ماهیت مفهومی بودن خود، تصویر روشنی از نوع عملکرد حوضه آبریز به کاربران ارائه می‌دهند. در سال‌های اخیر مدل‌ها در مقیاس‌های زمانی متنوع (ساعتی، روزانه، ماهانه، سالانه) و به درجات پیچیدگی مختلف توسعه یافته‌اند.

به طور کلی کاربردهای مدل‌های مفهومی بیلان آب در سه هدف عمده زیر طبقه‌بندی می‌شوند (Singh و Xu، ۱۹۹۸):

۱. بازسازی عکس‌العمل هیدرولوژی حوضه‌های آبریز
 ۲. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم
 ۳. سنجش الگوهای فصلی و جغرافیایی تأمین آب و نیاز آبیاری
- اساساً مدل‌های بیلان آب ماهانه معرفی شده‌اند تا اهمیت پارامترهای هیدرولوژیکی مختلف را تحت شرایط و حوضه‌های آبریز متنوع ارزیابی کنند. بسیاری از مدل‌های بیلان آب ماهانه برای نیل به این هدف توسعه یافته‌اند.

بارش مهم‌ترین مؤلفه در معادله بیلان آب محسوب می‌شود، بنابراین استخراج رابطه بین مقدار بارش بر روی حوضه آبریز و دبی حاصل از آن در رودخانه، یک مسئله اساسی در هیدرولوژی است. لازمه استفاده از این مدل‌ها برای یک محدوده مطالعاتی خاص، شناخت ساختار و ویژگی‌های آن‌هاست. در این مقاله، تعدادی از مهم‌ترین مدل‌های مفهومی بیلان مورد بررسی قرار گرفته و اجزای مختلف آن‌ها شرح داده شده است.

برای محاسبه «تبخیر و تعرق پتانسیل» روابط زیر پیگیری می‌شوند:

$$J = \sum_{i=1}^{12} I_i \quad (1) \quad I_i = \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514} \quad (2)$$

$$\alpha = (6.75 \times 10^{-7} \times f^3) - (7.71 \times 10^{-5} \times f^2) + (1.792 \times 10^{-2} \times f) + 0.49239 \quad (3)$$

$$PET_0 = 16 \times \left(\frac{10T_i}{J}\right)^{\alpha} \quad (4)$$

PET_i : تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه در واحد میلی‌متر

T_i : دمای متوسط ماهانه در واحد سانتی‌گراد

I : شاخص حرارتی (مجموع شاخص‌های حرارتی ماهانه).
مقدار «تبخیر و تعرق پتانسیل» در رابطه (۴) در عرض جغرافیایی صفر محاسبه شده است، که برای اصلاح آن باید مقدار «تبخیر و تعرق پتانسیل» محاسبه شده در ضریب اصلاحی K که مخصوص ماه و عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر است، ضرب شود ($PET = K \times PET_0$). در جدول (۱) ضرایب مربوط به عرض جغرافیایی ایران آورده شده است.

جدول ۱- ضریب اصلاحی K برای اصلاح تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه‌های مختلف و عرض‌های جغرافیایی ایران (Hamon, ۱۹۶۰)

Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	Latitude
۰/۷۸	۰/۸۳	۰/۹۳	۱/۰۴	۱/۱۵	۱/۲۳	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۰	۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۸	N°۴۰
۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۹۶	۱/۰۳	۱/۱۱	۱/۱۶	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۰۷	۱/۰۰	۰/۹۳	۰/۸۷	N°۳۰
۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۸	۱/۰۲	۱/۰۷	۱/۱۰	۱/۱۱	۱/۰۹	۱/۰۵	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۲	N°۲۰

۲. مدل مفهومی بیلان آب پالمِر^۲ (۱۹۶۵)

Palmer (۱۹۶۵) طی پژوهشی تحت عنوان «خشک‌سالی هواشناسی»، شاخص شدت خشک‌سالی $PDSI$ را ارائه داد. شاخص $PDSI$ بر اساس مفهوم تولید و تقاضای بیلان آب استوار است (Palmer, ۱۹۶۵). پالمِر از یک ساختار دو لایه برای محاسبات رطوبت خاک استفاده کرد و فرضیه ویژه‌ای در ارتباط با ظرفیت پذیرش و انتقال رطوبت به لایه‌های مختلف خاک ارائه نمود. در این مدل فرض شده است تا زمانی که لایه فوقانی به طور کامل پر نشود رطوبت موجود در خاک نمی‌تواند لایه تحتانی را تغذیه کند. شاخص $PDSI$ بر اساس داده‌های بارش، دما و ظرفیت رطوبت خاک AWC محاسبه می‌شود. از میان ورودی‌های محاسباتی تمام کمیت‌های اصلی مدل مفهومی بیلان آب نظیر تبخیر و تعرق، ذخیره رطوبت خاک، رواناب و تلفات رطوبتی از لایه فوقانی و تحتانی قابل محاسبه هستند. «ذخیره رطوبت خاک» وابسته به مقدار «بارش» است. در صورتی که مقدار بارش کمتر و یا بیشتر از «تبخیر و تعرق پتانسیل» ماه باشد، مقدار رطوبت از لایه‌های فوقانی و یا تحتانی خاک کم و یا به آن افزوده می‌شود.

$$SM_{U,i} = \min\{(P_i - PET_i) + SM_{U,i-1}, AWC_U\} \quad (9)$$

$$SM_{L,i} = \min\{(P_i - PET_i) - (SM_{U,i} - SM_{U,i-1}) + SM_{L,i-1}, AWC_L\} \quad (10)$$

در این روابط $SM_{U,i}$ ذخیره رطوبت خاک در لایه فوقانی، $SM_{L,i}$ ذخیره رطوبت خاک در لایه تحتانی، SM_i مجموع ذخیره رطوبت خاک در هر دو لایه، $(SM_i = SM_{U,i} + SM_{L,i})$ و AWC مجموع ظرفیت رطوبت خاک هر دو لایه، $(AWC = AWC_U + AWC_L)$ هستند. پالمِر مقادیر ۱ و ۹ اینچ را به ترتیب برای «ظرفیت رطوبت خاک» لایه‌های فوقانی و تحتانی در نظر گرفت. در صورتی که رابطه $P_i < PET_i$ برقرار باشد، کاهش رطوبت خاک توسط تبخیر و تعرق صورت خواهد گرفت.

$$L_{U,i} = \min\{SM_{U,i}, (PET_i - P_i)\} \quad (11)$$

$$L_{L,i} = \min\{SM_{L,i}, (PET_i - P_i - L_{U,i}) SM_{L,i-1} / AWC\} \quad (12)$$

در این روابط $L_{U,i}$ کمبود رطوبت خاک در لایه فوقانی و $L_{L,i}$ کمبود

در مدل‌های مفهومی بیلان آب ظرفیتی تحت عنوان «ظرفیت رطوبت خاک» یا «رطوبت در دسترس»^۱ فرض گرفته می‌شود. این ظرفیت به بافت و مقدار تخلخل خاک بستگی دارد. سازمان حفاظت خاک آمریکا در سال ۱۹۶۴ برای خاک‌های مختلف مقادیری را برای AWC پیشنهاد داد. مقدار AWC هر حوضه با توجه به بافت خاک و عمق خاک قابل محاسبه است. پارامتر SM_i معرف «ذخیره رطوبت خاک» در انتهای ماه i -ام که کسری از «ظرفیت رطوبت خاک» یا AWC است و پارامتر SM_{i-1} معرف «ذخیره رطوبت خاک» در ابتدای ماه i -ام است. در صورتی که مقدار «بارش ماهانه» بزرگتر از «تبخیر و تعرق پتانسیل» باشد، «ذخیره رطوبت خاک» افزایش می‌یابد؛ در غیر این صورت «ذخیره رطوبت خاک» کاهش پیدا خواهد کرد.

$$P_i \geq PET_i \rightarrow SM_i = \min\{(P_i - PET_i) + SM_{i-1}, AWC\} \quad (5)$$

$$P_i < PET_i \rightarrow SM_i = SM_{i-1} \times \exp[-(PET_i - P_i) / AWC] \quad (6)$$

در ادامه با استفاده از رابطه‌های (۸) و (۹)، «تبخیر و تعرق واقعی» و نهایتاً معادله بیلان آب قابل محاسبه خواهد بود.

$$\begin{cases} P_i - PET_i \geq 0 \rightarrow AET_i = PET_i \\ P_i - PET_i < 0 \rightarrow AET_i = P_i - \Delta SM_i \end{cases} \quad (7)$$

$$Q_i = P_i - AET_i - \Delta SM_i \quad (8)$$

در این روابط AET_i تبخیر و تعرق واقعی، ΔSM_i تغییرات ذخیره رطوبت خاک ($\Delta SM_i = SM_i - SM_{i-1}$) و Q_i مقدار دبی حوضه در ماه i -ام هستند. تعداد کم پارامترهای ورودی مدل (بارش، دما)، این امکان را به کاربر می‌دهد تا از مدل برای حوضه‌هایی که داده‌های ثبت شده کمتری دارند، استفاده کند. مدل قادر است برای حوضه‌هایی که داده‌های ثبت شده برای تبخیر و تعرق وجود ندارد، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی حوضه را محاسبه نماید. با الهام از مدل مفهومی بیلان آب تورنت‌وایت در سال‌های اخیر و اضافه شدن ترم‌های مختلفی همچون باران و برف، بودجه برفی، رواناب سطحی، رواناب زیرسطحی و ذخیره آب زیرزمینی، مدل‌های متنوعی توسعه یافته‌اند.

رطوبت خاک در لایهٔ تحتانی هستند. همچنین فرض شده است که «کمبود رطوبت خاک» در لایهٔ تحتانی زمانی اتفاق می‌افتد که $PET_i - P_i - L_{U,i} > 0$ باشد.

«پتانسیل تجدید رطوبت» یا PR_i مقدار رطوبت مورد نیاز برای رسیدن به «ظرفیت رطوبت خاک» است ($PR_i = AWC - SM_i$). «پتانسیل کمبود آب» یا PL_i بیان‌کنندهٔ مقدار رطوبت مورد نیاز برای رسیدن به نقطهٔ پژمردگی است. در این مدل، رواناب فقط هنگامی رخ می‌دهد که هر دو لایه به حداکثر ظرفیت رطوبتی خود رسیده باشند. پالم در این تحقیقات هیچ‌گونه تأخیری برای ایجاد رواناب در نظر نگرفته است (Alley, ۱۹۸۴). در دو حوضهٔ کوچک در اوهاییو و کالیفرنیا مطالعاتی در خصوص تخمین رواناب حوضه با استفاده از مدل بیلان پالم صورت گرفت که نتایج این پژوهش نشان داد سری زمانی شبیه‌سازی شده دارای همبستگی بالایی با داده‌های مشاهداتی دارد (Wang و Mayer, ۱۹۹۳). این مدل عموماً در پژوهش‌های مرتبط به محاسبهٔ شاخص خشکسالی PDSI استفاده شده است.

$$PL_i = PL_{U,i} + PL_{L,i} \quad (۱۳)$$

$$PL_{U,i} = \min\{PET_i, SM_{U,i}\} \quad (۱۴)$$

$$PL_{L,i} = (PET_i - PL_{U,i}) SM_{L,i} / AWC \quad (۱۵)$$

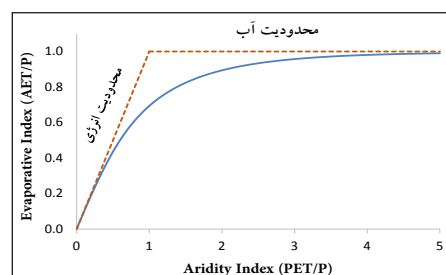
۳. مدل مفهومی بیلان آب بودیکو (۱۹۷۴)

Budyko (۱۹۷۴) طی پژوهشی تحت عنوان «اقلیم و زندگی»، چارچوبی برای مدل مفهومی بیلان آب بودیکو پیشنهاد داد. این مدل برای تخمین تبخیر و تعرق به عنوان پارامتری از شاخص خشکی (نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارش، PET/P) در چارچوب سادهٔ عرضه و تقاضا عمل می‌کند. Budyko (۱۹۷۴)، منحنی بودیکو $AET/P = f(PET/P)$ را برای هزاران حوضه در اروپا و اتحاد جماهیر شوروی سابق توسعه داد. رابطهٔ (۱۸) را Budyko (۱۹۷۴) ارائه کرد.

$$AET/P = [\varphi \cdot \tanh(1/\varphi) \cdot (1 - \exp(-\varphi))]^\alpha, \alpha \approx 0.5, \varphi = PET/P \quad (۱۶)$$

$$AET/P = 1 + \varphi - [1 + (\varphi)^w]^{1/w} \quad (۱۷)$$

$$\alpha = 1 - 1/w \quad (۱۸)$$



شکل ۲- منحنی بودیکو (۱۹۴۸) و محدودیت آب و انرژی

در ادامه، مدل مفهومی بیلان آب ژانگ که بر اساس چارچوب بودیکو

توسعه یافته است بررسی می‌شود. این مدل از دو مخزن ذخیره‌سازی جهت مدل‌سازی بیلان آب استفاده می‌کند: ۱- ذخیرهٔ رطوبت خاک، ۲- ذخیرهٔ آب‌های زیرزمینی. در این مدل فرض بر این است که بارش در ماه i -ام به دو بخش «رواناب مستقیم» و «نگهداشت بارش»^۶ تقسیم می‌شود.

$$P_i = Q_{d,i} + X_i \quad (۱۹)$$

«نگهداشت بارش» یا X شامل «تبخیر و تعرق واقعی» حوضه AET_i ، «گرادیان ذخیرهٔ رطوبت خاک» ($SM_i - SM_{i-1}$) و «تغذیهٔ آب زیرزمینی» R_i حوضه می‌شود. محدودیت تقاضا یا محدودیت انرژی برای X_i برابر مجموع «گرادیان ذخیرهٔ رطوبت خاک» و «تبخیر و تعرق پتانسیل» است که $X_{0,i}$ نامیده می‌شود.

$$X_{0,i} = (SM_i - SM_{i-1}) + PET_i \quad (۲۰)$$

همچنین محدودیت عرضه یا محدودیت آب به مقدار بارش P_i محدود می‌شود. برای روشن شدن موضوع، مفاهیم فوق به صورت

$$\begin{cases} \text{شرایط خیلی خشک} \rightarrow \frac{X_{0,i}}{P_i} \rightarrow \infty \rightarrow \frac{X_i}{P_i} \rightarrow 1 \\ \text{شرایط خیلی تر} \rightarrow \frac{X_{0,i}}{P_i} \rightarrow 0 \rightarrow X_i \rightarrow X_{0,i} \end{cases} \quad (۲۱)$$

در شرایط اقلیمی خشک که مقدار $X_{0,i}$ بزرگ‌تر از بارش است X_i به سمت بارش میل می‌کند و در شرایط اقلیمی مرطوب، با توجه به کوچک‌تر بودن $X_{0,i}$ نسبت به بارش مقدار X_i به سمت $X_{0,i}$ میل خواهد کرد. مقدار «نگهداشت بارش» می‌تواند از رابطه‌ای مشابه رابطهٔ (۲۲) به دست آید. با این توضیح که تابع f می‌تواند یکی از انواع روابط پیشنهادی برای منحنی بودیکو باشد.

$$\begin{cases} X_i = P_i \cdot f(X_{0,i}/P_i, \alpha_i), P_i \neq 0 \\ X_i = 0, P_i = 0 \end{cases} \quad (۲۲)$$

پارامتر α_i پارامتری برای توصیف رواناب است. هرچقدر مقدار α_i بیشتر شود به این معنی است که حوضه توانایی نگهداری باران بیشتری را دارد و مقدار رواناب کاهش پیدا می‌کند. «رواناب مستقیم» از رابطهٔ $Q_{d,i} = P_i - X_i$ به دست می‌آید.

در مقیاس‌هایی کمتر از مقیاس سالانه مقدار «آب در دسترس» به صورت $W_i = X_i + SM_{i-1}$ تعریف می‌شود. براساس تعریفی که برای X_i ارائه شد، این رابطه به صورت $W_i = AET_i + SM_i + R_i$ بازنویسی می‌شود. «فرصت تبخیر» یا Y_i حداکثر آبی است که می‌تواند در گام زمانی i از حوضهٔ آبریز خارج گردد (Sankarasubramanian و Vogel, ۲۰۰۲). محدودیت تقاضا یا محدودیت انرژی برای Y_i برابر مجموع «حداکثر ذخیرهٔ رطوبت خاک» و «تبخیر و تعرق پتانسیل» است که $Y_{0,i}$ نامیده می‌شود ($Y_{0,i} = AWC + PET_i$).

$$Y_i = AET_i + SM_i \quad (۲۳)$$

$$W_i = Y_i + R_i \quad (۲۴)$$

همچنین محدودیت عرضه یا محدودیت آب به مقدار «آب در دسترس» W_i محدود می‌شود.

$$\begin{cases} \text{شرایط خیلی خشک} \rightarrow \frac{Y_{0,i}}{W_i} \rightarrow \infty \rightarrow \frac{Y_i}{W_i} \rightarrow 1 \\ \text{شرایط خیلی تر} \rightarrow \frac{Y_{0,i}}{W_i} \rightarrow 0 \rightarrow Y_i \rightarrow Y_{0,i} \end{cases} \quad (۲۵)$$

در شرایط اقلیمی خشک که مقدار $Y_{0,i}$ بزرگتر از «آب در دسترس» است، Y_i به سمت «آب در دسترس» میل می‌کند و در شرایط اقلیمی مرطوب با توجه به کوچکتر بودن $Y_{0,i}$ نسبت به «آب در دسترس» مقدار Y_i به سمت $Y_{0,i}$ میل خواهد کرد. مقدار «فرصت تبخیر و تعرق» می‌تواند از رابطه‌ای مشابه رابطه (۲۶) به دست آید؛ با این توضیح که تابع f می‌تواند یکی از انواع روابط پیشنهادی برای منحنی بودیکو باشد.

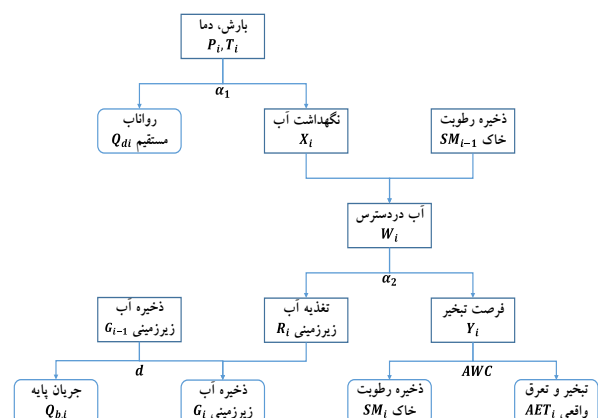
$$\begin{cases} Y_i = W_i \cdot f(Y_{0,i}/W_i, \alpha_2), & W_i \neq 0 \\ Y_i = 0, & W_i = 0 \end{cases} \quad (26)$$

پارامتر α_2 پارامتری برای توصیف بازدهی تبخیر است. افزایش مقدار α_2 به این معنی است که مقدار بیشتری از «آب در دسترس» تبخیر خواهد شد. مقدار «تغذیه آب زیرزمینی» از رابطه $W_i = Y_i + R_i$ محاسبه می‌شود. در گام بعد «تبخیر و تعرق واقعی» محاسبه خواهد شد. محدودیت تقاضا یا محدودیت انرژی برای AET_i برابر «تبخیر و تعرق پتانسیل» PET_i است. همچنین محدودیت عرضه یا محدودیت آب به مقدار «آب در دسترس» W_i محدود می‌شود. «تبخیر و تعرق واقعی» می‌تواند از رابطه‌ای مشابه رابطه (۲۷) به دست آید؛ با این توضیح که تابع f می‌تواند یکی از انواع روابط پیشنهادی برای منحنی بودیکو باشد.

$$\begin{cases} AET_i = W_i \cdot f(PET_i/W_i, \alpha_2), & W_i \neq 0 \\ AET_i = 0, & W_i = 0 \end{cases} \quad (27)$$

پارامتر α_2 در دو رابطه (۲۶) و (۲۷)، تأثیرگذار است. هر میزان مقدار α_2 بزرگتر باشد، مقدار «تغذیه آب زیرزمینی» کاهش پیدا خواهد کرد. $SM_i = Y_i - AET_i$ (۲۸) «ذخیره آب زیرزمینی» به صورت یک مخزن خطی رفتار می‌کند. «ذخیره آب زیرزمینی» و «جریان پایه» از روابط (۲۹) و (۳۰) محاسبه می‌شوند. در این روابط $Q_{b,i}$ دبی پایه، G_i ذخیره آب زیرزمینی و پارامتر ثابت d ، بیانگر رفتار جریان پایه و آب زیرزمینی هستند. روندهای مفهومی شکل (۳) برای مدل ژانگ پیشنهاد می‌شود.

$$Q_{b,i} = d \cdot G_{i-1} \quad (29) \quad G_i = (1-d) \cdot G_{i-1} + R_i \quad (30)$$



شکل ۳- روندهای مفهومی مدل بیان آب ژانگ بر اساس چارچوب بودیکو

مدل دارای اجزای هیدرولوژیکی چون رواناب مستقیم، دبی پایه، ذخیره آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق و ذخیره رطوبت خاک است.

این مدل دارای چهار پارامتر ثابت $d, AWC, \alpha_1, \alpha_2$ و دو مقدار اولیه «ذخیره آب زیرزمینی» و «ذخیره رطوبت خاک» است که در صورت در دسترس نبودن مقادیر مشاهداتی، این پارامترها همراه با پارامترهای فرآیندی توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی قابل محاسبه خواهند بود. پارامترهای حوضه آبریز به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- پارامتر فیزیکی، ۲- پارامتر فرآیندی. پارامتر فیزیکی: به خصوصیات از حوضه آبریز که قابل اندازه‌گیری است اطلاق می‌شود. مساحت حوضه آبریز، مساحت رودخانه‌ها و آب‌های آزاد، شیب سطح زمین از پارامترهای فیزیکی حوضه آبریز تلقی می‌شوند. پارامتر فرآیندی: به خصوصیات از حوضه آبریز اطلاق می‌شود که مستقیماً قابل اندازه‌گیری نیست و طی یک فرآیند بهینه‌سازی تخمین زده می‌شوند. ضریب رواناب مستقیم، ذخیره رطوبت خاک، ضریب ذوب برف از پارامترهای فرآیندی حوضه آبریز تلقی می‌شوند.

۴. مدل مفهومی بیان آب abcd توماس^۷ (۱۹۸۱)

Thomas و Harold (۱۹۸۱) طی پژوهشی تحت عنوان «روش‌های بهبودیافته ارزیابی آب ملی ایالات متحده آمریکا»، مدل مفهومی بیان آب abcd را ارائه نمود. این مدل توسط محققان بسیاری چون Alley (۱۹۸۴) و Martinez و Gupta (۲۰۱۰) در گام‌های زمانی متفاوت مورد استفاده قرار گرفته است. همان‌طور که از اسم این مدل برمی‌آید، دارای چهار پارامتر است. رابطه (۳۱) معادله پیوستگی در حجم کنترل خاک فوقانی است که فرض شده است تبخیر و تعرق در آن اتفاق می‌افتد.

$$P_i - AET_i - R_i - Q_{U,i} = \Delta SM_{U,i} = SM_{U,i} - SM_{U,i-1} \quad (31)$$

در این معادلات R_i تغذیه آب زیرزمینی، $Q_{U,i}$ سهم رواناب لایه فوقانی و $SM_{U,i}$ ذخیره رطوبت خاک لایه فوقانی هستند. رابطه (۳۱) به صورت رابطه (۳۲) بازنویسی می‌شود.

$$P_i + SM_{U,i-1} = (AET_i + SM_{U,i}) + Q_{U,i} + R_i \quad (32)$$

در این رابطه $P_i + SM_{U,i-1}$ مقدار «آب در دسترس» (W_i) و $AET_i + SM_{U,i}$ «فرصت تبخیر» (Y_i) نامیده می‌شود. در این مدل Y_i به صورت غیرخطی با W_i در ارتباط است.

$$Y_i = \frac{W_i + b}{2a} - \sqrt{\left(\frac{W_i + b}{2a}\right)^2 - \frac{W_i \cdot b}{a}} \quad (33)$$

پارامتر a کنترل‌کننده ارتباط بین پارامترهای W_i و Y_i است و تمایل حوضه به رخداد رواناب قبل از اشباع شدن خاک است (Thomas و Harold, ۱۹۸۱). پارامتر b نشان‌دهنده ظرفیت نگهداری آب (متناسب با عمق) در لایه فوقانی خاک است.

$$AET_i = Y_i \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{PET_i}{b}\right)\right) \quad (34)$$

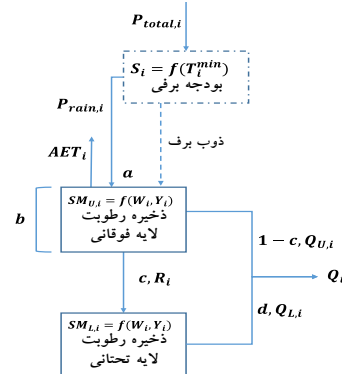
«آب در دسترس» ($W_i - Y_i$) توسط پارامتر c به دو بخش «رواناب لایه فوقانی» ($Q_{U,i} = (1-c) \cdot (W_i - Y_i)$) و «تغذیه آب زیرزمینی» ($R_i = c \cdot (W_i - Y_i)$) تفکیک می‌شود.

«ذخیره رطوبت خاک» لایه تحتانی ماه جاری $SM_{L,i}$ ، از مجموع «تغذیه آب زیرزمینی» ماه جاری R_i با «ذخیره رطوبت خاک» لایه

تحتانی ماه قبل $SM_{L,i-1}$ به دست می‌آید، که درصدی از آن به صورت «رواناب لایه تحتانی» جاری می‌شود ($Q_{L,i}=SM_{L,i}.d$).

$$SM_{L,i} = (R_i + SM_{L,i-1}).(1-d)^{-1} \quad (35)$$

نهایتاً «رواناب کل» از مجموع دو «رواناب لایه فوقانی» و «رواناب لایه تحتانی» محاسبه می‌شود ($Q_i = Q_{U,i} + Q_{L,i}$). روندهای مفهومی در شکل (۴) برای مدل، با اضافه کردن پارامتر برف ارائه شده است.



شکل ۴- روندهای مفهومی مدل بیلان abcd با پارامتر برف افزوده (Gupta و Martinez, ۲۰۱۰)

۵. مدل مفهومی بیلان آب راثو^۹ و الوقدنی^۹ (۱۹۹۵)

طی پژوهش Rao و Al-Wagdany (۱۹۹۵) تحت عنوان «بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر روی حوضه آبریز رودخانه Wabash در هند»، مدل بیلان آب ماهانه راثو و الوقدنی ارائه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات بارش نسبت به تغییرات دما اثرات بزرگتری بر روی رواناب حوضه ایجاد می‌کند. این مدل شامل پارامترهای هیدرولوژیکی بارش، ذوب برف، تبخیر و تعرق، ذخیره رطوبت خاک، ذخیره آب زیرزمینی، رواناب و جریان پایه است. این مدل در مرحله تفکیک بارش به باران و برف، همواره حداقلی از بارش را به صورت باران در نظر می‌گیرد، که این مقدار با ضریب α در مدل لحاظ می‌شود. پارامتر «دمای آستانه باران» T_{rain} دمایی است که تمامی بارش‌هایی که در دمایی بالاتر از آن رخ بدهد به صورت بارش باران در نظر گرفته می‌شود و «دمای آستانه برف» T_{snow} دمایی است که تمام بارش‌هایی که در دمایی پایین‌تر از آن رخ بدهد به صورت بارش برف در نظر گرفته می‌شود. و بارش‌هایی که در دمایی بین این دو دما به وقوع بپیوندد سهمی از بارش کل به صورت بارش باران و مابقی آن به صورت بارش برف در نظر گرفته می‌شوند.

$$P_{rain,i} = \begin{cases} T_i \leq T_{rain} \rightarrow \alpha P_i \\ T_i \geq T_{snow} \rightarrow P_i \\ T_{snow} \leq T_i \leq T_{rain} \rightarrow \alpha P_i + (1-\alpha)P_i(T_i - T_{snow}) / (T_{rain} - T_{snow}) \end{cases} \quad (36)$$

$$P_{snow,i} = P_i - P_{rain,i} \quad (37)$$

$$Q_{d,i} = drofrac_i \times P_{rain,i} \quad (38)$$

در رابطه فوق $drofrac_i$ «ضریب رواناب مستقیم» ماه i -ام است. و مقدار ذوب برف SNM_i از رابطه (۳۹) محاسبه می‌شود.

$$SNM_i = S_{i-1} \times DF \times T_i \times Days_i \quad (39)$$

در روابط فوق DF نرخ ذوب برف روزانه، $Days_i$

تعداد روزهای ماه S_i بودجه برفی ماه i -ام هستند.

$$S_i = \sum_{j=1}^n (P_{snow,i} - SNM_i) \quad (40)$$

«تبخیر و تعرق واقعی» توسط «تبخیر و تعرق پتانسیل» محدود می‌شود. «تبخیر و تعرق پتانسیل» در مقیاس روزانه از روش بلنی-کریدل^{۱۱} $PET_i = c[f(0.46T_i + 8)]$ محاسبه می‌شود. مقدار «آب در دسترس» از رابطه (۴۱) محاسبه می‌شود. «تبخیر و تعرق واقعی» نیز بر اساس «تبخیر و تعرق پتانسیل» و «آب در دسترس» محاسبه می‌شود.

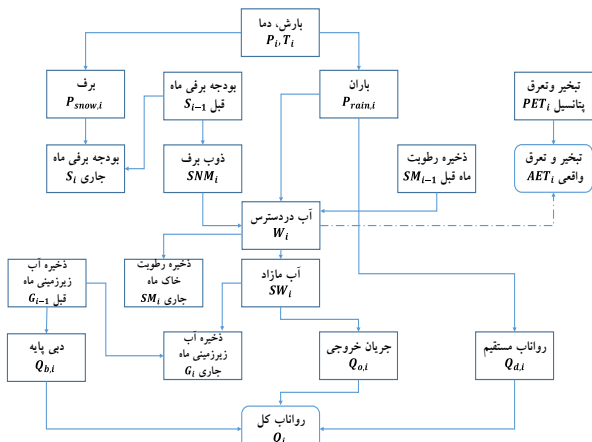
$$W_i = P_{rain,i} - Q_{d,i} + SNM_i + SM_{i-1} \quad (41)$$

$$\begin{cases} \text{if } W_i > PET_i \rightarrow AET_i = PET_i \\ \text{if } W_i < PET_i \rightarrow AET_i = W_i \end{cases} \quad (42)$$

$$\begin{cases} W_i - AET_i < AWC \rightarrow SM_i = \max\{(W_i - AET_i), 0\} \\ W_i - AET_i \geq AWC \rightarrow SM_i = AWC \end{cases} \quad (43)$$

«آب مازاد»^{۱۱} یا SW_i از رابطه $(W_i - AET_i - AWC)$ محاسبه می‌شود، که سهمی از آن تبدیل به «جریان خروجی» می‌شود ($Q_{o,i} = K_i \times SW_i$). «جریان پایه» نیز با یک گام تأخیر زمانی از «ذخیره آب زیرزمینی» تأمین خواهد شد ($Q_{b,i} = K_2 \times G_{i-1}$). مقدار «ذخیره آب زیرزمینی» از رابطه $G_i = (1-K_2) G_{i-1} + (1-K_1) SW_i$ محاسبه می‌شود.

نهایتاً «رواناب کل» حوضه از مجموع «رواناب مستقیم»، «جریان خروجی» و «دبی پایه» محاسبه می‌شود ($Q_i = Q_{d,i} + Q_{o,i} + Q_{b,i}$). مدل به لحاظ ساختاری مشابه مدل مفهومی بیلان آب پنج پارامتری گو است. در این مدل اگر اختلاف «آب در دسترس» از مقدار «تبخیر و تعرق پتانسیل» کمتر و یا مساوی «ظرفیت رطوبت خاک» باشد، هیچ روانابی غیر از جزء اول تشکیل نمی‌شود. روندهای مفهومی شکل (۵) برای مدل بیلان آب راثو و الوقدنی پیشنهاد داده می‌شود.



شکل ۵- روندهای مفهومی مدل بیلان آب راثو و الوقدنی (Al-Wagdany و Rao, ۱۹۹۵)

۶. مدل مفهومی بیلان آب گو^{۱۲}

۶-۱. مدل مفهومی بیلان آب پنج پارامتری گو (۱۹۹۵)

گو یکی از سیاست‌گزاران و هیدرولوژیست‌هایی است که در طی دو دهه گذشته در جهت مدیریت منابع آب و بررسی تغییرات اقلیمی

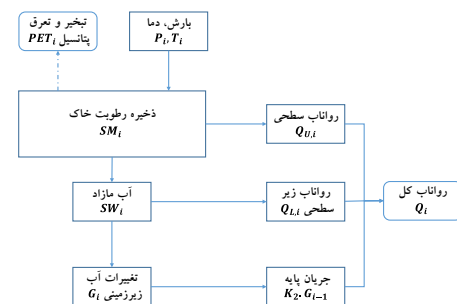
در حوضه‌های گسترده‌ای از چین مدل‌های مختلفی از بیلان آب که همگی الهام گرفته از مدل تورنت‌وایت بوده‌اند را پیشنهاد داده است. تحقیقات Guo (۱۹۹۵) نشان داد که تولید رواناب به تغییرات بارش نسبت به تغییرات دما حساسیت بیشتری نشان می‌دهند. مدل پنج پارامتری گو به منظور بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر روی سامانه‌های منابع آب در حوضه رودخانه دانگ جیانگ پیشنهاد داده شد. مقدار رطوبت خاک هر ماه مشابه رابطه (۵) و (۶) در مدل تورنت‌وایت محاسبه می‌شود. در صورتی که مقدار «ذخیره رطوبت خاک» ماه مورد نظر بزرگ‌تر از «ظرفیت رطوبت در دسترس» باشد، سهمی از «آب مازاد» به «رواناب سطحی» تبدیل می‌شود. مابقی «آب مازاد» به دو بخش «رواناب زیرسطحی» ($Q_{L,i}=K_1.SW_i$) و «ذخیره آب زیرزمینی» تقسیم می‌شود.

$$SM_i \geq AWC \rightarrow Q_{U,i} = c.(SM_i - AWC) \quad (44)$$

$$SW_i = (1 - c).(SM_i - AWC) \quad (45)$$

نهایتاً رواناب کل از مجموع «رواناب سطحی»، «زیرسطحی» و «جریان پایه» ($K_2.G_{i-1}$) حاصل می‌شود ($Q_i = Q_{U,i} + Q_{L,i} + K_2.G_{i-1}$). در این مدل پنج پارامتر K_0, K_1, K_2, c, AWC توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی محاسبه می‌شوند. با ضرب پارامتر K_0 در مقدار تبخیر از تشت حوضه، «تبخیر و تعرق پتانسیل» محاسبه می‌شود. در شکل (۶) روندنمای مفهومی مدل بیلان آب پنج پارامتری گو ارائه شده است.

$$\begin{cases} SW_i \geq 0 \rightarrow G_i = (1 - K_2) G_{i-1} + (1 - K_1) SW_i \\ SW_i < 0 \rightarrow G_i = (1 - K_2) G_{i-1} \end{cases} \quad (46)$$



شکل ۶- روندنمای مفهومی مدل بیلان پنج پارامتری گو (Guo, ۱۹۹۵)

۲-۶. مدل مفهومی بیلان آب دو پارامتری گو (۲۰۰۲)

Guo و همکاران (۲۰۰۲) طی پژوهشی با حذف اندرکنش آب زیرسطحی و زیرزمینی، مدل دو پارامتری گو را ارائه کردند. مدل در سال ۲۰۰۲ به صورت نیمه توزیعی جهت پیش‌بینی تأثیرات تغییر اقلیم حوضه‌های جنوبی کشور چین مورد استفاده قرار گرفت. این مدل از لحاظ سادگی با مدل تورنت‌وایت رقابت می‌کند.

مدل از رابطه ویژه‌ای که Ol'Dekop (۱۹۱۱) برای محاسبه «تبخیر و تعرق واقعی» پیشنهاد داده بود، استفاده می‌کند. در این مدل «تبخیر و تعرق واقعی» حوضه تابعی از تانژانت هیپربولیک «تبخیر و تعرق پتانسیل» و «بارش» حوضه است (شکل ۸). در رابطه (۴۷) زمانی که مقدار «بارش» با «تبخیر و تعرق پتانسیل» برابر باشد، ۷۶/۲ درصد از «بارش» تبخیر خواهد شد و اگر نسبت «بارش» به «تبخیر و تعرق

پتانسیل» دو برابر باشد، ۹۶/۴ درصد از بارش تبخیر می‌شود. البته این نسبت بارش به تبخیر و تعرق کمتر در ایران اتفاق می‌افتد.

$$AET_i = c . PET_i . \tanh(P_i/PET_i) \quad (47)$$

ضریب c اثر تغییر گام زمانی مدل‌های سالانه و ماهانه را اصلاح می‌کند. رواناب هم ارتباط نزدیکی با ذخیره رطوبت خاک دارد. در این مدل «رواناب» تابع تانژانت هیپربولیک «ذخیره رطوبت خاک» است.

$$Q_i = SM_i . \tanh(SM_i/AWC) \quad (48)$$

«تبخیر و تعرق واقعی» با استفاده از داده‌های مشاهداتی «بارش» و «تبخیر و تعرق پتانسیل» و از رابطه (۴۷) محاسبه می‌شود. بنابراین آب باقیمانده در خاک مقداری برابر $SM_{i-1} + P_i - AET_i$ خواهد داشت که با استفاده از این مقدار، «رواناب» در انتهای ماه i-ام طبق رابطه (۴۹) حاصل می‌شود.

$$Q_i = (SM_{i-1} + P_i - AET_i) . \tanh[(SM_{i-1} + P_i - AET_i)/AWC] \quad (49)$$

نهایتاً مقدار «ذخیره رطوبت خاک» در انتهای ماه i-ام به دست خواهد آمد $SM_i = SM_{i-1} + P_i - AET_i - Q_i$. ساختار مدل مفهومی بیلان آب دو پارامتری گو مشابه مدل مفهومی بیلان آب تورنت‌وایت است.

۳-۶. مدل مفهومی بیلان آب چهار پارامتری گو (۲۰۰۵)

Guo و همکاران (۲۰۰۵) طی پژوهشی تحت عنوان «بررسی تغییرات اقلیمی بر روی حوضه رودخانه زرد»، مدل مفهومی بیلان آب چهار پارامتری گو را ارائه دادند. یکی از جذابیت‌های این مدل، تفکیک مقدار بارش برف از باران است.

$$\begin{cases} \text{if } T_i > T_{rain} \rightarrow P_{rain,i} = P_i \\ \text{if } T_i < T_{snow} \rightarrow P_{snow,i} = P_i \\ \text{if } T_{snow} \leq T_i \leq T_{rain} \rightarrow P_{rain,i} + P_{snow,i} = P_i \end{cases} \quad (50)$$

Guo و همکاران (۲۰۰۵) مقدار ۴ درجه سلسیوس را برای T_{rain} و مقدار ۴- درجه سلسیوس را برای T_{snow} پیشنهاد دادند که این مقادیر می‌توانند برای حوضه‌های مختلف طی فرآیند بهینه‌سازی بهبود پیدا کنند. برای ماه‌هایی که دما بین «دمای آستانه بارش» و «دمای آستانه برف» قرار دارد، مقدار بارش به صورت خطی بین بارش باران و برف تقسیم می‌شود. مقدار «بودجه برفی» و رواناب ناشی از آن از روابط (۵۱) و (۵۲) به دست می‌آید.

$$S_i = S_{i-1} + P_{snow,i} \quad (51)$$

$$Q_{SN,i} = K_{sn} \times S_i \times \exp[(T_i - T_H)/(T_H - T_L)] \quad (52)$$

در رابطه (۵۲) K_{sn} «ضریب ذوب برف» و در روابط (۵۳) و (۵۴) K_g و K_s «ضریب رواناب سطحی» و «ضریب جریان زیرسطحی» هستند. «رواناب زیرسطحی» با یک گام زمانی عقب‌تر نسبت به جریان سطحی محاسبه می‌شود. در نهایت رواناب کل که مجموعی از رواناب ناشی از برف، رواناب سطحی و رواناب زیرسطحی خواهد بود به دست می‌آید. مقدار ذخیره رطوبت خاک در انتهای ماه i-ام (SM_i) قابل محاسبه است ($SM_i = SM_{i-1} + P_i - AET_i - Q_i$).

$$Q_{S,i} = K_s \times (SM_i/AWC) \times P_{rain,i} \quad (53)$$

$$Q_{G,i} = K_g \times SM_{i-1} \quad (54)$$

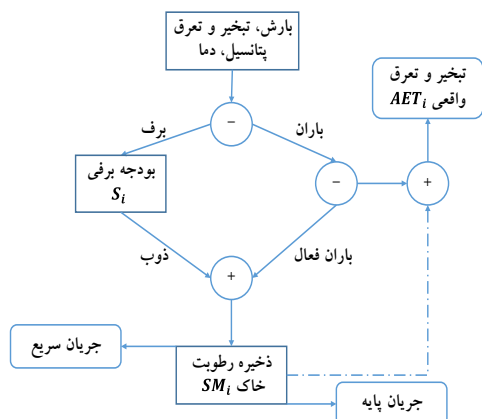
انرژی کامل شامل تابش خورشیدی کل، بازتاب، تعادل تابش طول موج (تابش مؤثر)، دمای هوا، رطوبت، سرعت باد، گرادیان دمایی در خاک و باران و برف است. علاوه بر این برخی پارامترهای فیزیکی حاکم بر تبادل حرارت با جو مانند انتقال حرارت در برف، محتوای آب مایع در برف و زهکشی از برف تخمین زده می‌شوند. با در نظر گرفتن داده‌هایی که در یک حوضه آبریز به طور کلی موجود است، تخمین دقیق تعادل حرارتی در حوضه به سختی امکان‌پذیر است. با توجه به ناهمگونی‌های بزرگ در توزیع منطقه‌ای پوشش برفی، این پروسه پیچیده‌تر می‌شود. روش دوم روش شاخص خام^{۱۶} است که اشکال مختلفی از روش درجه-روز بر اساس دمای آستانه هستند و اغلب در مدل‌ها ترجیح داده می‌شوند. در این مدل باید رابطه $a_1 \geq a_2$ بین دو پارامتر درجه حرارت آستانه a_1 و a_2 برقرار باشد. ذوب برف زمانی آغاز می‌شود که دمای هوا بیشتر از a_2 باشد و بارش برف زمانی متوقف می‌شود که دمای هوا بیشتر از a_1 باشد. در صورتی که دما بین a_1 و a_2 باشد بارش و ذوب برف هم‌زمان اتفاق می‌افتد. ذوب برف در ماه i -ام به عنوان تابعی از دما و بارش برف ماه i -ام در نظر گرفته می‌شود. موارد فوق به صورت گرافیکی در شکل (۹) نشان داده شده است.

$$P_{snow,i} = P_i \times \max\{0, [1 - \exp(-\max\{[(T_i - a_1)/(a_1 - a_2)]^2\})]\} \quad (56)$$

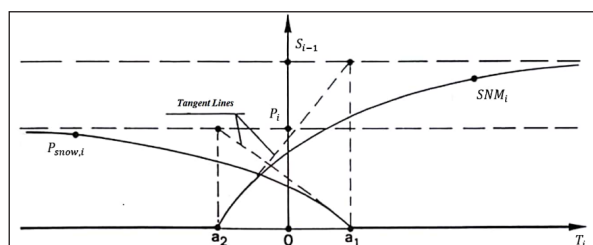
$$P_{rain,i} = P_i - P_{snow,i} \quad (57)$$

مقدار ذوب برف در ماه i -ام تابعی از متوسط دما ماه i -ام و ذخیره برفی در ماه $(i-1)$ -ام است.

$$SNM_i = (S_{i-1} + P_{snow,i}) * \min\left\{1, \max\left\{0, \left[1 - \exp\left(-\min\left\{0, \frac{a_2 - T_i}{a_1 - a_2}\right\}\right)\right]\right\}\right\} \quad (58)$$



شکل ۸- روندهای مفهومی مدل بیلان آب وازمد (Xu و همکاران، ۱۹۹۶)

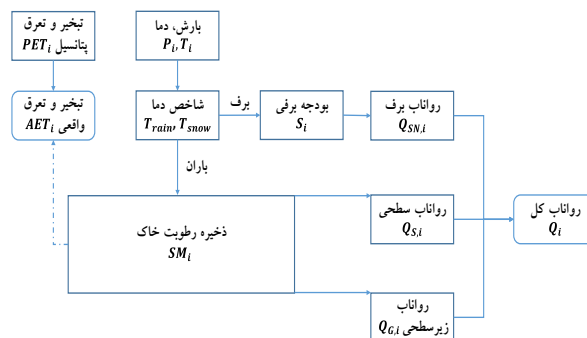


شکل ۹- نمودار ارتباط بارش باران و برف (بارش برف و ذوب برف در ماه i -ام توابعی از دما هستند)

$$S_i = S_{i-1} + P_i - SNM_i \quad (59)$$

$$Q_i = Q_{SN,i} + Q_{S,i} + Q_{G,i} \quad (55)$$

این مدل دارای چهار پارامتر K_{sn} , K_s , K_g , AWC است که توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی بهترین مقدار آن‌ها انتخاب می‌شوند و خروجی‌های مدل شامل پارامترهای Q_i , AET_i , SM_i هستند. در شکل (۷) روندهای مفهومی مدل بیلان چهار پارامتر گو ارائه شده است.



شکل ۷- روندهای مفهومی مدل بیلان چهار پارامتری گو (Guo و همکاران، ۲۰۰۵)

۷. مدل مفهومی بیلان آب وازمد (۱۹۹۶)

مدل بیلان وازمد^{۱۳} (WASMOD) یکی دیگر از انواع مدل‌های مفهومی بیلان آب است. این نسخه از مدل توسط Xu و همکاران (۱۹۹۶) توسعه داده شد و برای حوضه‌های آبریز NOEX^{۱۴} توسط Halldin و همکاران (۱۹۹۹) مورد استفاده قرار گرفت. نمونه اولیه این مدل توسط Van der Beken و Byloos (۱۹۷۷) ابداع شد و Vandewiele و همکاران (۱۹۹۲) نیز پیشرفت‌ها و اصلاحات قابل توجهی بر روی آن انجام دادند. نسخه‌های اولیه مدل بدون مازول برف بود. نسخه‌های متفاوت مدل با نام‌های نظیر VUB و MWB و یا با نام مدل NOEX شناخته می‌شوند. مدل با گام‌های زمانی متفاوت از هفته تا ماهانه با ۳ تا ۶ پارامتر بسته به در دسترس بودن داده‌های ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل ترکیبیات مختلفی از بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل، ذخیره رطوبت خاک و درجه حرارت رابه عنوان ورودی می‌پذیرد. به‌طور کلی داده‌های سری زمانی تبخیر و تعرق ارجحیت دارند؛ ولی در شرایطی که این داده‌ها در دسترس نباشند، مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از دما تخمین زده می‌شود. روندهای مفهومی مدل در شکل (۸) نشان داده شده است.

در مرحله اول با استفاده از یک شاخص دمایی مشابه روابطی که Vandewiele و NiLar-Win (۱۹۹۳) ارائه نمودند، بارش به باران و برف تجزیه می‌شود. مقدار «بارش برف» به «بودجه برفی» افزوده شده و در انتهای ماه کسری از آن ذوب شده و به «ذخیره رطوبت خاک» افزوده می‌شود. قبل از اینکه «باران فعال» به افزایش «ذخیره رطوبت خاک» کمک کند، بخشی از باران تبخیر می‌شود. نتیجه عملکرد مدل به تصمیمات اتخاذ شده در مورد نحوه بارش باران یا برف و ذوب برف حساس است. در ادبیات فنی به دو شکل جدایی برف صورت می‌گیرد. روش اول که تعادل انرژی^{۱۵} نام دارد. متغیرهای لازم برای یک تعادل

حوضه و تراکم زهکشی افزایش پیدا می‌کند و در مناطقی با پوشش جنگلی، مقدار کمتری را به خود اختصاص می‌دهد. نهایتاً رواناب کل از جمع «رواناب آهسته» و «رواناب سریع» حاصل می‌شود ($Q_i = Q_{s,i} + Q_{fi}$). «ذخیره رطوبت خاک» در انتهای ماه i -ام نیز از رابطه (۶۷) به دست خواهد آمد. مقادیر شرایط مرزی پارامترهای فرآیندی مدل در جدول (۲) آمده شده است.

$$SM_i = SM_{i-1} + P_{rain,i} + SNM_i - PET_i - Q_i \quad (67)$$

جدول ۲- محدوده مقادیر پارامترهای فرآیندی مدل وازمد (Saito و همکاران، ۲۰۱۵)

پارامتر (واحد)	محدوده مرزی
a_1 (°C)	$0 \sim 3/89$
a_2 (°C)	$0 \sim a_1$
a_3	$0 \sim 1$
a_4	$0 \sim 1$
a_5	$0 \sim 1$
a_6	$0 \sim 1$

۸. مدل مفهومی بیلان آب جزیم^{۱۷} (۲۰۰۶)

مدل بیلان آب شش پارامتری جزیم برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوضه‌های خشک و نیمه‌خشک که در اکثر مواقع از کمبود آب رنج می‌برند در دو حوضه در کشورهای یمن و اردن ارائه شد. نتایج این مدل در این حوضه‌ها نشان داد علیرغم شکل ساده، مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی رواناب در حوضه‌های کم بازده دارد. یکی از جذابیت‌های این مدل تخصیص دولایه خاک است که توانایی ذخیره رطوبتی متفاوتی دارند. «ظرفیت رطوبت خاک» و «ذخیره رطوبت خاک» در لایه فوقانی AWC_U و $SM_{U,i}$ و «ظرفیت رطوبت خاک» و «ذخیره رطوبت خاک» در لایه تحتانی AWC_L و $SM_{L,i}$ هستند که مقداری بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر را به خود اختصاص می‌دهند. پژوهش Jazim (۲۰۰۶) نشان داد بهترین رابطه برای تبخیر و تعرق برای ماه‌هایی که بارش ماهانه بزرگ‌تر از صفر است، رابطه گو و ژانگ است. همچنین پارامتر c در بازه ۰/۵ تا ۱/۰ بهترین عملکرد را در مدل از خود نشان می‌دهد و برای ماه‌های بدون بارش «تبخیر و تعرق واقعی» از «ذخیره رطوبت خاک» فوقانی اتفاق می‌افتد. در صورتی که «ذخیره رطوبت خاک» در لایه فوقانی صفر باشد به‌طور پیوسته تبخیر از لایه تحتانی اتفاق خواهد افتاد.

$$\begin{cases} P_i > 0 \rightarrow AET_i = c \times PET_i \times \tanh(P_i/PET_i) \\ P_i = 0 \rightarrow \begin{cases} AET_i = SM_{U,i-1} - SM_{U,i} \times \exp(-PET_i/AWC_{U,i}) \\ AET_i = SM_{L,i-1} - SM_{L,i} \times \exp(-PET_i/AWC_{L,i}) \end{cases} \end{cases} \quad (68)$$

«ظرفیت رطوبت خاک» AWC_U و AWC_L حد بالای $SM_{U,i}$ و $SM_{L,i}$ هستند که طی یک فرآیند بهینه‌سازی به دست می‌آیند و مقداری بین ۲۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر خواهند داشت. در صورتی که «ذخیره رطوبت

$$W_i = P_{rain,i} + SM_{i-1} \quad (60)$$

در شرایطی که سری زمانی بلندمدت تبخیر و تعرق ماهانه در دسترس نباشد، حداقل داشتن دوازده داده از تبخیر و تعرق ماهانه برای بهبود عملکرد مدل ضروری است.

$$PET_i = (1 + a_3 * (T_i - \bar{T})) * PET \quad (61)$$

در رابطه فوق $\overline{PET}$ متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل، $\bar{T}$ متوسط دمای ماهانه و پارامتر a_3 ضریب تبدیل متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه به تبخیر و تعرق پتانسیل واقعی هستند. در صورتی که تبخیر و تعرق پتانسیل در دسترس باشد استفاده از روابط فوق لزومی ندارد. به دلایل آشکار یک رابطه تبخیر و تعرق خوب باید شرایط زیر را دارا باشد.

$$\begin{cases} AET_i \text{ increases with } PET_i \text{ and } W_i \\ AET_i = 0 \text{ when } PET_i = 0 \text{ or } W_i = 0 \\ AET_i \leq PET_i \text{ and } AET_i \leq W_i \\ AET_i \rightarrow PET_i \text{ when } W_i \rightarrow \infty \end{cases} \quad (62)$$

روابط (۶۳) و (۶۴) «تبخیر و تعرق واقعی» را محاسبه می‌کنند. پارامتر a_4 مقداری بین صفر و یک دارد و در ترم $\max\{PET_i, 1\}$ مقدار یک برای جلوگیری از صفر شدن مخرج است. پارامتر a_4 مقدار «تبخیر و تعرق واقعی» را با افزایش «تبخیر و تعرق پتانسیل» و «آب در دسترس» تخمین می‌زند. مقادیر کوچک a_4 باعث از دست رفتن بیشتر «ذخیره رطوبت خاک» می‌شود.

$$AET_i = \min \left\{ PET_i \left(1 - a_4 \frac{W_i}{\max\{PET_i, 1\}} \right), W_i \right\} \quad (63)$$

$$AET_i = \min \{ W_i (1 - e^{-a_4 * PET_i}), PET_i \} \quad (64)$$

«جریان آهسته» یا Q_s اساساً به «ذخیره رطوبت خاک» در طول ماه بستگی دارد. «جریان آهسته» از رابطه $a_5 \times (SM_{i-1})^{b1}$ به دست می‌آید. ضرایب a_5 و $b1$ مقداری غیر منفی هستند. مقدار $b1$ با توجه به عملکرد حوضه یکی از مقادیر ۱ و یا ۲ را به خود اختصاص خواهد داد.

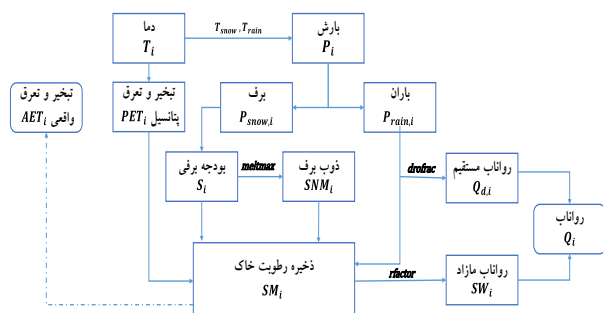
برای حوضه‌های خشک و نیمه‌خشک یکی از مقادیر $b1=0$ و یا $b1=1/2$ در محاسبات بیلان منظور می‌شود. $b1$ پارامتری گسسته ولی a_5 پارامتری پیوسته است. «ضریب جریان آهسته» یا a_5 مقدار سهم رواناب ناشی از جریان پایه را مشخص می‌کند و مقادیر بزرگ‌تر a_5 سهم بیشتری از جریان پایه را در نظر می‌گیرد. مناطق جنگلی مقادیر بزرگ‌تری نسبت به مناطق باز با خاک‌های شنی و رسی را خواهند داشت. در مقابل «جریان سریع» به‌طور غیرمستقیم از طریق «تبخیر و تعرق پتانسیل» به پارامترهای بارش، ذوب برف بستگی دارد. «باران فعال» و جریان سریع نیز از روابط (۶۵) و (۶۶) به دست می‌آید.

$$P_{a-rain,i} = P_{rain,i} - PET_i * \left[1 - \exp \left(- \frac{P_{rain,i}}{\max\{PET_i, 1\}} \right) \right] \quad (65)$$

$$Q_{fi} = a_6 \times (SM_{i-1})^{b2} \times (SNM_i + P_{a-rain,i}) \quad (66)$$

در روابط فوق پارامترهای a_6 و $b2$ پارامترهای غیرمنفی هستند. پارامتر $b2$ یکی از مقادیر ۱ و یا ۲ را به خود اختصاص خواهد داد. پارامتر جریان سریع a_6 با درجه شهرنشینی، شیب متوسط

ساختار مدل شامل باران، رواناب مستقیم، برف، بودجه برفی، ذوب برف، تبخیر و تعرق پتانسیل، تبخیر و تعرق واقعی، ذخیره رطوبت خاک، آب مازاد، برداشت از ذخیره رطوبت خاک و رواناب کل هستند. این مدل طی گزارشی برای سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا^{۱۸} توسعه داده شد. و برای آن نرم‌افزاری طراحی گردید که بر روی سیستم عامل ویندوز قابل اجرا می‌باشد. این نرم‌افزار بر روی تارنمای سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا^{۱۹} قابل دسترسی است. روندنمای مفهومی مدل پیشنهادی Saito و همکاران (۲۰۱۵)، در شکل (۱۱) ارائه شده است.



شکل ۱۱- روندنمای مفهومی مدل بیلان آب مکیب (Saito و همکاران، ۲۰۱۵)

مدل با تفکیک بارش به باران و برف و در نظر گرفتن یک ذخیره با گنجایش بی‌نهایت برای مخزن ذخیره برف، یکی از کارآمدترین مدل‌های مفهومی در مطالعات بیلان آب محسوب می‌شود.

$$P_{snow,i} = P_{total,i} \times [(T_{rain} - T_i) / (T_{rain} - T_{snow})] \quad T_{snow} < T_i < T_{rain} \quad (V5)$$

$$P_{rain,i} = P_{total,i} - P_{snow,i} \quad (V6)$$

T_{snow} و T_{rain} اولین و دومین پارامترهای فرآیندی هستند که طی یک پروسه بهینه‌سازی به دست می‌آیند. پارامتر $Q_{d,i}$ یا «رواناب مستقیم»، روانابی است که از سطح‌های غیرقابل نفوذ و یا رواناب ناشی از سرریز مازاد نفوذ به «ذخیره رطوبت خاک» حاصل شده است. پارامتر $drofrac$ یا «ضریب رواناب مستقیم»، سومین پارامتر فرآیندی است که مقداری بین صفر و یک دارد ($Q_{d,i} = P_{rain,i} \times drofrac$).

مقدار «آب باقیمانده» از تفاضل «رواناب مستقیم» از «بارش باران» محاسبه می‌شود ($P_{remain,i} = P_{rain,i} - Q_{d,i}$).

«ضریب ذوب برف»^{۲۰} تابعی از دمای متوسط ماه و «ماکزیمم نرخ ذوب برف» یا $meltmax$ است. «ماکزیمم نرخ ذوب برف» یا $meltmax$ چهارمین پارامتر فرآیندی است که در بازه صفر تا یک مقدار بهینه آن محاسبه می‌شود. مقادیر «دمای آستانه باران و برف» در دو مرحله، مرحله اول در زمان وقوع بارش و مرحله دوم در زمان ذوب برف، به صورت خطی مقادیر «بارش باران»، «بارش برف» و «ضریب ذوب برف» را تعیین می‌کنند.

$$SMF_i = \min\{meltmax, [(T_i - T_{snow,i}) / (T_{rain,i} - T_{snow,i})] \times meltmax\} \quad (V7)$$

«ذخیره ذوب برف» ماه i با S_i از مجموع ذخیره ذوب برف ماه‌های قبل و بارش برف جاری با کسر مقدار برف ذوب‌شده در ماه قبل یا SNM_{i-1} به دست می‌آید و نهایتاً دوباره کسری از ذخیره ذوب برف

خاک» لایه فوقانی از «ظرفیت رطوبت خاک» تجاوز کند، بخشی از این «آب مازاد» لایه فوقانی تبدیل به «رواناب سطحی» می‌شود.

$$SM_{U,i} = SM_{U,i-1} + P_i - AET_i \quad (69)$$

$$\text{if } SM_{U,i} > AWC_{U,i} \rightarrow SW_{U,i} = SM_{U,i} - AWC_{U,i} \quad (70)$$

$$Q_{U,i} = K_1 \times SW_{U,i} \quad (71)$$

پارامتر K_1 سومین پارامتر از مدل است که باید بهینه شود و سهمی از «آب مازاد» است که به صورت «رواناب زیرسطحی» ظاهر می‌شود.

پارامتر K_2 نیز چهارمین پارامتر از مدل است که باید بهینه شود.

$$Remain_i = SW_{U,i} - Q_{U,i} \quad (72)$$

$$Q_{L,i} = K_2 \times Remain_i \quad (73)$$

با نفوذ رطوبت از لایه فوقانی به لایه تحتانی، «ذخیره رطوبت خاک» در لایه تحتانی به طور پیوسته افزایش پیدا می‌کند و توسط دبی پایه، نفوذ عمیق و تبخیر و تعرق در حالتی که «ذخیره رطوبت خاک» در لایه فوقانی صفر باشد، تخلیه می‌شود.

$$Percolate_{U,i} = Remain_i - Q_{L,i} \quad (74-f)$$

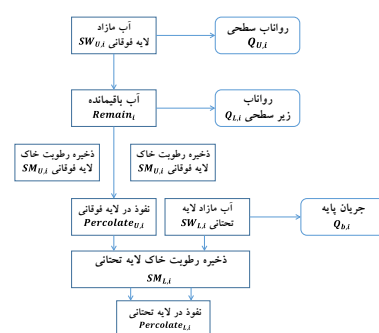
$$SM_{U,i} > 0, Percolate_{U,i} > 0 \rightarrow SM_{L,i} = SM_{L,i-1} - Q_{b,i-1} - Percolate_{L,i-1} + Percolate_{U,i}$$

$$SM_{U,i} > 0, Percolate_{U,i} \leq 0 \rightarrow SM_{L,i} = SM_{L,i-1} - Q_{b,i-1} - Percolate_{L,i-1} \quad (74-b)$$

«نفوذ عمیق» یا «نفوذ در لایه تحتانی» از رابطه $Percolate_{L,i} = K_3 \times SM_{L,i}$ به دست می‌آید. «آب مازاد» در لایه تحتانی زمانی شکل می‌گیرد که «ذخیره رطوبت خاک» در لایه تحتانی از ظرفیت رطوبت خاک، بیشتر گردد ($SW_{L,i} = SM_{L,i} - AWC_{L,i}$). «جریان پایه» نیز که کسری از «آب مازاد» لایه تحتانی است، توسط پارامتر K_4 به دست می‌آید ($Q_{b,i} = K_4 \times SW_{L,i}$).

وقتی که «ذخیره رطوبت خاک» فوقانی $SM_{L,i}$ کاهش یابد و یا برابر صفر گردد و «آب مازاد» لایه تحتانی $SW_{L,i}$ بزرگ‌تر از صفر باشد، این آب به «ذخیره رطوبت خاک» لایه فوقانی اضافه می‌شود و «جریان پایه» در آن ماه برابر صفر خواهد بود ($SM_{U,i} = SM_{U,i-1} + SW_{L,i}$).

نهایتاً رواناب کل از مجموع رواناب سطحی، رواناب زیرسطحی و دبی پایه تشکیل می‌گردد ($Q_i = Q_{U,i} + Q_{L,i} + Q_{b,i}$).



شکل ۱۰- روندنمای مفهومی مدل بیلان جزیم (Jazim، ۲۰۰۶)

۹. مدل مفهومی بیلان آب مکیب (۲۰۰۷)

مدل مفهومی بیلان آب ماهانه McCabe و Markstrom (۲۰۰۷) یکی از معروف‌ترین مدل‌های بیلان آب است که بر اساس مدل تورنت‌وایت توسعه داده شده است. اجزای هیدرولوژیک دخیل در

تعرق واقعی» در هر ماه نیز تابعی از پارامترهای «تبخیر و تعرق پتانسیل» و «آب مایع» می‌باشد.

$$\begin{cases} P_{liquid,i} \geq PET_i \rightarrow AET_i = PET_i \\ P_{liquid,i} < PET_i \rightarrow AET_i = P_{liquid,i} - SMW_i \end{cases} \quad (۸۰)$$

در نهایت با پیگیری روابط زیر «آب سطحی اولیه» و «رواناب کل» حاصل می‌شود. «آب سطحی اولیه» ماه جاری از جمع «آب سطحی اولیه» و «آب مازاد» و کسر «رواناب کل» ماه قبل به دست می‌آید. همچنین مقدار «رواناب کل» مجموعی از «آب مازاد»، «آب سطحی اولیه» و «رواناب مستقیم» است.

$$initial\ surface\ water_i = SW_{i-1} - initial\ surface\ water_{i-1} - Q_{f,i} \quad (۸۱)$$

$$Q_i = (SW_i + initial\ surface\ water_i) \times rfactor + Q_{di} \quad (۸۲)$$

«ضریب رواناب» یا $rfactor$ ، آخرین پارامتر فرآیندی است که طی فرآیند بهینه‌سازی به دست خواهد آمد. در جدول (۳) مقادیر شرایط مرزی پارامترهای فرآیندی مدل، آورده شده است.

جدول ۳- محدوده مقادیر پارامترهای فرآیندی مدل مکیب

(Saito و همکاران، ۲۰۱۵)

پارامتر (واحد)	محدوده مرزی
T_{rain} (°C)	۰ ~ ۵
T_{snow} (°C)	-۱ ~ -۱۰
$drofrac$	۰,۱ ~ ۱
$meltmax$	۰,۰۱ ~ ۱
AWC (cm)	۱۰۰ ~ ۲۵۰
$rfactor$	۰ ~ ۱
$Initial\ Surface\ Water$ (cm)	۰ ~ ۱۰۰

همکاران (۲۰۰۱) رابطه (۸۷) را برای محاسبه درصد برف نسبت به کل بارش پیشنهاد داد.

$$\%Snow_i = 100 / (1.35^{T_i} \times 1.61 + 1) \quad (۸۷)$$

$$P_{snow,i} = \%Snow_i \times P_i, \quad P_{snow,i} = (1 - \%Snow_i) \times P_i \quad (۸۸)$$

مقدار ذوب برف در هر ماه با استفاده از یک رابطه خطی توسط دما و نرخ ذوب برف تعریف می‌شود ($SNM_i = C_m \times T_a \times Days$). در این رابطه، C_m (mm/°C.day) نرخ ذوب برف روزانه، $Days$ تعداد روزهای هر ماه و T_a میانگین دمای روزانه هستند.

نرخ ذوب برف روزانه با توجه به ویژگی‌های حوضه آبریز، عرض جغرافیایی، پوشش گیاهی و ویژگی‌های ژئومورفولوژی منطقه تعیین می‌گردد. پس از آن عمق «آب معادل برف»^{۲۵} انباشته شده SWE_i از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$SWE_i = \max\{(SWE_{i-1} + P_{snow,i} - SNM_i), 0\} \quad (۸۹)$$

مقدار «ذوب برف واقعی» از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$SNM_{a,i} = \min\{(SWE_{i-1} + P_{snow,i}), SNM_i\} \quad (۹۰)$$

بنابراین مقدار «بارش واقعی» برای ماه i -ام از جمع «ذوب برف واقعی» و «بارش باران» به دست می‌آید ($P_{a-rain,i} = P_{rain,i} + SNM_{a,i}$).

ماه جاری یا S_i اگر شرایط برای ذوب مساعد باشد، ذوب خواهد شد.

$$S_i = S_{i-1} + P_{snow,i} - SNM_{i-1} \quad (۷۸)$$

مقدار برف ذوب شده از حاصل ضرب «بودجه برفی» در «ضریب ذوب برف» ماه مورد نظر محاسبه خواهد شد ($SNM_i = S_i \times SMF_i$). مقدار برف ذوب شده به مقدار آب باقیمانده اضافه خواهد شد تا مقدار «آب مایع»^{۲۶} در هر ماه محاسبه گردد ($P_{liquid,i} = P_{remain,i} + SNM_i$). «آب مایع» مقدار آبی است که در فرآیند «تبخیر و تعرق» و ایجاد «آب مازاد» مشارکت می‌کند.

در این مدل «تبخیر و تعرق پتانسیل» از رابطه Hamon (۱۹۶۰) به دست می‌آید ($PET_i = 13.97 \times d_i \times D_i^2 \times W_i$). در این رابطه W_i چگالی بخار اشباع نامیده می‌شود و واحد آن gm/m^3 است ($W_i = 4.95 \times \exp(-p(0.062 \times T_i)/100)$). تعداد روزهای ماه و D_i نسبت میانگین ساعات آفتابی روز به دوازده ساعت هستند.

برای به دست آوردن «ذخیره رطوبت خاک»^{۲۷} یا SM_i و «آب مازاد»^{۲۸} یا SW_i روابط زیر پیگیری می‌شود.

$$(۷۹) \quad \begin{cases} P_{liquid,i} - PET_i < 0 \rightarrow \begin{cases} SM_i = SM_{i-1} * \exp\left(\frac{P_{liquid,i} - PET_i}{AWC}\right) \\ SW_i = 0 \end{cases} \\ P_{liquid,i} - PET_i > 0 \rightarrow \begin{cases} SM_{i-1} + P_{liquid,i} - PET_i \leq AWC \rightarrow \begin{cases} SM_i = SM_{i-1} + P_{liquid,i} - PET_i \\ SW_i = 0 \end{cases} \\ SM_{i-1} + P_{liquid,i} - PET_i > AWC \rightarrow \begin{cases} SM_i = AWC \\ SW_i = SM_{i-1} + P_{liquid,i} - PET_i - AWC \end{cases} \end{cases} \end{cases}$$

مقدار «برداشت از ذخیره رطوبت خاک» که از اختلاف «ذخیره رطوبت خاک» در دو فصل متوالی به دست می‌آید، به صورت $SNM_i = SM_{i-1} - SM_{i-1}$ صورت‌بندی شده است. مقدار «تبخیر و

۱۰. مدل مفهومی بیلان آب کارپوزس^{۲۹} (۲۰۱۱)

Karpouzou و همکاران (۲۰۱۱) طی پژوهشی بر روی حوضه آبریز رودخانه Aison، مدل مفهومی بیلان آب ماهانه کارپوزس را ارائه دادند. در این مدل از الگوریتم Nash-Mead و تابع هدف Nash-Sutcliffe جهت بهینه‌سازی پارامترهای فرآیندی مدل استفاده شده است. این مدل ساختاری مشابه مدل اولیه تورنت‌وایت دارد که با استفاده از فرمول‌های زیر صورت‌بندی می‌شود.

$$\begin{cases} \text{if } P_i > PET_i \rightarrow \begin{cases} SM_i = \min\{(SM_{i-1} + P_i - PET_i), K\}, \\ Q_{SW,i} = \max\{(SM_{i-1} + P_i - PET_i - K), 0\} \end{cases} \quad (۸۳) \\ \text{if } P_i < PET_i \rightarrow SM_i = SM_{i-1} \times \exp[(P_i - PET_i)/K], \quad Q_{SW,i} = 0 \end{cases}$$

$$K = 25.4[(1000/CN) - 10] \quad (۸۴)$$

$$AET_i = (SM_{i-1} - SM_i) + P_i - Q_i = P_i - \Delta SM_i - Q_i \quad (۸۵)$$

$$Q_i = a(Q_{SW,i} + Q_{f,i}) \quad (۸۶)$$

در روابط بالا $Q_{SW,i}$ و Q_i به ترتیب «رواناب مازاد» و «رواناب سطحی» در ماه i -ام هستند. در این مدل درصد بارش باران و یا برف به صورت یک رابطه خطی با درجه حرارت ماهانه فرض شده است. Knight و

و نتیجه آن یک شبیه‌سازی غیرواقعی از ذخیره رطوبت خاک است، ۲- همبستگی بسیار بالایی بین پارامترها وجود دارد، ۳- در بعضی موارد مقادیر پارامترها تمایل دارند که در طول بهینه‌سازی از محدودیت‌های فیزیکی تجاوز کنند. در جدول (۴) خلاصه‌ای از مدل‌های بررسی شده با تاکید بر اجزای شاخص هیدرولوژیکی دخیل در فرآیند مدل‌سازی، ارائه شده است.

مدل‌های راثو و الوقدنی، چهار پارامتری گو، مکیب و کارپوزس با امکان تفکیک بارش باران و برف، برای مناطقی که سطح پوشش برف گسترده‌ای دارند مناسب‌تر می‌باشند. همچنین مدل‌های مانند مدل پالمز، توماس و جزیم با فرض دو لایه خاک، عملکرد بهتری در مناطق با آب و هوای خشک با بارش باران کمتر از خود نشان می‌دهند. مدل تورنت‌وایت و دو پارامتری گو به دلیل سادگی و تعداد کم پارامترها، امکان واسنجی آن‌ها در تمامی حوضه‌های آبریز به سادگی وجود دارد. به طور کلی مدل‌های مفهومی نسبتاً پیچیده برای مناطق خشک و مدل‌های بسیار ساده برای مناطق با آب‌وهوای معتدل استفاده می‌شوند. مدل‌های دارای تفکیک باران و برف در حوضه‌های آبریز با سطح پوشش برف گسترده، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین در مناطق خشک، مدل‌های دارای دو مخزن رطوبت خاک عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند. بسیاری از مدل‌ها، تجربیات زیادی را نشان می‌دهند، اما باید در نظر داشته باشیم که مدل‌ها همواره در حال بهبود بوده و برای نیازهای عملی باید بررسی شوند. همچنین به کاربران مدل باید فرصت کافی داده شود تا با مدل‌ها آشنا شده و حساسیت، توانایی‌ها و ضعف‌های مدل را بشناسند. بنابراین ضروری است که این مدل‌ها را با دقت مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و در آن‌ها بازنگری نمود.

طی نیم قرن گذشته که از زمان توسعه مدل‌های بیلان آب می‌گذرد، تجربه‌های قابل توجهی در رابطه با تشخیص بهترین روش تخمین رواناب بدست آمده است، که به سوالاتی در مورد وجود آب، خصوصیات حوضه و مدیریت منابع آب پاسخ می‌دهد. ثابت شده است که مدل‌های بیلان آب یک ابزار ارزشمند، نه فقط برای ارزیابی خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه‌های مختلف، بلکه برای ارزیابی نتایج هیدرولوژیکی تغییر اقلیم هستند. استفاده از مدل‌هایی ساختار نسبتاً پیچیده در نواحی خشک و نیمه خشک و مدل‌هایی با ساختاری ساده‌تر برای مناطق مرطوب و معتدل، می‌تواند سودمند باشد. این مدل‌ها از درجه حرارت به عنوان یک نیروی محرک برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده می‌کنند که این پارامتر همراه با بارش ماهانه به عنوان ورودی برای مدل‌ها بکار برده می‌شود.

کاربردهای اصلی مدل‌های مفهومی بیلان آب ماهانه می‌تواند به صورت زیر خلاصه شود: ۱- تولید مصنوعی طولانی مدت اجزای هیدرولوژیک حوضه آبریز، ۲- تولید رواناب برای حوضه‌های بدون ایستگاه ۳- ارائه داده‌های هیدرولوژیکی به عنوان ورودی برای اعتبارسنجی مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs)، ۴- پیش‌بینیابی دبی طی یک یا دو ماه جهت کنترل زمان واقعی سیستم‌های منابع آب، ۵- استخراج طبقه‌بندی‌های منطقه‌ای- هیدرولوژیکی- اقلیمی، ۶- پیش‌بینی تأثیرات هیدرولوژیکی امکان‌پذیر ناشی از تغییر کاربری و تغییر اقلیم (Singh و Xu، ۱۹۹۸).

ضعف اصلی این مدل‌ها عبارتند از: ۱- متغیرهای شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های مختلف، ممکن است کاملاً با یکدیگر متفاوت باشند

14- Northern Hemisphere Climate Processes Land-Surface Experiment

15- Energy Balance

16- Crude Index

17- Jazim

18- U.S. Geological Survey

19- http://www.brr.cr.usgs.gov/projects/SW_MoWS/Thorntwaite.html

20- Snow Melting Factor (SMF)

21- Liquid Water

22- Soil Moisture (SM)

23- Surplus Water (SW)

24- D. K. Karpouzios

25- Snow Water-Equivalent

1- Available Water Content (AWC)

2- Wayne C. Palmer

3- Palmer Drought Severity Index

4- Potential Loss

5- Climate and Life

6- Catchment Rainfall Retention

7- Harold A. Thomas

8- Ramachandra Rao

9- A. Al-Wagdany

10- Blaney-Criddle

11- Surplus Water (SW)

12- Shenglian Guo

13- The Water and Snow Balance Modeling System

اجزای هیدرولوژیکی مدل های بیان آب																											
توضیحات	آب زیرزمینی								رواناب				مغزن رطوبت خاک				تجزیه و تعرق		تفکیک باران و برف			پارامترهای ورودی		مشخصات مدل		ردیف	
	تفویض	تجمع	آب باران	آب درختس	تجزیه و تعرق	تفکیک باران و برف	تجزیه و تعرق	تفکیک باران و برف	تجزیه و تعرق	تفکیک باران و برف	تجزیه و تعرق	تفکیک باران و برف	تجزیه و تعرق	تفکیک باران و برف	تجزیه و تعرق	تفکیک باران و برف	تجزیه و تعرق	تفکیک باران و برف	تجزیه و تعرق	تفکیک باران و برف	تجزیه و تعرق	تفکیک باران و برف	تجزیه و تعرق	تفکیک باران و برف	تجزیه و تعرق		تفکیک باران و برف
اولین مدل مفهومی بیان آب است.																											1
اولین مدلی که با دو لایه خاک ارائه شد.																											2
تنوع در روابط پیشنهادی برای منحنی بودیکو وجود دارد.																											3
-																											4
ساختار مدل مشابه مدل 5 پارامتری گو است.																											5
-																											6
ساختار مدل مشابه مدل اولیه																											7
توزیع وایت است.																											8
ساختار مدل مشابه مدل راتو والوقدنی است.																											9
با تفکیک بارش به باران و برف، مدل برای مناطقی که پوشش برف گسترده دارد مناسب است.																											10
این مدل در مناطق با آب و هوای خشک عملکرد مناسبی دارد.																											11
نیم افزاری توسط سازمان زمین شناسی آمریکا بر اساس این مدل ارائه شد.																											12
مدل رابطه ویژه برای بارش باران و برف تعریف می کند.																											13

جدول ۴- جمع بندی مدل های بیان آب

- water balance approach for reconstructing streamflow using tree-ring proxy records. *Journal of Hydrology*, 529: 535-547.
- Sankarasubramanian A. and Vogel R. M. 2002. Comment on the paper: Basin hydrologic response relations to distributed physiographic descriptors and climate by Karen Plaut Berger, Dara Entekhabi, 2001. *Journal of Hydrology* 247: 169-182.
- Thomas JR H. A. 1981. Improved Methods for National tvater Assessment Water Resources Contract: WR15249270.
- Thornthwaite C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38: 55-94.
- Thornthwaite C. W. and Mather J. R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology, Centerton, NJ (EUA). Laboratory of Climatology.
- Van Der Veken A. and Byloos J. 1977. A monthly water balance model including deep infiltration and canal losses/Un modèle mensuel du bilan hydrologique inclusive l'infiltration profonde et les pertes des canaux. *Hydrological Sciences Journal*, 22: 341-351.
- Van Der Beken a. and Byloos j. 1977. A monthly water balance model including deep infiltration and canal losses/Un modèle mensuel du bilan hydrologique inclusive l'infiltration profonde et les pertes des canaux. *Hydrological Sciences Journal*, 22: 341-351.
- Vandewiele G., Xu C. and Ni Lar W. 1993. Methodology for constructing monthly water balance on basin scale, secodnd ed. Laboratory of Hydrology, Vrije Universiteit Brussel.
- Vandewiele G. and Xu C.-Y. 1992. Methodology and comparative study of monthly water balance models in Belgium, China and Burma. *Journal of Hydrology*, 134: 315-347.
- Wang D. and Mayer L. 1993. Wbandz: AC program to calibrate the hydrologic model and calculate monthly water balance and Palmer's Z-index. *Computers & Geosciences*, 19: 1267-1283.
- Xu C.-Y. 1999. Estimation of parameters of a conceptual water balance model for ungauged catchments. *Water Resources Management*, 13: 353-368.
- Xu C.-Y., Seibert J. and Halldin S. 1996. Regional water balance modelling in the NOPEX area: development and application of monthly water balance models. *Journal of Hydrology*, 180: 211-236.
- Xu C.-Y. and Singh V. P. 1998. A review on monthly water balance models for water resources investigations. *Water Resources Management*, 12: 20-50.
- Zhang L., Potter N., Hickel K., Zhang Y. and Shao Q. 2008. Water balance modeling over variable time scales based on the Budyko framework-Model development and testing. *Journal of Hydrology*, 360: 117-131.
- Alley W. M. 1984. On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting, and aquifer recharge in monthly water balance models. *Water Resources Research*, 20: 1137-1149.
- Budyko M. 1974. *Climate and Life*, 508 pp. Academic Press, New York.
- Guo S. 1995. Impact of climatic change on hydrological balance and water resource systems in the Dongjiang Basin, China. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*, 231: 141-150.
- Guo S., Chen H., Zhang H., Xiong L., Liu P, Pang B., Wang G. and Wang Y. 2005. A semi-distributed monthly water balance model and its application in a climate change impact study in the middle and lower Yellow River basin. *Water international*, 30: 250-260.
- Guo S., Wang J., Xiong L., Ying A. and Li D. 2002. A macro-scale and semi-distributed monthly water balance model to predict climate change impacts in China. *Journal of Hydrology*, 268: 1-15.
- Halldin S., Grying S. E., Gottschalk L., Jochum A., Lundin L.-C. and Van de Griend A. 1999. Energy, water and carbon exchange in a boreal forest landscape-NOPEX experiences. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98: 5-29.
- Hamon W. R. 1960. Estimating potential evapotranspiration. *Massachusetts Institute of Technology*.
- Karpouzou D., Baltas E., Kavalieratou S. and Babajimopoulos C. 2011. A hydrological investigation using a lumped water balance model: The Aison River Basin case (Greece). *Water and Environment Journal*, 25: 297-307.
- Knight C. G., Chang H., Staneva M. P. and Kostov D. 2001. A simplified basin model for simulating runoff: The Struma River GIS. *The Professional Geographer*, 53: 533-545.
- Martinez G. F. and Gupta H. V. 2010. Toward improved identification of hydrological models: A diagnostic evaluation of the "abcd" monthly water balance model for the conterminous United States. *Water Resources Research*, 46: W08507.
- Mccabe G. J. and Markstrom S. L. 2007. A monthly water-balance model driven by a graphical user interface. *Geological Survey (US)*.
- Oldekop E. 1911. About evapotranspiration in riverine basins. Tartu [in Russian].
- Palmer W. C. 1965. *Meteorological drought*, US Department of Commerce, Weather Bureau Washington, DC.
- Rao A. R. and Al-Wagdany A. 1995. Effects of climatic change in Wabash river basin. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 121: 207-215.
- Saito L., Biondi F., Devkota R., Vittori J. and Salas J. D. 2015. A

Optimal Use of Rainwater Harvesting: A Strategy to Deal with Water Short- ages in Arid and Semi-Arid Regions

Z. Noori^{1*}, M.A. Zare Chahouki²

1,2- Ph.D. Student of Watershed Science and Engineering, Professor in Natural Resources Faculty, University of Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: Zahra.noori@ut.ac.ir)

Received: 28-02-2017

Accepted: 01-08-2017

استفاده بهینه از آب باران راهکاری برای مقابله با کم آبی در مناطق خشک و نیمه خشک

زهره نوری^{۱*}، محمدعلی زارع چاهوکی^۲

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز و استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: Zahra.noori@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۱۰

Abstract

Low rainfall with poor temporal and spatial distribution, scarcity of water resources, and the increasing demand for water are major problems in arid and semiarid regions. The efficient use of water resources and efforts to achieve new water sources are two main solutions to slightly overcome these problems. Among these, rainwater harvesting is one of the most prominent methods for rainwater management to confront the scarcity of water that is rapidly developing in many areas. Due to the variety and extent of rainwater harvesting methods, characteristics such as the amount of rainfall and its distribution, topography, soil type, soil depth, social and economic factors, as well as the water consumption in each area must be considered when selecting the appropriate method. In this paper, firstly, the factors affecting the selection and design of each rainwater harvesting method is studied that includes natural factors such as weather conditions, topography, runoff, and the technical, economic, social, and organisational factors. Then, the different methods of rainwater harvesting systems including microcatchment, macrocatchment, and rooftop rainwater harvesting systems are expressed in detail.

Keywords: Rainwater harvesting, Arid and semi-arid regions, Water resources, Scarcity of water.

چکیده

بارندگی کم همراه با توزیع نامناسب زمانی و مکانی، کمبود منابع آب و افزایش تقاضا برای آب از مشکلات اساسی در مناطق خشک و نیمه خشک می باشد. استفاده بهینه از منابع آبی موجود و نیز تلاش در جهت دستیابی به منابع آبی جدید دو راه حل عمده برای رفع نسبی این مشکلات هستند. از این میان، جمع آوری آب باران یکی از شاخص ترین روش های مدیریت بهره برداری از آب باران برای مقابله با کم آبی می باشد که در بسیاری از مناطق به سرعت در حال توسعه است. با توجه به تنوع و گستردگی روش های جمع آوری آب باران، باید در انتخاب روش مناسب به ویژگی هایی از قبیل مقدار بارندگی و نحوه توزیع آن، توپوگرافی زمین، نوع خاک، عمق خاک، عوامل اقتصادی و اجتماعی و مصارف آب هر منطقه توجه جدی نمود. در این مقاله، ابتدا عوامل موثر در انتخاب و طراحی روش های جمع آوری آب باران از جمله عوامل طبیعی مانند شرایط آب و هوایی، توپوگرافی منطقه، رواناب و عوامل فنی، اقتصادی، سازمانی و اجتماعی بررسی شده است. سپس روش های مختلف مربوط به سامانه های جمع آوری آب باران با سطوح آبگیر کوچک، بزرگ و جمع آوری آب از پشت بام ها به تفصیل بیان شده است.

واژه های کلیدی: جمع آوری آب باران، مناطق خشک و نیمه خشک، منابع آب، کم آبی.

در پژوهشی رشیدی مهرآبادی و ثقفیان (۱۳۹۱) سیستم سطوح آبگیر باران و عملکرد مخازن ذخیره‌سازی آب باران را که با هدف تأمین نیاز غیرشرب روزانه ساکنان ساختمان‌های مسکونی شهر قزوین احداث شده، بررسی کردند. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان داشت که اگر حجم مخازن و نیاز غیرشرب روزانه ساکنان براساس شرایط فیزیکی ساختمان و شرایط هیدرولوژیکی محاسبه شوند، ذخیره‌سازی آب باران در مخازن به حداکثر رسیده و نیاز غیرشرب ساکنان از طریق جمع‌آوری آب باران در تعداد روزهای بیشتری تأمین خواهد شد. حسینی و روغنی (۱۳۹۱) به‌منظور معرفی مناسب‌ترین روش جمع‌آوری آب باران و حفظ رطوبت و به دنبال آن کاهش تبخیر از سطح خاک، سامانه‌های لوزی شکل با تیمارهای مختلف در دامنه‌های شیب‌دار احداث نمودند. این کار علاوه بر افزایش رطوبت در انتهای سامانه، تأثیر شایان توجهی در افزایش سطح سفره‌های آب زیرزمینی و کاهش فرسایش و رسوب دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که این سامانه‌ها منجر به افزایش نگهداشت رطوبت حجمی خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک به میزان ۲۸/۷۶ درصد می‌شود. صادق‌زاده ریحان و همکاران (۱۳۹۲) روش‌های جمع‌آوری آب باران را با هدف افزایش رطوبت خاک و رشد نهال پسته در استان آذربایجان شرقی ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد که روش‌هایی مانند استفاده از پرلیت، موجب افزایش معنی‌دار ذخیره رطوبتی خاک و رشد نهال‌ها می‌شود.

Samuel و Mathew (۲۰۰۸) روش‌های سازگار کردن و بهبود روش‌های جمع‌آوری آب باران به‌منظور تغذیه آب زیرزمینی و افزایش تولید در مقیاس حوزه آبخیز را در هند بررسی نمودند. آنها روش‌ها را در دو گروه ذخیره در مخازن مصنوعی و ذخیره در خاک تقسیم کردند که شامل مخازن سیمانی و استخرها می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از روش‌های جمع‌آوری آب باران و احیاء آنها به کمک روش‌های نوین منجر به ایجاد منبعی مناسب از آب برای کاهش تأثیر خشکسالی و فرسایش خاک در منطقه می‌شود. Derib و همکارانش (۲۰۰۹) تأثیر جمع‌آوری آب باران با حوضچه‌های کوچک مقیاس (تراس ابرویی، تراس نیم دایره و ترانشه) را بر بهبود پوشش گیاهی در منطقه Amhara در شمال شرقی اتیوپی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که تراس ابرویی، تراس نیم دایره و ترانشه به‌ترتیب منجر به افزایش ۶۸، ۹۵ و ۵۲ درصد در بیوماس گیاهی شده است. براساس بررسی Oweis و Tavakoli (۲۰۱۱) در طول دوره ۲۰۰۶-۱۹۹۹ در استان آذربایجان شرقی، حدود ۵۵-۳۵ درصد از آب مورد نیاز کشاورزی منطقه را می‌توان با سامانه‌های جمع‌آوری آب باران به شکل حوضچه‌های کوچک و بندهای دایره‌ای (با خاک فشرده) تأمین نمود. مطالعات Zingiro و همکاران (۲۰۱۴) برای ارزیابی اثر فناوری

جمع‌آوری آب باران را می‌توان شیوه مدیریت جمع‌آوری، ذخیره، پخش و توزیع آب باران برای هر استفاده‌ی تولیدی تعریف کرد. در مناطق خشک دنیا و بالطبع کشور ما ایران، به دلیل کم بودن میزان بارش و توزیع نامناسب مکانی و زمانی نزولات جوی، صرفه‌جویی در مصرف آب و مدیریت اصولی و بهره‌وری مناسب از منابع آب ضروری است (طباطبایی یزدی و همکاران، ۱۳۸۵). از سوی دیگر بخش زیادی از بارش به‌شکل رواناب و تبخیر از دسترس خارج می‌شود و تنها بخش اندکی از نزولات جوی به سفره‌های آب زیرزمینی وارد می‌شود (چکشی و طباطبایی یزدی، ۱۳۹۱). جمع‌آوری آب باران روشی مطمئن و مناسب در راستای افزایش میزان آب قابل دسترس بوده که ضمن تقلیل اثرات نامطلوب خشکی و خشکسالی، در نهایت منجر به حصول مزایای استفاده بهینه از نزولات جوی و رواناب‌های سطحی جهت مصارف مختلف خواهد شد (چکشی و طباطبایی یزدی، ۱۳۹۱). لذا بهینه‌سازی بهره‌برداری از ریزش‌های جوی یکی از راهکارهای اجرایی مدیریت و بهره‌برداری از آب قابل دسترس به‌ویژه برای مقابله با کم آبی است. جمع‌آوری آب باران به معنی جمع‌آوری و ذخیره رواناب‌ها از سطح بام‌ها، زمین‌ها و آب‌های فصلی و استفاده از آن برای آبیاری سالانه محصولات، مراتع و درختان، مصارف خانگی و دام و تغذیه آب زیرزمینی می‌باشد (Tuinhof و همکاران، ۲۰۱۲). شیوه‌های مختلف جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب باران با استفاده از احداث سامانه‌های سطوح آبگیر باران از دیرباز روشی برای تأمین آب جهت مصارف مختلف به‌ویژه کشاورزی بوده است (قدوسی، ۱۳۷۶). براساس تحقیقات تاریخی Fraize و Lewis در سال ۱۹۷۴، فن جمع‌آوری آب باران حدود ۴۵۰۰ سال پیش در میان مردم اوزونایتین از ساکنین باستانی خاورمیانه مرسوم بوده و اولین سیستم ذخیره آب در منطقه خاورمیانه ساخته شده است. در منطقه خاورمیانه در کشورهای عراق، عربستان و ایران تأسیسات جمع‌آوری باران در مسیر کاروان‌ها یافت شده است. وجود بندسارها، خوشاب‌ها، هوتک‌ها و آب‌انبارهای قدیمی نشانه قدمت جمع‌آوری آب باران در ایران است. استفاده از سامانه‌های جمع‌آوری آب باران در کشور هند نیز از زمان‌های گذشته متداول بوده و بخش عمده تولید محصولات آنها با استفاده از رواناب حاصل از بارندگی‌ها بوده است. روش‌هایی مانند Johad و ahar برای استفاده از آب باران در بسیاری از روستاهای هند استفاده می‌شده است (Borthakur، ۲۰۰۷). امروزه نیز صرف‌نظر از جنبه‌های تاریخی استفاده از سامانه‌های سطوح آبگیر و گستردگی کاربرد و بهره‌برداری از آنها در مناطق خشک و نیمه‌خشک در جهان قدیم، شیوه‌های نوین مقتضی و سازگار با شرایط اقلیمی به‌منظور بهینه‌سازی بهره‌برداری از نزولات جوی بکار می‌رود.

جمع‌آوری باران (حوضچه‌های جمع‌آوری رواناب) بر زندگی کشاورزان روستاهای جنوب شرقی جمهوری رواندا و تانزانیا نشان داد که جمع‌آوری آب باران افزایش بهره‌وری کشاورزی و افزایش درآمد کشاورزان در بسیاری از مناطقی که در معرض خشکسالی بوده را در پی داشته، همچنین دارای اثرات مثبتی بر خانوارهای کشاورز و کاهش فقر در مناطق روستایی بوده است. Yosef و Asmamaw (۲۰۱۵) برای تأمین آب اراضی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اتیوپی، روش‌های مختلف جمع‌آوری آب باران را بررسی کردند. در این پژوهش نشان داده شده است که روش‌های مانند پخش سیلاب و حوزه‌های کوچک تأثیر معنی‌داری بر روی رطوبت خاک و تغذیه آب زیرزمینی دارند؛ همچنین افزایش تولید محصولات کشاورزی، کاهش ریسک و اثر مثبت بر روی اکوسیستم دارند.

جمع‌آوری آب باران می‌تواند در مناطقی که منابع آب بسیار دور یا پرهزینه‌اند، آب را در دسترس قرار دهد تا روستاهای کوچک، دام، حیوانات خانگی و کشاورزی از سیستم جمع‌آوری آب باران بهره ببرند. احداث سامانه‌های جمع‌آوری آب باران هم به‌صورت

طبیعی و هم به‌صورت مصنوعی با دخالت انسان در طبیعت امکان‌پذیر است. آب جمع‌آوری شده می‌تواند از سطح سقف تمیز، سطح زمین یا حوزه‌های سنگی باشد. این آب عموماً در يك تانك ذخیره شده یا برای تغذیه آب‌های زیرزمینی هدایت می‌شود. به‌طورکلی سامانه‌های جمع‌آوری آب باران با توجه به نوع مصارف آب به ۳ نوع اصلی تقسیم می‌شود (محمدی نشلی و عزیزی، ۱۳۹۰) که عبارتند از:

- ۱- سیستم‌های حفاظت و نگهداری رطوبت برای تولید محصولات زراعی
 - ۲- سیستم‌های متمرکز نمودن رواناب برای حیوانات اهلی و وحشی
 - ۳- سیستم‌های جمع‌آوری و ذخیره‌سازی رواناب به‌دست آمده از بام‌ها و سطح زمین برای مصارف خانگی و زراعی
- در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک که تأمین نیاز آبی با مشکلات زیادی مواجه است، جمع‌آوری آب باران مزایای بسیاری دارد. برخی از این مزیت‌ها در جدول (۱) بیان شده است (Krishna, ۲۰۰۳).

جدول ۱- مزایای جمع‌آوری آب باران

مزایا
• آب رایگان بوده و هزینه کمی برای جمع‌آوری و استفاده از آن می‌شود. • باعث هماهنگی بین منافع بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی می‌شود، زیرا با افزایش پوشش گیاهی، به بهبود وضعیت معیشتی و ایجاد مشارکت و همدلی بین مردم می‌انجامد. • انجام این پروژه‌ها به خودکفایی و احیای اقتصاد منجر و باعث تداوم برنامه‌ها و مدیریت بیشتر می‌شود. • نقطه جمع‌آوری و محل ذخیره و استفاده نزدیک منبع است و نیاز به شبکه پیچیده و پرهزینه ندارد. • آب باران منبعی از آب را در شرایطی که منابع آب زیرزمینی یا منبعی با کیفیت مناسب در دسترس نیست مهیا می‌کند. • سختی آب باران در حد صفر بوده و کاربرد وسیعی برای مواردی که نیاز به آب سبک دارد ایجاد می‌کند. • آب باران فاقد سدیم است و برای آبیاری باغچه و مزارع منبعی مناسب است. • برداشت آب باران، جریان‌های سیلابی و همچنین منابع آلاینده غیر نقطه‌ای را کاهش می‌دهد. • هدررفت منابع آب سطحی کاهش یافته، بهره‌وری استفاده از منابع آب و نزولات جوی افزایش می‌یابد.

با توجه به بیان اهمیت، مزایا و ضرورت جمع‌آوری آب باران به‌عنوان منبعی برای تأمین آب مورد نیاز مصارف مختلف در مناطق روستایی و شهری اهداف جمع‌آوری آب باران شامل موارد زیر است:

- سازگاری با شرایط کم آبی و استفاده بهینه از منابع آب در دسترس و آب باران
- بهبود شرایط زندگی مردم ساکن در مناطق خشک و نیمه‌خشک
- مشارکت گسترده مردم بومی منطقه در مراحل طراحی، اجرا و نگهداری سیستم‌های مذکور
- جایگزین کردن منبعی از آب به جای استفاده از آب‌های
- زیرزمینی و تغذیه منابع آب
- تأمین آب برای مناطق دور افتاده و افزایش بهره‌وری کشاورزی در مناطق روستایی
- ایجاد اشتغال در حوزه کشاورزی و منابع طبیعی کشور و تأمین آب مورد نیاز
- کنترل و مهار رواناب‌ها و کاهش ریسک سیلاب و کاهش خسارات وارد شده به اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی، ساختمان‌ها، تأسیسات و راه‌ها
- کاهش ریسک خشکسالی و اثرات نامطلوب خشکی و کمبود آب و بهبود عملکرد محصولات کشاورزی

جمع‌آوری آب باران شامل مجموعه‌ای از روش‌های مختلف سنتی و نوین می‌باشد که دارای سابقه‌ای دیرینه است. مطالب زیادی در خصوص بحث جمع‌آوری آب باران با دیدگاه کارشناسی و فنی در مجلات معتبر علمی به چاپ رسیده است؛ اما هر یک از این مقالات تنها دیدگاه‌های خاصی از تکنیک استحصال آب در یک منطقه یا محیط‌زیست ویژه را پوشش می‌دهند و ارزش چندانی برای مجریان و دست‌اندرکاران عرصه‌های اجرایی ندارد. لذا هدف از این پژوهش ارایه چکیده‌ای جامع از روش‌های مختلف جمع‌آوری آب باران و بیان عوامل موثر و شرایط لازم جهت اجرای آنها

طبقه‌بندی روش‌های جمع‌آوری آب باران

حجم برنامه‌های جمع‌آوری آب باران به بارش منطقه (که شامل متوسط بارش در هر فصل، تغییرات سالانه بارش، توزیع بارش در فصل بارانی، شدت بارش و تعداد وقایع بارش در هر فصل) و ویژگی‌های خاک (مانند عمق خاک منطقه (عمیق بودن)، نوع خاک حوزه آبخیز (نرخ تولید رواناب آن) و کیفیت خاک (ظرفیت

برای استحصال آب در مناطق مختلف می‌باشد. در این مقاله بررسی سازه‌ها و روش‌های مختلف جمع‌آوری آب باران و تأمین آب با روش تحقیق کیفی و مطالعه و بررسی اسناد و مدارک کتابخانه‌ای انجام شده است. بدین ترتیب ابتدا یک طبقه‌بندی از روش‌های جمع‌آوری آب باران براساس سطح حوزه آبرگیر و شرایط مناسب جهت اجرای هر روش بیان شده است. سپس عوامل فنی، اقتصادی، سازمانی و اجتماعی موثر در اجرای پروژه‌های جمع‌آوری آب باران ذکر شده و در آخر روش‌های مختلف مختص به هر گروه براساس طبقه‌بندی انجام شده آورده شده است.

نگهداری بالا)) بستگی دارد. طبقه‌بندی سامانه‌های جمع‌آوری آب باران به روش‌های متفاوتی صورت می‌گیرد که رایج‌ترین نوع طبقه‌بندی براساس سطح آبرگیر شامل چهار گروه اصلی جمع‌آوری سیلاب، سطوح آبرگیر بزرگ، سطوح آبرگیر کوچک و جمع‌آوری آب باران از پشت بام‌ها می‌باشد. طبقه‌بندی سامانه‌های جمع‌آوری آب باران براساس سطح حوزه آبرگیر و عوامل موثر در اجرای هر گروه در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- طبقه‌بندی روش‌های جمع‌آوری آب باران براساس سطح حوزه آبرگیر و عوامل موثر در هر گروه (Munguambe و Ibraimo, ۲۰۰۷)

گروه	سیلاب	رواناب باران	پشت بام‌ها
جمع‌آوری سیلاب	سطوح آبرگیر بزرگ	سطوح آبرگیر کوچک	استراتژی
استراتژی	دریافت آب در خارج یا در منطقه	دریافت آب در منطقه	دریافت آب در مناطق مسکونی
آب و هوا	نیمه‌مرطوب خشک، خشک و نیمه‌خشک، مناطق خشک با رودخانه‌های فصلی و بارش‌های نامنظم و شدید	نیمه‌مرطوب خشک، خشک و نیمه‌خشک، اما پراکنده و کم، با توزیع فصلی	در همه اقلیم‌ها
حوزه	حوزه‌های بزرگ، حدفاصل بین تپه و اراضی زراعی در دشت	حوزه‌های کوچک	در منطقه، حوزه آبرگیر و منطقه هدف در یکجا قرار دارد
رواناب	کانال جریان	جریان ورقه‌ای و شیاری، جریان فصلی	جریان ورقه‌ای از پشت بام‌ها
ذخیره	ذخیره رطوبت در منطقه ریشه، تغذیه آب زیرزمینی	ذخیره رطوبت در منطقه ریشه، تغذیه آب زیرزمینی، تالاب‌ها، سد و مخزن و تانک	ذخیره رطوبت در منطقه ریشه، چاله‌ها، تراس‌ها
مصارف	مصارف مختلف مانند مصارف خانگی، برای شرب دام‌ها، تولید محصول، آب‌پاشی، بهبود رطوبت خاک	مصارف مختلف مانند مصارف خانگی، برای گیاهان زراعی، علوفه‌ای و درختان، بهبود رطوبت خاک و تغذیه آب زیرزمینی	مصارف مختلف مصارف خانگی، برای شرب دام‌ها، باغ‌ها، تغذیه آب زیرزمینی، آبیاری تکمیلی باغچه‌ها
مدیریت	جوامع بزرگ و جوامع محلی	جوامع محلی یا فردی	جوامع محلی یا فردی

سامانه‌های جمع‌آوری آب باران در مقیاس‌های مختلف برای یک مزرعه تا یک چشم‌انداز بزرگ مانند حوزه آبخیز قابل برنامه‌ریزی و اجرا است. در انتخاب روش جمع‌آوری آب باران قبل از هر چیز جنبه‌های فرهنگی و اجتماعی منطقه باید مورد توجه قرار گیرد، زیرا در موفقیت و شکست این روش‌ها تأثیر دارد. پس باید به خواست و علایق مردم و همچنین هزینه‌های لازم توجه خاصی

معطوف شود. علاوه بر ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در یک برنامه جمع‌آوری آب باران، رعایت جنبه‌های فنی که باعث پایداری می‌شود اهمیت بالایی دارد و باید مورد توجه قرار گیرد. جهت برنامه‌ریزی برای اجرای پروژه‌های جمع‌آوری آب باران باید عوامل فنی، اقتصادی، سازمانی و اجتماعی را در نظر گرفت که در جدول (۳) بیان شده‌اند (IFAD، ۲۰۱۱).

جدول ۳- عوامل فنی، اقتصادی، سازمانی و اجتماعی موثر در پروژه‌های جمع‌آوری آب باران (IFAD، ۲۰۱۱)

موارد عمومی و اجتماعی	امکان‌سنجی اجرا و معیارهای فنی
• شناسایی و درک مشکلات و نیازهای مردم منطقه • طراحی پروژه به صورت انعطاف‌پذیر و در مدت زمان واقع بینانه • شناسایی مقیاس پروژه و اینکه کدام روش اجرا شود • شناسایی و ساخت و اجرای پروژه براساس تکنولوژی موجود و به کمک ذی‌نفعان • اجرای روش‌های ساده و قابل مدیریت • تخصیص آب جمع‌آوری شده برای مصارف مختلف • توسعه فعالیت‌های معیشتی جدید و تولید منابع جدید جهت افزایش درآمد در میان استفاده‌کنندگان معیارهای اجتماعی و فرهنگی • در نظر گرفتن اختلافات فرهنگی و علایق محلی • گروه‌های مخالف اقتصادی و اجتماعی (زنان و خرده مالکان) • سطح فرهنگ و آگاهی‌های عمومی مردم	• بارش: مقدار، شدت، طول مدت، توزیع، تولید رواناب، نرخ تبخیر و تعرق • توپوگرافی زمین: شیب، طول شیب، اندازه و شکل حوزه آبخیز • نوع خاک: سرعت نفوذ، ظرفیت نگهداری آب، حاصلخیزی، عمق و بافت خاک • جمع‌آوری و ضریب رواناب برای تولید رواناب • کاربری اراضی حوزه: زراعی، غیرزراعی، مرتع، جنگل و ... • نیاز آبی گیاهان • سطح مکانیزاسیون: برای ایجاد و نگهداری سامانه جمع‌آوری آب باران • در دسترس بودن منابع محلی: مانند سنگ، زمین و ... • منابع آب در دسترس و اندازه خانواده‌ها به ویژه در جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام‌ها
امکان‌سنجی اقتصادی و معیارهای اقتصادی و مالی	عوامل سازمانی و معیارهای قانونی
• ارزیابی و تجزیه و تحلیل اثربخشی، هزینه‌ها و نسبت سود به هزینه • در نظر گرفتن مزایا و معایب روش‌ها • ارزیابی در دسترس بودن نیروی کار و مصالح مورد نیاز • در نظر گرفتن هزینه‌های نگهداری و تعمیرات سالانه سامانه‌ها • در نظر گرفتن حداقل و حداکثر درآمدهای حاصل از جمع‌آوری آب باران در فعالیت‌های مختلف	• نقش جمع‌آوری آب باران در پروژه‌های توسعه و استراتژی‌های ملی • تشویق کردن ذی‌نفعان به همکاری و مشارکت • رعایت حقوق قانونی و حقوق مالکیت اراضی و حقایقه‌ها • رعایت الزامات زیست‌محیطی و سازگاری با منطقه • توسعه همکاری‌های مشترک دولت با سازمان‌های مردم نهاد • آموزش و ظرفیت‌سازی مردم در مدیریت و ذخیره آب‌های استحصال شده • مدیریت پروژه، هماهنگی، نظارت و ارزیابی

۱- سیستم‌های جمع‌آوری آب باران با سطوح آبگیر کوچک

سیستم‌های آبگیر درون مزرعه‌ای طراحی نسبتاً ساده با صرف هزینه اندک داشته، به آسانی قابل اجرا بوده و سازگاری نسبتاً زیادی دارند. توانایی بیشتری در تولید رواناب نسبت به سطوح بزرگ دارند و فرسایش خاک را کنترل می‌کنند. سطوح آبگیر کوچک در هر شیبی و برای هر نوع محصولی قابل اجراست، اما نیاز به نگهداری مداوم و تحمل زحمات نسبتاً زیاد دارد. مهمترین سیستم‌های درون مزرعه‌ای شامل پشته‌های تراز، پشته‌های هلالی شکل، چاله‌های کوچک، حوضچه‌های کوچک رواناب، سطوح نواری، بندسار، تراس‌بندی روی خطوط تراز و ... است (جدول ۴).

۲- سیستم‌های سطوح آبگیر بزرگ (سیلابی)

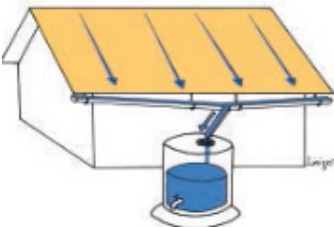
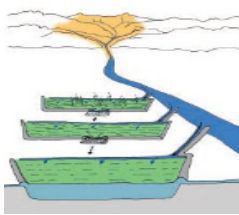
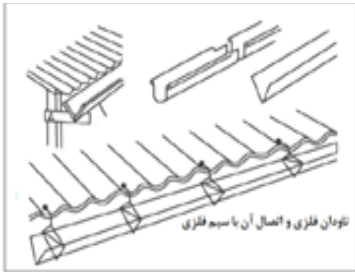
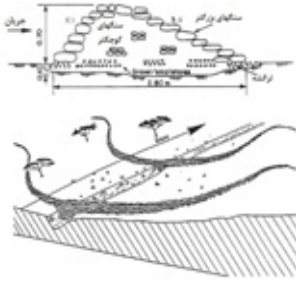
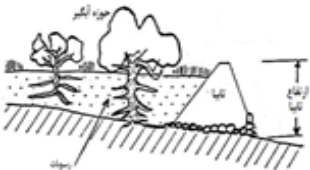
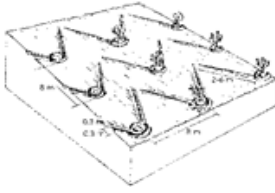
استفاده از سیلاب‌های تولیدی ناشی از ریزش‌های جوی کوتاه مدت با انحراف سیلاب‌ها از مسیرها و آبراهه‌ها و پخش آنها در اراضی کم شیب به منظور ذخیره رطوبت در پروفیل خاک برای زراعت دیم

است که در حال حاضر نیز استفاده می‌شود. آبیاری سیلابی به معنی مهار، پخش و بهره‌برداری از سیلاب در آبیاری می‌باشد که به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

الف) استحصال در داخل بستر سیلابی: در این روش از سیلاب در بستر رودخانه برای ذخیره در پروفیل خاک و گسترش در سطح اراضی با کاهش سرعت جریان آب و افزایش زمان نفوذ در خاک استفاده می‌شود. این روش به‌طور طبیعی یا توسط ساخت سدهای کوچک یا دایک^۲ در بستر رودخانه باعث کاهش سرعت جریان آب و افزایش ته‌نشینی رسوب شده، بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش رشد گونه‌های گیاهی و درختان میوه را به دنبال دارد. سازه خوشاب نمونه‌ای از این دسته است.

ب) با انحراف آب از مسیر طبیعی: خارج از بستر رودخانه‌ها آب را به اراضی مجاور منتقل و به مصرف کشت انواع محصولات مناسب می‌رسانند مانند بندسار و پخش سیلاب.

جدول ۴- طبقه‌بندی روش‌های جمع‌آوری آب باران

گروه	سیلاب	رواناب باران	پشت بام‌ها
	سطوح آبگیر بزرگ	سطوح آبگیر کوچک	پشت بام‌ها
	الف) استحصال در داخل بستر سیلابی	بانکت یا تراس‌بندی روی خطوط تراز	سیستم‌های جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام‌ها شامل الف) سطح آبریز جهت جمع‌آوری آب باران ب) سیستم انتقال شامل لوله‌ها و ناودان‌ها ج) مخزن ذخیره آب باران
			
	ب) استحصال با انحراف آب	پشته‌های هلالی شکل (نیم دایره‌ای)	سیستم انتقال شامل لوله‌ها و ناودان‌ها
			
	سدهای سنگی نفوذپذیر	پیتینگ (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، ۱۳۸۷)	پتانسیل عرضه آب جمع‌آوری شده از سطوح پشت‌بام‌ها است که به تعیین ظرفیت تانک ذخیره کمک می‌کند.
			$S = R \times A \times Cr$ S متوسط عرضه آب باران (M^3) R میانگین بارش سالیانه (mm/year) Cr ضریب رواناب A مساحت پشت بام
	سیستم‌های جسر (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، ۱۳۸۷)	حوضچه‌های کوچک جمع‌آوری رواناب	
			
	بندسار	سامانه‌های آبگیر لوزی شکل	با در نظر گرفتن طول متوسط دوره خشک می‌توان میزان مصرف حجم مخزن را از رابطه زیر محاسبه نمود (Machiwal، ۲۰۰۴):
			$V = (t \times n \times q) + ET$ V حجم مخزن (لیتر) t طول فصل خشک (روز) n تعداد افرادی که از تانک استفاده می‌کنند q میزان مصرف در واحد روز (لیتر) ET میزان هدررفت از طریق تبخیر/تعرق در دوره خشک
	سیستم خوشاب	سامانه‌های آبگیر ابرویی	
			

یکی از عمده‌ترین عوامل مهم در موفقیت پروژه‌های جمع‌آوری آب باران جلب مشارکت مردم و همسو نمودن آنها با سازمان‌های ذی‌ربط در جهت اجرای پروژه می‌باشد. محدودیت منابع مالی و اعتبارات دولت نیز از یک سو یکی از چالش‌های مهم در این زمینه می‌باشد؛ زیرا اجرای روش‌های استحصال آب باران معمولاً نیاز به نیروی کار زیادی دارد. یکی دیگر از چالش‌های مهم اجرای پایدار سامانه‌های استحصال آب باران مشکلات سازمانی و نهادی می‌باشد؛ عدم هماهنگی بین سازمان‌های ذی‌ربط و متولی، عدم

برنامه‌ریزی مدون و همچنین کمبود زیرساخت‌ها و اقدامات برای تسهیل مشارکت مردم می‌تواند عملکرد اجرای این پروژه‌ها را مختل نماید. در این میان ضرورت حضور نیروهای متخصص مختلف کمک شایانی در جلب مشارکت مردم و موفقیت اجرای این پروژه‌ها خواهد نمود.

استفاده از شیوه‌های نادرست استحصال آب، عدم تناسب طرح با پتانسیل‌های موجود و لحاظ نشدن شرایط منطقه‌ای و بومی، فردگرایی و عدم هماهنگی با تشکلهای گروهی، اختلافات محلی ناشی از چالش‌های قومی از مهمترین عوامل محدودکننده طرح‌های مشارکتی می‌باشد.

جمع‌بندی

پی‌نوشت

۱- خوشاب سازه‌ای است که با کمک سنگ و خاک و با دانش بومی بنا می‌شود که به کمک آنها می‌توانند سیل را مهار کنند و جهت استقرار خوشاب نیاز به دو شرط اساسی سیلاب و رسوب می‌باشد.

۲- در روستاهای سیستان و بلوچستان، در منطقه دشتیاری و اطراف آن، آب باران را در برکه‌ها و گودال‌هایی به نام هوتک جمع‌آوری می‌کنند که عمق آنها معمولاً از ۱ تا ۳ متر و حجم آنها از هزار تا ۳ هزار متر مکعب است.

۳- برای محافظت از سیلاب دشت‌ها و تأسیسات از سیلاب، می‌توان از خاکریزهایی موازی با رودخانه به نام دایک استفاده نمود که منجر به کاهش سرعت جریان و افزایش نفوذ می‌شوند.

منابع

- طباطبایی یزدی، ج.، قدسی، م.، سید حقایقی، س.ا. و رهنورد، م.ر. ۱۳۸۵. استحصال آب باران، روشی برای مدیریت بارندگی در مناطق خشک. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، ۳-۴ بهمن، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- حسینی، م. و روغنی، م. ۱۳۹۱. مقایسه روش‌های جمع‌آوری آب باران در سامانه‌های آبگیر لوزی شکل. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۶(۱۹): ۷-۱۸.
- چکشی، ب. و طباطبایی یزدی، ج. ۱۳۹۱. استحصال آب باران شیوه‌ای جهت استفاده از دانش بومی به منظور تأمین آب در مناطق خشک. اولین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، آذر، مشهد.
- صادق‌زاده ریحان، م.ا.، زارع حق، د. و نیشابوری، م.ر. ۱۳۹۲. ارزیابی روش‌های استحصال آب باران در افزایش رطوبت خاک و رشد نهال پسته. نشریه دانش آب و خاک، ۲۳(۴): ۲۰۳-۲۱۴.

با توجه به ذاتی بودن پدیده خشکی در ایران استفاده بهینه از آب موجود و کنترل رواناب و استفاده از آنها برای اهداف خاص، راهبردی اساسی برای رفع کم‌آبی در کشور است. افزایش روز افزون تقاضا برای آب نه فقط برای کشاورزی بلکه برای سایر اهداف با توجه به تغییرات و پراکندگی بارش در فصول مختلف و لزوم آب در فصل کشاورزی، اهمیت استحصال آب را در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله ایران به خوبی نشان می‌دهد. مرور سوابق و پژوهش‌های انجام شده نیز نشان دهنده این است که جمع‌آوری و ذخیره آب باران به منظور مصارف مختلف در سراسر دنیا از جمله اقداماتی است که برای مدیریت منابع آب و تأمین آب مورد نیاز برای اهداف مختلف از جمله کشاورزی، تغذیه آب زیرزمینی، مصارف خانگی و ... انجام می‌شود. بدین منظور روش‌های مختلف سنتی و نوینی توسعه داده شده‌اند که بسته به سطح حوزه آبگیر و حجم آب مورد استحصال به دو دسته سطوح آبگیر کوچک و بزرگ تقسیم‌بندی شده‌اند. در این مقاله طبقه‌بندی براساس سطح آبگیر شامل چهار گروه اصلی جمع‌آوری سیلاب، سطوح آبگیر بزرگ، سطوح آبگیر کوچک و جمع‌آوری آب باران از پشت بام‌ها به تفصیل بیان شد. از طرفی انتخاب روش اجرای پروژه‌های جمع‌آوری آب باران باید با توجه به شرایط طبیعی و آب و هوایی منطقه، عوامل فنی، اقتصادی، سازمانی و اجتماعی در هر منطقه صورت گیرد تا علاوه بر حصول مزایا و استفاده بهینه از آب باران به عنوان یک منبع آب اضافی در مناطق شهری و غیرشهری، پایداری سامانه نیز تأمین شود. لحاظ نمودن این عوامل در هنگام طراحی و اجرای هر یک از روش‌ها بسیار با اهمیت و متضمن موفقیت یا شکست اجرای پروژه می‌باشد. بنابراین با توجه به اهمیت جمع‌آوری آب باران، انجام تحقیقاتی جدید برای تعیین کمیت ارزش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی استحصال آب باران و نحوه تخصیص آن برای مصارف مختلف نیاز است.

- Engineering, University Eduardo Mondlane. 37pp.
- Machiwal D. 2004. Water Harvesting Structures Planning, Design and Construction. Water Resources Management, 18(3): 219-235.
- Krishna H. 2003. An overview of rainwater harvesting systems and guidelines in the United States. Proceedings of the First American Rainwater Harvesting Conference, Aug 21-23, Austin (TX).
- Samuel M.P. and Mathew A.C. 2008. Rejuvenation of water bodies by adopting rainwater harvesting and groundwater recharging practices in catchment area. The 12 th World Lake Conference, 766-776.
- Tuinhof A., van Steenberg F., Vos P. and Tolck L. 2012. Profit from Storage: The Costs and Benefits of Water Buffering. 3R Water Secretariat. Wageningen, The Netherlands.
- Tavakoli A.R. and Oweis Th. 2011. Improving rain water productivity by micro catchment water harvesting system at Northwest of Iran. ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage, 15-23 October, Tehran, Iran.
- Yosef B.A. and Asmamaw D. K. 2015. Rainwater harvesting: An option for dry land agriculture in arid and semi-arid Ethiopia. Water Resources and Environmental Engineering, 7(2): 17-28.
- Zingiro A., Okello J.J. and Guthiga P.M. 2014. Assessment of adoption and impact of rainwater harvesting technologies on rural farm household income: the case of rainwater harvesting ponds in Rwanda. Environment, Development and Sustainability, 16: 1281-1298.
- سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری. ۱۳۸۷. دستورالعمل اصلاح مراتع با استفاده از روش‌های ذخیره نزولات آسمانی. ۶۰ صفحه.
- رشیدی مهرآبادی، م.ج. و ثقفیان، ب. ۱۳۹۱. معرفی سیستم سطوح آبگیر پشت بام ساختمان‌های مسکونی در شهرها. اولین کنفرانس ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۲۲-۲۳ آذر ماه، مشهد.
- محمدی نشلی، ی. و عزیزی، ع. ۱۳۹۰. طراحی و ساخت سیستمی جهت جمع‌آوری آب باران در باغات و مزارع کشاورزی. اولین همایش ملی چالش‌های منابع آب و کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.
- قدوسی، ج. ۱۳۷۶. در جستجوی آب: نگاهی به سیستم‌های سطوح آبگیر باران در ایران. وزارت جهاد سازندگی با همکاری شهرداری تهران، ۱۰۸ صفحه.
- Borthakur S. 2007. Traditional rain water harvesting techniques and its applicability. Traditiona Knowledge, 8(4): 525-530.
- Derib S.D., AC, Assefa T., Berhanu B. and Zeleke G. 2009. Impacts of micro-basin water harvesting structures in improving vegetative cover in degraded hillslope areas of north-east Ethiopia. The Rangeland Journal, 31(2): 259-265.
- Fraize W. and Lewis J. 1974. Rainwater harvesting: model-based design evaluation. Memorial University of Newfoundland. 55 pp. International Fund for Agricultural Development (IFAD). 2011. Rural Enterprises Project – Phase II. 220 pp.
- Munguambe P. and Ibraimo N. 2007. Rainwater harvesting technologies for small scale rainfed agriculture in arid and semi-arid areas. Department of Rural Engineering, Faculty of Agronomy and Forestry

Recognition of Qanat and Opening the Way for Sustainable Development in Kariz Civilisation, Case Study: Zarch Qanat-Yazd

Kh. Bouzarjomehri¹, S.S. Khatami^{2*}

1,2- Associate professor & PhD Student of Geography and Rural Planning, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: seyyedehsomayeh.khatami@stu.um.ac.ir)

Received: 07-03-2017

Accepted: 12-08-2017

بازشناسی قنات، راهگشای توسعه پایدار در "تمدن کاریزی"، مطالعه موردی: قنات زارچ، استان یزد

خدیدجه بوزرجمهری^۱، سیده سمیه خاتمی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه فردوسی مشهد.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: seyyedehsomayeh.khatami@stu.um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۲۱

Abstract

In arid lands where agriculture is dependent on irrigation, water shortage has been one of the main motivations for many innovations, such as Qanats, which play an important role in maintaining and developing civilisation on the Iranian plateau. What is known today as sustainable development, was actually understood and applied by our ancestors. Their method of sustainable use of water resources from these areas can be a good example to solve recent crises. The present research aims to answer the question of how and under what conditions a Qanat was able to cause human adaptation to nature and sustainable balance? To this end, the current research is carried out using qualitative content analysis and the MAXQDA software. The study area is the Zarch Qanat located in a large area of Yazd province. The study population includes 16 specialists in Qanat. The results indicate that all aspects of the indigenous knowledge of Qanat have been established based on natural features in order to achieve economic goals. Through this development, a social system was established which shows the existence of local planning in line with sustainable development.

Keywords: Indigenous knowledge, diggers, Kariz civilisation, Content analysis.

چکیده

در سرزمین‌های خشک که حیات و بقای کشاورزی به آب و آبیاری وابسته است، کمبود آب از مهمترین انگیزه ابداعات و نوآوری‌های فراوان از جمله حفر قنات بوده است که نقشی انکارناپذیر در حفظ و گسترش تمدن در فلات ایران داشته است. آنچه امروزه توسعه پایدار می‌نامند، نیاکان ما در عمل درک کرده و به کار بسته بودند. آنها نظامی برای بهره‌برداری پایدار از منابع آب و خاک این مناطق ایجاد کرده‌اند که می‌تواند سرمشق مناسبی برای حل بحران‌های اخیر باشد. این تحقیق درصدد پاسخگویی به این پرسش است که چگونه و تحت چه شرایطی قنات توانسته است سازگاری انسان با طبیعت و تعادل پایدار را سبب شود؟ بدین منظور و با توجه به ماهیت پژوهش از روش تحقیق کیفی تحلیل محتوا و نرم افزار Maxqda استفاده شده است. محدوده مورد مطالعه قنات زارچ است که در پهنه وسیعی از استان یزد واقع شده است. جامعه مورد مطالعه شامل ۱۶ نفر از خبرگان قنات و مقنیان هستند که اطلاعات آنان تجزیه و تحلیل شده است. نتایج حاکی از آن است که همه ابعاد دانش بومی قنات‌شناسی آنان متأثر از ویژگی‌های طبیعی و جهت دستیابی به اهداف اقتصادی شکل گرفته است و در این مسیر نظامی اجتماعی پایه‌ریزی شده که نشانگر وجود نظام برنامه‌ریزی محلی در راستای توسعه پایدار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دانش بومی، مقتی، تمدن کاریزی، تحلیل محتوا.

در سرزمین‌های خشک و نیمه خشک که حیات و بقای کشاورزی به آب و آبیاری وابسته است، کمبود آب مهمترین انگیزه ابداعات و نوآوری‌های فراوان از جمله حفر قنات، چاه‌ها و احداث آب‌بندها و ... است (پاپلی یزدی و لباف خانیکی، ۱۳۷۷). قنات مجرای زیرزمینی است که آب زیرزمینی را به سطح زمین هدایت می‌کند و تاریخ‌نویسان شرق و غرب آن را تکنیک ملی ایرانیان در آبرسانی شهرها و کشتزارها می‌دانستند و از نظر فن مهندسی آن را هم پایه و یا مهمتر از ساختمان اهرام مصر می‌دانند (منزوی، ۱۳۶۷؛ گوبلو، ۱۳۷۱). در نظریه شیوه تولید آسیایی مارکس و انگلس، به عامل اقلیم و جغرافیا و مسئله خشکی و کم آبی جوامع شرقی و آسیایی تأکید شده است. فرض بر این است که با توجه به کمبود آب و بارندگی در شرق آسیا، زمین به خودی خود بی‌ارزش است و تنها با وجود آب است که ارزش واقعی می‌یابد. نایابی یا کم‌یابی آب، وجود تأسیسات و شبکه‌های مصنوعی آبیاری و آبرسانی را الزام‌آور می‌سازد و از آن جا که ساختن و نگهداری و بهره‌برداری از چنین تأسیساتی از توان و امکانات یک یا چند تن بیرون است و به کار گروهی و صرف توان و امکانات و سرمایه‌های گزاف و کلان نیاز دارد، وجود یک تشکیلات مدیریتی برای آب ناگزیر می‌شود و بر این اساس دولت هیدرولیک یا آبی به وجود می‌آید (Wittfogel, ۱۹۵۷). شرق‌شناسان، متفکران و جامعه‌شناسان غربی نیز از تمدن و دولت شرقی و به‌ویژه ایرانی به عنوان «تمدن و دولت آبی» یاد کرده‌اند. آنها درباره اهمیت آب و قنات در ایران این‌گونه گفته‌اند: آب ثروت ایران است (بایندر، ۱۳۷۰). اگر باران نبارد، همه چیز در ایران نابود است (لندور، ۱۳۸۸). کشاورزی در ایران به علت خشکی و کم‌آبی، به احداث قنات‌ها و بندها و دیگر تأسیسات مصنوعی آبیاری نیاز مبرم داشته، بدون آن کاملاً ناممکن است (اولیویه، ۱۳۷۱؛ دیولافوا، ۱۳۸۵؛ فوروکاوا، ۱۳۸۴؛ موریه، ۱۳۸۶؛ پولاک، ۱۳۶۸؛ هدین، ۱۳۸۱) و خرید و فروش ملک و زمین در ایران براساس اندازه سهم آب آن انجام می‌شود (فریزر، ۱۳۶۴؛ بنجامین، ۱۳۶۳). در فلات ایران داستان شروع کشاورزی متفاوت از همه جهان بوده است، زیرا ابتدا باید آب را از زمین بیرون بیاورند و سپس به کشاورزی بپردازند. این آب احکام خاصی داشت. استخراج آن فوق‌العاده پرهزینه و حجم آن فوق‌العاده محدود و غیرقابل تغییر بوده است. بنابراین حجم آب وابسته به نزولات آسمانی و البته خارج از کنترل انسان بوده است.

از این رو قنات، نقشی انکارناپذیر در حفظ و گسترش تمدن در فلات ایران داشته است (خاموشی، ۱۳۷۲) و در دوره‌های باستانی همچون هخامنشیان، اشکانیان و ساسانیان، موجودیت قنات، شکل‌دهنده سیستم آبرسانی حکومت‌ها در نواحی خاصی بوده است (باقری، ۱۳۷۹). از سویی دیگر احداث بندسار و استحصال سیلاب و رسوب‌گیری از آن نیز بستر مناسبی برای پرورش گیاهان

در روی اراضی درشت‌دانه بوجود آورده است. در اثر سیل-گیری بندسارهای بالادست، آبدی قنات افزایش یافته و استفاده از آب مازاد قنات برای آبیاری تکمیلی بندسارهای پایین‌دست نیز انجام می‌شده است که نشان‌دهنده وجود رابطه‌ای درونی بین این دو شیوه است. جالب آنکه قدمت تغذیه آب‌های زیرزمینی با آبیاری سیلابی مخروط‌افکنه‌ها و استفاده از بندسارها، در ایران به ۳۰۰۰ سال پیش، یعنی قبل از ابداع قنات می‌رسد (عرب خدری و حکیم‌خانی، ۱۳۸۲؛ کوثر، ۱۳۷۲).

به این ترتیب نیاکان ما نظامی برای بهره‌برداری پایدار از منابع آب و خاک این مناطق ایجاد کرده‌اند که می‌تواند سرمشق مناسبی برای حل بحران‌های اخیر از قبیل فرسایش، کاهش سطح زیرکشت، شورشدن آب‌های زیرزمینی، شورشدن خاک‌ها، هجوم شن‌های روان، گسترش بیابان‌ها و حتی مشکل بیکاری باشد و معشت پایدار را فراهم کند (غفاری‌پور، ۱۳۷۰؛ بصیرپور و موسوی، ۱۳۷۴؛ سرزیم و میراب‌زاده اردکانی، ۱۳۷۴). یک معیشت هنگامی پایدار است که بتواند با فشارها و شوک‌ها سازگار شده و بهبود یافته، قابلیت و دارایی‌های خود را تقویت یا حفظ کند و فرصت‌های معیشت پایدار را برای نسل کنونی و آینده و معیشت دیگران در سطوح محلی یا ملی، در کوتاه‌مدت یا بلندمدت ایجاد کند (جمعه‌پور و میرلطفی، ۱۳۸۹). از سویی دیگر توسعه هماهنگ با امکانات محیط، توجه به سهم آیندگان، عدم تخریب ذخائر زیست‌محیطی و فرهنگی از مهمترین ویژگی‌هایی است که می‌تواند قنات را به عنوان یکی از عناصر مهم توسعه پایدار برجسته نماید (لباف خانیکی و سمساریزدی، ۱۳۹۴). لذا آنچه امروزه توسعه پایدار می‌نامند نیاکان ما در عمل درک کرده و به کار بسته بودند (Semsar Yazdi, ۲۰۱۱). مشکلاتی که در سال‌های اخیر در رابطه با کاهش نفوذپذیری و حتی کور شدن حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در اثر رسوب‌گذاری گزارش شده است، در بندسارها دیده نمی‌شود و بحران‌هایی که به واسطه حفر چاه‌های عمیق بر آب‌های زیرزمینی حاکم شده است در گذشته علی‌رغم چندین سده بهره‌برداری با قنات مشاهده نشده است.

«تمدن کاریزی»^۱ در ابعاد فضایی خود مجموعه‌ای از دانش تجربی در قالب فناوری سنتی همراه با دانش ذهنی به‌عنوان آداب و رسوم یا فرهنگ می‌باشد (پاپلی یزدی، ۱۳۷۹). بازخوانی این فضای متنی، در نشانه‌شناسی قنات به‌عنوان یکی از روش‌های بهره‌برداری از سفره‌های آب زیرزمینی به کمک دهلیزهای زهکشی آب است (گوبلو، ۱۳۷۱) که در پیرامون آن ساختاری اجتماعی- فرهنگی در چارچوب گروه‌ها و قشرها، آداب و سنن، شیوه‌های متعدد آبیاری سنتی، ابداعات و ابتکارات در جمع‌آوری و صرفه‌جویی آب شکل گرفته است (صفی‌نژاد، ۱۳۶۸). از این رو است که تنها با تکیه بر بازشناخت تفکر سنتی، تداعی هستی‌شناختی «تمدن کاریزی» قابل تصور است. به گونه‌ای که مناطق بسیاری را می‌توان یافت که دارای شرایط آب و هوایی حاشیه کویر ایران می‌باشند، اما در بسیاری از

آن مناطق حفر قنات هرگز ابداع نشده است. این خود نشان از آن دارد که در فراسوی ساختار فنی قنات، آنچه که به پایداری و دوام «تمدن کاریزی» کمک نموده، بازتابش هست-بودن‌هایی می‌باشد که در بطن این تمدن، ریشه در صورت‌های اسطوره‌ای، سمبولیک و مذهبی تقدس آب داشته و هویتی را در پیرامون انتقال خود به وسیله قنات در جوامع استفاده‌کننده از آن شکل می‌داده است که دوام خرده «تمدن کاریزی» را در بطن تمدن بزرگ ایرانی سبب شده است (پاپلی یزدی، ۱۳۷۹).

«تمدن کاریزی» در چارچوب رفتارگرایی جغرافیایی، بالاترین بازتولید فضامندی است که قنات و ساختار پیرامون آن را در قالب شهر و روستا شکل داده است. از هم‌کنش‌های اجتماعی این ساختار، سبکی شکل گرفته که در قالب تعاون، همیاری، مدیریت مردمی، آداب و رسوم و باورهای ناشی از قنات نمود یافته (صداقت‌کیش، ۱۳۷۹). هم‌زیستی مسالمت‌آمیز را بین انسان و محیطش فراهم ساخته و این الگوی پایدار، پویایی و توسعه را برای آن به ارمغان آورده است. اما در قرن اخیر ورود فناوری‌های نوین، چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق به جای قنات که خود متأثر از علل و شرایطی نمود یافته بود^۲، باعث افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی، به هم خوردن تعادل بیلان آبی و در نتیجه فقر آبی شد. آبادی‌های زیادی رو به ویرانی نهادند و کشاورزان مجبور به مهاجرت شدند. بدین ترتیب سامان اقتصادی و اجتماعی جوامع روستایی با تهدید شدیدی مواجه شدند و ناپایداری منابع طبیعی و سطوح اجتماعی-اقتصادی، نواحی روستایی را آسیب‌پذیر ساخت.

از سال ۱۳۳۰ تا ۱۳۹۰ جمعاً ۵۷/۷۵ متر افت سطح آب زیرزمینی در یزد ایجاد شده و همین موضوع منجر به خشکیدن قنات‌هایی شده است که آب زیرزمینی را از یزد و مناطق هم‌جوار آن به مناطقی دارای رقوم ارتفاعی پایین‌تر منتقل می‌کرده است (سمساریزدی، ۱۳۹۳). این مسئله منجر به فقر منابع آبی و ناپایداری‌های زیست محیطی و مهاجرت از روستاها شده است. حال برای رفع این ناپایداری چه باید کرد؟ راه‌گشای توسعه پایدار در «تمدن کاریزی» چه خواهد بود؟

با اندک مذاقه‌ای در گذار این تمدن، به هویتی می‌رسیم که قنات راهرو انتقال آن بود و ساختار و سبک پایداری را پیرامون آن رقم می‌زد. هویتی که با خشکیدن قنات، فرسایش یافت و در پی آن ساختار اقتصادی-اجتماعی حاکم بر مکان‌ها متلاشی شد. توازن منابع به هم ریخت^۳ و در این میان نظام‌ها، آداب و رسوم و باورها فراموش شدند. در ادامه به خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته پیرامون قنات اشاره شده است. این تحقیقات را می‌توان در ۵ گروه دسته‌بندی کرد که شامل معرفی قنات و روند شکل‌گیری و تکامل آن، دلایل از بین رفتن قنات و پیامدهای منفی و آثار مثبت قنات و احیاء آنها است.

پیرامون معرفی قنات و روند شکل‌گیری و تکامل آن می‌توان به

محققانی از جمله کرجی (۱۳۴۵)، ناجی (۱۳۵۲)، منزوی (۱۳۶۷)، گوبلو (۱۳۷۱)، خاموشی (۱۳۷۲)، کوثر (۱۳۷۲)، لباف خانیکی (۱۳۹۴)، لباف خانیکی و سمسار یزدی (۱۳۹۴) و Arzani (۲۰۰۳) اشاره کرد. در مورد دلایل از بین رفتن قنات، شیرانی و همکاران (۱۳۸۵)، عدم تملک خوانین و از بین رفتن نظام مدیریت آب و عدم مشارکت مردم در مرمت و بازسازی قنات را عنوان کرده‌اند. در حالی که رحمانیان و میرزایی (۱۳۹۱) براساس گزارش سفرنامه‌نویسان غربی، پیشامدهای طبیعی و تاریخی، استبداد و بی‌قانونی و بحران مدیریت و یورش ایلات و عشایر داخلی و مرزی را از جمله دلایل از بین رفتن قنات و منابع آب زیرزمینی دانسته‌اند.

گروهی دیگر از محققان پیامدهای منفی از بین رفتن قنات را بررسی کرده‌اند که می‌توان از مطالعه Bazzi (۲۰۱۵) پیرامون چالش‌های پیش روی قنات فردوس نام برد. از جمله پیامدهای منفی از بین رفتن قنات نشست زمین (هاشمی سهی، ۱۳۸۴)، آلودگی منابع آب (رهبری و افشار اصل، ۱۳۸۴) و تخلیه روستا (عباسی و همکاران، ۱۳۹۲) است.

آثار مثبت قنات شامل آثار زیست محیطی مطلوب (ابی‌زاده، ۱۳۸۹)، توانمندی و مشارکت در راستای تحقق توسعه پایدار (فداکار داورانی و سام آرام، ۱۳۸۹) و نظام بهره‌برداری پایدار (عرب خدروی و حکیم‌خانی، ۱۳۸۲؛ پاپلی یزدی و لباف خانیکی، ۱۳۷۷؛ Agazadeh, ۲۰۱۵؛ Haeri, ۲۰۰۳) می‌باشد.

در مورد احیاء قنات بوستانی و انصاری (۱۳۹۲)، غفاری‌پور (۱۳۷۰)، بصیرپور و موسوی (۱۳۷۴)، سرزعیم و میراب‌زاده اردکانی (۱۳۷۴) و لباف خانیکی (۱۳۹۴) به لزوم توجه مجدد به قنات و رفع مشکلات آن و نیز کاربست فرصت‌های نوظهور مانند گردشگری جهت احیاء قنات تأکید داشته‌اند.

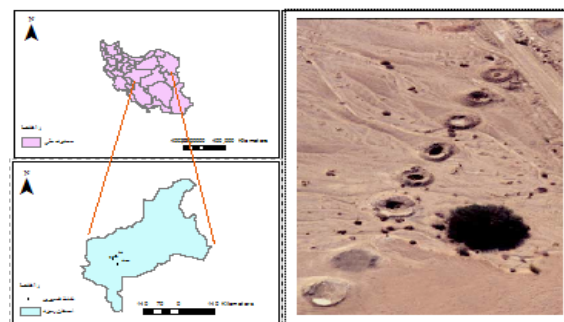
بررسی این منابع که از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۴ در دسترس بوده است، حاکی از مطالعات وسیع پیرامون قنات، نقش مثبت آن در روند توسعه، علل از بین رفتن قنات و پیامدهای منفی نابودی آن و نیز چگونگی احیاء قنات می‌باشد. اما در هیچ‌کدام از این مقالات به دانش بومی و سازمان قنات از دید خود مقنّیان پرداخته نشده است. لذا در این مقاله نقش قنات در توسعه پایدار از نگاه مقنّیان بررسی و به شیوه کیفی تعریف و تحلیل شده است. بر این اساس می‌توان گفت برای دستیابی به توسعه پایدار در «تمدن کاریزی» باید قنات و دانش و نظامی را که مبتنی بر آن شکل یافته، شناخت. به‌ویژه این که امروزه عدم توجه به قنات و دانش بومی مقنّیان و بهره‌برداران از قنات، منجر به زدودن انگیزه حفظ و نگهداری قنات و خارج شدن حرفه مقنّی‌گری از مدار امور اقتصادی و اجتماعی شده است. این تحقیق درصدد پاسخگویی به این پرسش است که چگونه و تحت چه شرایطی قنات توانسته است سازگاری انسان با طبیعت و تعادل پایدار را سبب شود؟ در این راستا، قنات زارچ که در پهنه وسیعی از استان یزد واقع شده است، به عنوان نمونه مطالعه شده است.

با توجه به ماهیت پژوهش و بازخوانی قنات در «تمدن کاریزی»، تحلیل محتوا، بهترین روش برای دستیابی به حل مسائل طرح شده است؛ لذا به منظور بازشناسی قنات در قالب یک مدل، از روش تحلیل محتوا استفاده شده است. در این روش پس از جمع‌آوری اطلاعات، داده‌ها از طریق تحلیل محتوایی واکاوی شدند و طی مراحل کدگذاری باز^۴، کدگذاری محوری^۵ و کدگذاری انتخابی^۶ طبقه‌بندی شدند. از آنجا که در این روش حجم وسیعی از داده‌های کیفی (معانی، واژه‌ها و کلمات) را در اختیار داریم، جهت سهولت در تحلیل داده‌ها و افزایش دقت از نرم افزار مکس کیودا^۷ استفاده شده است.

جامعه مورد مطالعه شامل ۱۶ نفر از خبرگان قنات و مقنن‌ها هستند که نظرات آنها در کتاب تجربیات خبرگان قنات توسط علی اصغر سمسار یزدی (۱۳۸۹) مدون شده است.

منطقه مورد مطالعه

قنات زارچ بر پهنه وسیعی از جغرافیای یزد یعنی از حوالی فهرج آغاز شده و پس از عبور از روستاهای خودیک، دهنو، قاسم‌آباد و اکرمیه وارد شهر یزد شده و از زیر محلات مختلف شهر از جمله میدان مرکزی شهر به نام میدان امیر چخماق عبور می‌کند. این قنات پس از طی بازار اصلی شهر و مسجد جامع، از شهر یزد خارج شده و مسیر خود را به سمت شهر زارچ ادامه می‌دهد. در شکل (۱) وضعیت استان یزد در ایران و محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه در استان یزد و قنات زارچ

هدف اصلی از احداث قنات زارچ، دسترسی به منبع آب زیرزمینی و انتقال آن به سطح زمین با استفاده از جریان ثقلی آب بوده است. در گذشته از آب قنات برای کشاورزی، شرب انسان و دام و همچنین فعالیت‌های صنعتی استفاده می‌شده است. ولی اکنون فقط به مصرف کشاورزی می‌رسد. اراضی تحت شرب قنات که تا چندی پیش بخش عمده آن هنوز پابرجا بود، حدود ۳۰۰ هکتار تخمین زده می‌شود و این نشان‌دهنده آبدهی بسیار مساعد قنات در گذشته است. قنات دارای سه شاخه به نام‌های شور، شیرین و ابراهیم خویدکی

است که در شرایط فعلی شاخه شور آن فعال بوده و شاخه‌های دیگر به علت افت سطح آب زیرزمینی خشک شده‌اند. طول مسیر اصلی قنات همراه با شاخه‌های آن حدود ۸۰ کیلومتر بوده و تعداد میله چاه‌های آن بیش از هزار حلقه تخمین زده می‌شود. آبدهی قنات در بهار سال ۱۳۸۰ حدود ۳۰ لیتر در ثانیه بوده و حدود صد هکتار از اراضی را مشروب می‌ساخته است که نوع کشت این اراضی عبارت از گندم، یونجه، صیفی‌جات، انار و پسته بوده است (سمسار یزدی، ۱۳۹۳). اما به دلیل حفر بی‌رویه چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در حریم آبی قنات، آبدهی آن به شدت کاهش یافته است.

یافته‌ها

سوالات طرح شده در این مقاله گویای تلاشی است جهت یافتن رد پای یک راه حل برای رفع ناپایداری‌ها، حفظ منابع طبیعی و پایداری عرصه زیست. اینکه خواسته‌ایم راه حل را در گذشته بیابیم، به هیچ روی به معنای تحجر نیست. که اگر اینگونه بود اهرام مصر و قداست آن در قاره سیاه، مباحثات فرانسوی‌ها به برج ایفل، فخر ایرانیان به تخت جمشید و چل‌ستون و... بزرگترین تحجر بود. بر عکس، اگر برای اندک زمانی، ساختار و سازمان کشورهای توسعه‌یافته را به تماشا بایستیم، خواهیم دید که آنها اکنون اهرام و برج و بارو نمی‌سازند، اما همه آداب و رسوم و آیین و فرهنگ آن را در قالب نماد و نشانی حفظ کرده‌اند. فرهنگی که روزی باعث ساخت این بناها شد، امروز آنها را به عصر پست مدرن و فراپست مدرن رسانده است.

این مقدمه از آن جهت بیان شد که یادآور شویم بازشناسی قنات به معنای روی آوردن دوباره به حفر قنات نیست. بنا بر گفته‌های کارشناسان و خبرگان قنات (مقنن‌ها)، قنات بعد از اصلاحات ارضی و حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و بحران خشکسالی، دیگر برای پاسخگویی به نیازهای عصر حاضر کافی و مقرون به صرفه نیست. اما بی‌توجهی به قنات، رها کردن و فراموش کردن آن بحرانی بر بحران‌های موجود خواهد افزود. بزرگترین بحران، از بین رفتن فرهنگی است که قنات براساس آن شکل گرفته و منابع آبی را در پهنه خشک فلات ایران مدیریت کرده، پایداری را به ارمغان آورده است. فرهنگی که در آن روزگار، سازه قنات را ایجاد کرد، امروز نیز برای دستیابی به پایداری، شرط لازم است.

قدر مسلم چشمه‌ها نقش انکارناپذیری در ایجاد قنات داشته‌اند. چگونگی ساختار چشمه و بیرون آمدن آب از دل زمین، فکر حفر قنات برای دستیابی به منابع آب زیرزمینی را سبب شده است. آنگونه که افتادن سیب از درخت منجر به کشف نیروی جاذبه توسط نیوتن شد. چشمه، راه آب را برای نیاکامان نمایان ساخت و آنها با حفر قنات آب را به روی زمین آوردند (لباف خانیکی، ۱۳۹۴). لذا بهتر است اکنون نیز از طریق بازشناسی قنات و دانش و فرهنگ

نهفته در متن آن، ردپای گم شده توسعه پایدار را بیابیم و با توجه به عرصه زیست و دانش بومی خودمان، راهکاری برای پایداری و حفظ منابع و محیط زیست مان ارائه دهیم.

یافته‌های حاصل از تحلیل محتوایی دانش مقنّیان و تجارب آنها در ساخت قنات حاکمی از آن است که دانش بومی مقنّیان شامل سه رده فنی، اقتصادی و اجتماعی است که در ادامه تشریح شده است.

الف-دانش فنی

دانش فنی مقنّیان در زمینه ساخت قنات و حفاظت آن بسیار غنی است که حاصل سال‌ها تجربه بوده است. این دانش را می‌توان به ۵ دسته کد محوری شامل: شناسایی محل مناسب حفر قنات، انتخاب مسیر گمانه، محاسبه طول قنات، محل حفر میله چاه و تعیین حریم قنات تفکیک کرد. مشخصات دقیق‌تر آنها را می‌توان از کدهای باز جدول (۱) که از مصاحبه‌های مقنّیان استخراج شده، دریافت کرد.

جدول ۱- دانش فنی مقنّیان در ساخت و حفاظت قنات

کد انتخابی	کد محوری	کد باز
دانش فنی ساخت قنات	شرایط و محل مناسب حفر قنات	- شیب ملایم داشته باشد - با کوه فاصله نسبتاً زیادی داشته باشد - در جایی حفر شود که اطرافش دشت و بیابان وسیع باشد - مناطقی که رودخانه خشک و قدیمی از آنجا عبور می‌کند و شنزار و ماسه‌زار است
	انتخاب مسیر گمانه	- در مسیر بوته‌های بیابانی باشد - مسیری که دارای بوته‌های بیابانی سرسبزترند، انتخاب شود - با در نظر گرفتن محل اراضی که در آینده باید مزرعه شود و قرار داشتن قنات‌های اطراف و شیب منطقه و مسیر جریان آب زیرزمینی و وضع دامنه کوه‌های اطراف - جایی که شیب ملایمی داشته باشد
	محاسبه طول قنات	- طول قنات دو برابر عمق چاه باشد - از محل حفر اولین گمانه به سمت پایین ترازکشی انجام می‌شود تا محل رو آمدن آب مشخص گردد - از روی شیب زمین مشخص می‌شود - در سال‌های خشکسالی، خشکه کار قنات بیشتر می‌شود
	محل حفر میله چاه	- در انتخاب حفر میله چاه از روش راستی دیدن ^۸ استفاده می‌شود - با کمک دو نفر در بالا و پایین میله چاه راهروی قنات مستقیم حفاری می‌شود
	تعیین حریم قنات	- حریم قنات حدود ۱۰۰۰ متر بالاتر از پیشکار قنات می‌باشد - اندازه تقریبی ۱۵۰ متر از دو طرف اولین گمانه برای تعیین حریم مناسب است - بستگی به جنس خاک و شن منطقه دارد. هر قدر منطقه گلی باشد حریم هم می‌تواند کمتر شود و ضرری به قنات مجاور ندارد. - در زمین‌های شنزار حریم ۸۰۰ متر می‌باشد - در منطقه گلی و دارای خاک‌های دانه ریز و رس ۵۰۰ متر حریم هم کافی است.
حفاظت قنات	جلوگیری از نفوذ آب‌های سطحی	- میله چاه را با طوقه بزرگی مسدود می‌کنند - میله چاه‌ها را در مسیر سیل، سیل‌بند می‌کنند - باید به وسیله تخته سنگ‌های پهن چاه را مسدود کرد و به اصطلاح کمرگیر کرد - چاه‌ها را هم از سطح زمین یک متر یا دو متر بالاتر می‌آورند
	جلوگیری از ریزش میله چاه	- استفاده از تخته چوب و خار و خاشاک برای جلوگیری از ریزش ضرورت دارد
	لایروبی و مرمت قنات	- لایروبی قنات از طریق آب هرزی قنات مشخص می‌شود - حتی اگر کلیه چاه‌های عمیق هم مسدود شوند، باز هم قنات در طی سال‌های متمادی آبدار نخواهند شد. - در هر سال ممکن است یکبار یا بیشتر مقنّی وارد قنات شود و ریزش و خرابی آن را مرمت کند - هر وقت آب قنات کم شود امکان ریزش و خرابی قنات وجود دارد
	فنون نگهداری آب‌های زمستانه	- آب‌های زمستانه قنات را درون استخر نگهداری می‌کنند - بهتر است در بیرون از قنات نگهداری شود، چون منجر به خرابی قنات می‌شود - معمولاً آب زمستانه قنات برای آبیاری محصولات زمستانه نظیر انار استفاده می‌شود - کشاورزان برای کشت‌های زمستانه و پاییزه خود از آن استفاده می‌کنند - باعث تقویت آب‌های زیرزمینی می‌شود و ضرری هم ندارد که جلوی آن را ببندیم - باید آب قنات همیشه جاری باشد

ب- دانش اقتصادی

بودن نگهداری از آن از بعد اقتصادی ارزشمند است. لذا این مقولات
تحت عنوان دانش اقتصادی قنات طرح شده است که در جدول (۲)
کدبندی شده است.

بررسی محتوایی مصاحبه‌های صورت گرفته حاکی از آن است که
دانش خبرگان قنات در زمینه میزان آبدهی قنات و مقرون به صرفه

جدول ۲- ارزش اقتصادی قنات از نظر مقنیان

کد انتخابی	کد محوری	کد باز
ویژگی‌های کمی کیفی و کیفی	میزان دبی آب قنات	-از روی اولین گمانه مشخص می‌شود -از روی رنگ و جنس کوه‌های مجاور مشخص می‌شود -با توجه به نوع بوته‌های صحرایی تشخیص داده می‌شود -از روی گل چاه و میزان آب آن مشخص می‌شود -اگر آب چاه گمانه پرفشار بود قنات حفر می‌شود و منطقه پر آبی خواهد بود
	کیفیت آب قنات	-از روی اولین گمانه مشخص می‌شود -اگر آب زیرزمینی خیلی شور باشد، گل منطقه هم در سطح زمین شوره می‌بندد -بعد از اولین گمانه که به آب رسید، اگر آب و گل مخلوط باشد و زلال نشود اصطلاحاً می‌گویند آب فشار ندارد و پشت ندارد و کیفیت آن خوب نیست.
اقتصادی	حفظ و نگهداری از قنات	-نگهداری قناتی که هنوز آب داشته باشد، مفید است. -دو ساعت آب قنات از یک حلقه چاه شش دانگ بهتر است.

ج- ارزش اجتماعی

گویای شیوه مدیریت مطلوب و عادلانه بوده است. آنها با
سهیمه‌بندی آب و مدیریت بهینه استفاده از آن براساس میزان
آب و نیاز بهره‌برداران، روند دستیابی به اهداف اقتصادی را
مدیریت می‌کنند (جدول ۳).

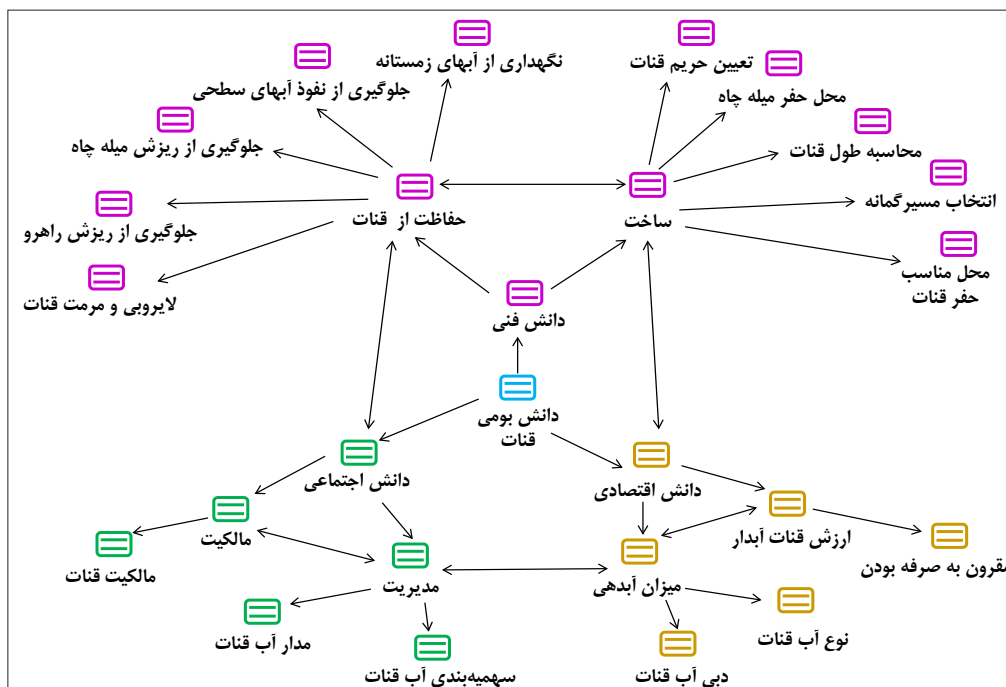
خبرگان قنات در زمینه نحوه مدیریت و مالکیت قنات دانش غنی
و ارزشمندی دارند که با فرهنگ و محیط طبیعی آنها آمیخته
است. تعیین مدار آب قنات و چگونگی سهیمه‌بندی آب، خود

جدول ۳- ارزش اجتماعی قنات از نظر مقنیان

کد انتخابی	کد محوری	کد باز
مدیریت	مدار آب قنات	-بستگی به نظر کشاورزان دارد -با توجه به نوع محصولات کشاورزی و بافت خاک تعیین می‌شود -بستگی به وضعیت آب و هوا و بارندگی منطقه دارد -بستگی به توپوگرافی منطقه، اقلیم آن و میزان مساحت زمین‌های زیرکشت دارد
	سهیمه‌بندی آب قنات	-مالک قنات سهیمه‌بندی آن را انجام می‌دهد -بستگی به میزان آب و نیاز کشاورزی دارد
نقش مدیران	نقش مدیران	-میراب، سرتاق و آبیار با نظر مردم انتخاب می‌شوند. -میراب مسئول تقسیم آب بین کشاورزان بود -سرتاق که در قدیم هر قنات یک طاق دار داشته است ^۹ -آبیار هم که آب را به سمت کرت هدایت می‌کند

شکل (۲) این سیستم غنی دانش نشان داده شده است. قدرمسلّم
با انجام بررسی‌های عمیق‌تر می‌توان به الگویی منسجم و کارآمد
برای پایداری دست یافت.

بررسی دانش بومی مقنیان حاکی از آن است که دانش آنها سیستم
اطلاعات و سازمان گسترده‌ای ایجاد کرده است که همه ابعاد آن
در ارتباط متقابل با یکدیگر هستند و از هم تأثیر می‌پذیرند. در

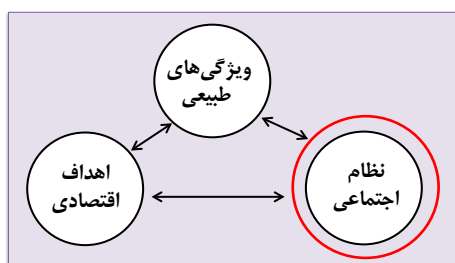


شکل ۲- ارتباطات سیستمی دانش بومی قنات در نرم افزار مکس کیودا

بحث و نتیجه گیری

توانمندی و پایداری در روستای دارای قنات به طور معنی داری بیشتر بوده است. از طرفی قدس و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که ناپایداری قنات و جایگزینی چاه به جای آن در روستای بیابانک سمنان وضعیت ناگواری در بافت روستا رقم زده است.

در مجموع می توان اذعان داشت که هر کدام از ابعاد قنات نقشی داشته است. ابعاد فنی قنات سعی در حفظ توازن طبیعت داشته اند. ابعاد اقتصادی آن در راستای رفع نیازها و ابعاد اجتماعی مسئول مدیریت نیازها جهت حفظ توازن محیط طبیعی بوده است. مدیریت استفاده از آب قنات، تعیین مدار براساس شرایط جغرافیایی منطقه و سهمیه بندی آن متناسب با میزان آبدهی قنات و نیاز آبی محصولات، نشانگر وجود نظام برنامه ریزی محلی در راستای توسعه پایدار بوده است. بر این اساس، با اندک مذاقه ای می توان نظام اجتماعی قدرتمند را به عنوان تأثیرگذارترین عامل در سیستم دانش بومی قنات شناسایی کرد (شکل ۳)؛ حلقه گمشده ای که امروزه سبب ساز ناپایداری ها شده است.



شکل ۳- سیستم دانش بومی قنات

در این مقاله سعی شد از طریق بازشناسی قنات و نقش آن در توسعه پایدار، الگویی منسجم و قدرتمند برای توانمندسازی و پایداری عرصه زیست ارائه شود. در این راستا از روش تحقیق کیفی تحلیل محتوا با نرم افزار مکس کیودا استفاده شده است. یافته های حاصل از این تحلیل را می توان بدین گونه ارائه داد:

قنات دارای ابعاد فنی، اقتصادی و اجتماعی ارزشمندی است. دانش فنی آن شامل بر شناسایی محل مناسب حفر قنات، انتخاب مسیر گمانه، محاسبه طول قنات، محل حفر میله چاه و تعیین حریم می باشد. دانش اقتصادی قنات در زمینه میزان آبدهی قنات و مقرون به صرفه بودن نگهداری از قنات و دانش اجتماعی آن پیرامون نحوه مدیریت و مالکیت قنات است. همه ابعاد دانش بومی قنات متأثر از ویژگی های طبیعی و در راستای دستیابی به اهداف اقتصادی شکل گرفته است. در این مسیر نظام اجتماعی قدرتمندی پایه ریزی شده است که با سهمیه بندی آب و مدیریت بهینه استفاده از آن براساس میزان آب و نیاز بهره برداران، روند دستیابی به اهداف اقتصادی را مدیریت می کند. بدون لحاظ ویژگی های طبیعی، دستیابی به اهداف اقتصادی ممکن نخواهد بود و نظام اجتماعی قدرتمند تشکیل نخواهد شد. عدم وجود نظام اجتماعی قدرتمند چالش های اقتصادی را ایجاد می کند که قدرمسلم به طبیعت و اجتماع آسیب های زیادی می رساند. نتایج تحقیقات فداکار داورانی و سام آرام (۱۳۸۹) نیز بیانگر آن است که میزان

با روند رو به تزاید گستردگی نیازها، وجود ساختارهای متفاوت و در حال تحول، دیگر قنات کارکردهای گذشته خود را از دست داده است که نظرات مقنن، خود تأییدی بر این مدعاست. بعد از اصلاحات ارضی و حفر چاه‌ها و تحولات مدرنیزاسیون، قنات نمی‌تواند پاسخگوی نیاز روستائیان و کشاورزان باشد. این مسئله کم‌ارزش شدن ابعاد فنی، اقتصادی و اجتماعی قنات را سبب شده است.

با این وجود، حتی اگر امروزه، قنات کارکردهای گذشته خود را نداشته باشد، به واسطه کارکردهای دیگر که حاصل ساختارهای متفاوت و در حال تحول می‌باشد، دارای ارزش است. برای مثال رعایت حریم قنات و نگهداری و مرمت قنات‌های آبدار برای جلوگیری از رخداد نشست زمین که امروزه در اکثر شهرها و روستاها اتفاق افتاده است، ضروری می‌باشد. علاوه بر این توجه به قنات به

پی‌نوشت

۱- «تمدن کاریزی» منطبق است بر محدوده فلات مرکزی و کویر ایران. این محدوده استان‌های خراسان جنوبی، جنوب خراسان رضوی، یزد، سمنان، اصفهان و کرمان و کاشان و قم و تهران را دربرگرفته است.

۲- به گزارش سفرنامه‌نویسان علل ویرانی قنات‌ها عبارت بود از: پیشامدهای تاریخی مثل یورش‌های خارجی و جنگ‌های داخلی، شیوع ناامنی و هرج و مرج، بلایای طبیعی، خودخواهی بزرگان محلی و بی‌لیاقتی شاهان و ضعف حکومت مرکزی، کاهلی و تنبلی مردم ناشی از غلبه تفکر جبری و قضا و قدری، وسعت املاک و زمین‌های سلطنتی، بی‌قاعدگی نظام ارباب رعیتی و تأثیرات سیاست و مناسبات خارجی در عصر جدید (رحمانیان و میرزایی، ۱۳۹۱).

۳- سازمان حفاظت محیط‌زیست در ارتباط با بحران منابع آب به چهار چالش زیستی مصرف بی‌رویه، تغییر اقلیم، بهره‌وری پایین و

منابع

ابی‌زاده، ا. ۱۳۸۹. نگرشی بر قنات با محوریت آموزش و احیاء فناوری بومی، فرهنگ و معماری ایرانی. آرمانشهر، ۵: ۲۲-۲۱.
اولیویه، گ. آ. ۱۳۷۱. سفرنامه اولیویه، تاریخ اجتماعی، اقتصادی ایران در دوران آغازین عصر قاجار. ترجمه: محمدطاهر میرزا. امیرکبیر، تهران.
بایندر، ه. ۱۳۷۰. سفرنامه هنری بایندر. ترجمه: کرامت الله افسر. فرهنگسرا، تهران.
باقری، پ. ۱۳۷۹. بررسی ابعاد تاریخی، فرهنگی قنات در ایران. مجموعه مقالات قنات، ج ۱. شرکت سهامی آب منطقه یزد، ایران.

لحاظ سازه فرهنگی و جاذبه گردشگری، ارزش افزوده زیادی برای آن ایجاد می‌کند (لباف خانیکی و سمسار یزدی، ۱۳۹۴). همان‌گونه که ابی‌زاده (۱۳۸۹) نیز احیاء فناوری بومی قنات را بهانه‌ای برای اشتغال‌زایی و پیشبرد توسعه فرهنگی می‌داند.

بهتر آن است که جهت دستیابی به توسعه پایدار، به این مقوله توجه شود و قدرمسلّم، پژوهش‌های آتی پیرامون این مسئله، نقش اساسی در ارائه الگویی بومی برای دستیابی به توسعه پایدار خواهد داشت.

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر علی‌اصغر سمسار یزدی، جهت گردآوری دانش بومی مقنن استان یزد که بالطبع تسهیل در انجام این تحلیل را فراهم ساختند، سپاسگزاریم.

شکل‌گیری خرده اقلیم‌ها اشاره کرده است. سازمان زمین‌شناسی عوامل چون افزایش جمعیت، گرمایش جهانی، اضافه برداشت، بهره‌وری پایین، توسعه ناپایدار به همراه مشکلات اجرایی در قوانین و مقررات کشور را در افزایش برداشت از منابع زیرزمینی موثر می‌داند و این وضعیت را حاصل ۵۰ سال تجربه ناموفق در زمینه مدیریت منابع آب دانسته است که یکی از پیامدهای آن فرونشست زمین است که به صورت خزنده و آرام، امنیت تمام زیرساخت‌های کشور را تهدید می‌کند (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۴).

- 4- Open coding
- 5- Axial coding
- 6- Selective coding
- 7- MAXQDA

۸- روشی برای انتخاب حفر میله چاه که توسط مقنن ابداع شده است.

۹- هر طاق معادل ۱۲ ساعت آب بوده است.

بصیرپور، ع. و موسوی، ف. ۱۳۷۴. مسائل بهره‌برداری از رودخانه‌های فصلی در تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی. مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب. اصفهان، ایران. (۳۱۵-۳۲۷)
عباسی، ف. بهراملو، ر. ذوالفقاران، ا. نادری، ن. ۱۳۹۲. بررسی مسائل فنی و بهره‌برداری از قنوات مهم کشور. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۴(۴): ۳۲۹-۳۲۸.

بوستانی، آ. و انصاری، ح. ۱۳۹۲. بررسی مشکلات موجود نظارت عالیه و کارگاهی احیاء قنوات روستایی. فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱(۴۲): ۴۱-۴۵.
بنجامین، س. گ. ۱۳۶۳. ایران و ایرانیان، عصر ناصرالدین شاه. ترجمه: محمدحسین کردیچه. جاویدان، تهران.

پولاک، ی.ا. ۱۳۶۸. سفرنامه پولاک، ایران و ایرانیان. ترجمه: کیکاووس جهاننداری. خوارزمی، تهران.

پاپلی یزدی، م.ج. و لباف خانیکی، م. ۱۳۷۷. واحد تقسیم آب در نظام‌های آبیاری سنتی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۵۰ و ۴۹: ۷۳-۴۷.

پاپلی یزدی، م.ج. ۱۳۷۹. نقش قنات در شکل‌گیری تمدن‌ها، پایداری فرهنگ و «تمدن کاریزی». مقالات، جلد دوم. همایش بین‌المللی قنات. تهران، ایران.

جمعه‌پور، م. و میرلطفی، م.ر. ۱۳۸۹. نقش دانش بومی و کارکرد نظام سنتی مدیریت مشارکتی منابع آب در معیشت پایدار روستایی. فصلنامه علوم اجتماعی، ۵۶: ۱-۳۴.

خاموشی، ع. ۱۳۷۲. قنات و تکنولوژی مدرن. مجموعه مقالات کارگاه منطقه‌ای آب‌شناسی و منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک. مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو، تهران، ایران (۳۰-۳۸).

سرزعیم، م.ص. و میرابزاده اردکانی، م. ۱۳۷۴. نقش طرح‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در توسعه پایدار منابع آب. مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، اصفهان، ایران (۱۳۳-۱۴۵).

سمسار یزدی، ع.ا. ۱۳۸۹. تدوین تجربیات خبرگان قنات. انتشارات شرکت مدیریت منابع آب ایران، چاپ دوم.

سمسار یزدی، ع.ا. ۱۳۹۳. قنات زارچ. انتشارات شاهنده، چاپ اول.

لباف خانیکی، م. ۱۳۹۴. سخنرانی علمی با موضوع قنات، جغرافیا و جامعه. دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دکتر علی شریعتی.

شیرانی، م.، رضوی، س.ل. و ساداتی‌نژاد، س.ج. ۱۳۸۵. بررسی ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی قنات. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده رود. دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. ۱۴ و ۱۵ شهریور (۴۷-۵۳).

دیولافوا، ژ. ۱۳۸۵. ایران کلد و شوش. ترجمه: علی محمد فره‌وشی. دانشگاه تهران، تهران.

رحمانیان، د. و میرزایی، م. ۱۳۹۱. زوال «تمدن کاریزی» ایران به روایت سفرنامه‌های بیگانه روزگار قاجار. تحقیقات تاریخ اجتماعی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، ۲(۲): ۷۵-۵۵.

رهبری، پ. و افشار اصل، م. ۱۳۸۴. متدولوژی ارزیابی اثرات زیست‌محیطی قنات. کنفرانس بین‌المللی قنات. دانشگاه شهید باهنر و جهاد دانشگاهی واحد استان کرمان، کرمان، ایران (۱۸۵-۱۹۷).

صداقت کیش، ج. ۱۳۷۹. قنات‌های مقدس ایران. مجموعه مقالات همایش بین‌المللی قنات، (۹۳-۱۰۷).

صفی‌نژاد، ج. ۱۳۶۸. نظام‌های آبیاری سنتی در ایران، موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی.

عرب خدری، م.، حکیم خانی، ش. ۱۳۸۲. بررسی رابطه دو فناوری

باستانی بیابان‌زدایی، بندسار و قنات. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۶۹: (۴۹-۶۲).

فداکار داورانی، م.م.، سام آرام، ع. ۱۳۸۹. نقش قنات در توسعه پایدار روستایی. فصلنامه روستا و توسعه، ۲: (۱۶۷-۱۹۱).

فوروکاوا، ن. ۱۳۸۴. سفرنامه فوروکاوا. ترجمه: هاشم رجب‌زاده و کینجی‌ئه اورا. انجمن آثار و مفاخر فرهنگی، تهران.

فریزر، ج. ۱۳۶۴. سفرنامه فریزر. ترجمه: منوچهر امیری. توس، تهران.

قدس، ح.، اصغرزاده، ع. ملکی، م. ۱۳۹۴. بازشناسی پدیده قنات از دریچه سازمان‌ها، نمونه موردی: روستای بیابانک. مسکن و محیط، ۳۴(۱۵۰): ۷۱-۸۷.

غفاری‌پور، ح. ۱۳۷۰. بررسی یک دشت بحرانی، دشت ایسین. بولتن وضعیت منابع آب کشور. سازمان تحقیقات منابع آب کشور، ۵: ۱۹-۲۳.

کوثر، آ. ۱۳۷۲. بیابان‌زدایی با گسترش سیلاب، کوششی هماهنگ. انتشارات مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام، سازمان جهادسازندگی استان فارس.

کرچی، اب.م. ۱۳۴۵. استخراج آب‌های پنهانی، ترجمه: حسین خدیو. بنیاد فرهنگ ایران، تهران.

گوبلو، ه. ۱۳۷۱. قنات فنی برای دستیابی به آب. ترجمه: سرو قدم مقدم و محمدحسین پاپلی یزدی. آستان قدس رضوی، مشهد.

لباف خانیکی، م. و سمسار یزدی، ع.ا. ۱۳۹۴. گردشگری قنات. یزد: مرکز بین‌المللی قنات و سازه‌های تاریخی آبی، انتشارات شاهنده.

لندور، آ. ۱۳۸۸. اوضاع سیاسی، اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و بازرگانی ایران در آستانه مشروطیت. ترجمه: علی‌اکبر عبدالرشیدی. اطلاعات، تهران.

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. ۱۳۹۴. هم‌اندیشی بحران آب با محوریت آب‌های زیرزمینی. انوش نوری اسفندیاری، دبیر اندیشکده تدبیر آب ایران.

منزوی، م.ت. ۱۳۶۷. آبرسانی شهری. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، تهران.

موریه، ج. ۱۳۸۶. سفرنامه جیمز موریه. ترجمه: ابوالقاسم سری. ۲ جلد. توس، تهران.

ناجی، م. ۱۳۵۲. پایان «تمدن کاریزی» در ایران. سخن، ۲۲(۹).

هاشمی‌سهی، س.ج.، هاشمی‌سهی، س.م. ۱۳۸۴. قنات، نشست خاک و مشکلات ساختمان‌سازی. کنفرانس بین‌المللی قنات. دانشگاه شهید باهنر و جهاد دانشگاهی واحد استان کرمان، کرمان، ایران.

هدین، س. ۱۳۸۱. کویرهای ایران. ترجمه: پرویز رجبی. انجمن آثار و مفاخر فرهنگی، تهران.

Agazadeh S. 2015. Sustainable Water Use of Qanat Based on Economy and Culture. Environment and Development, 2(4):144-147.

Arzani N. 2003. The Tragedy of Ancient Qanats in Arid

- nat; An Eternal Friendly System For Harvesting Groundwater. New Delhi.
- Semsar Yazdi A.A. 2011. Qanat; an Ancient Technique for Adapting to New Climate Changes. *Journal of Arid Land Studies*, 2(21): 71-73.
- Wittfogel K.A. 1957. *Oriental despotism. A comparative study of total power*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Lands and Kavir Borders, A Case Study from Abarkoh Plain, Central Iran. *Iranian Int. J. Sci.*, 4(1): 73- 86.
- Bazzi Kh. 2015. Qanat and ITS Challeges in Ferdows County-Iran. *International Journal of Geography and Geology*, 1(2): 42-51.
- Haeri M.R. 2003. An evaluation of the sustainability of Qanats under changing socio – economic and climatic conditions in Iran. Workshop Kariz, Qa-

Investigation of the Criminal Protection of Water Rights

S.H. hosseini^{1*}, H. Yousofi²

1,2- Associate Professor & PhD. Student, Criminal of Law, Department of Law, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

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

Received: 21-05-2017

Accepted: 30-12-2017

درآمدی بر حمایت کیفری از حقوق آب

سید حسین حسینی^{۱*}، حسن یوسفی^۲

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری حقوق جزا و جرم‌شناسی، گروه حقوق، دانشگاه فردوسی، مشهد.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: shosseini@ferdowsi.um.ac)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۳۰

Abstract

Undoubtedly, the power of any country to regulate, allocate, and control water resources depends primarily on the existence of a legal framework to manage and protect water resources. The rules and approaches to protect water rights in many countries, including Iran, are often complex and dispersed, and are very far from the modern modes of water management. The criminal protection of water rights has been sporadically observed in the laws of Iran, both before and after the Islamic Revolution. These regulations do not provide the opportunity for the public to have a fair share of water resources. On the other hand, they do not prevent the commission of abusive behaviours against the water resources, and maybe these laws have somehow intensified the water crisis in the country. Iran's comprehensive water legislation, followed within the framework of the constitution and general policies of the system, with regards to the economy, security, and political value of water, aims to solve the existing challenges and is committed to the effective protection of water rights.

Keywords: Water rights, Penal measures, Water resources.

چکیده

بدون تردید قدرت هر کشوری برای تنظیم، تخصیص و کنترل منابع آب در درجه اول بستگی به وجود چارچوب حقوقی بدون برای مدیریت و حمایت از منابع آب دارد. قوانین و راهکارهای موجود در جهت حمایت از حقوق آب در بسیاری از کشورها از جمله ایران اغلب پیچیده، پراکنده و فاقد ضمانت اجرایی متناسب بوده و از شیوه‌های مدرن مدیریت آب به دور مانده است. حمایت‌های کیفری از حقوق آب به طور پراکنده در قوانین قبل و بعد از انقلاب اسلامی ایران دیده می‌شود. اما این قوانین به نحوی ساماندهی نشده که از یک سو امکان بهره‌مندی عادلانه عموم از منابع آبی را فراهم آورد و از سوی دیگر باعث جلوگیری از ارتکاب رفتارهای ناهنجار علیه منابع آبی شود و چه بسا این قوانین خود به نوعی تشدیدکننده بحران آب در کشور بوده‌اند. لایحه‌ی قانون جامع آب ایران، در چارچوب قانون اساسی و سیاست‌های کلی نظام، ضمن توجه به ارزش اقتصادی، امنیتی و سیاسی آب، با رفع چالش‌های موجود به حمایت کیفری کارآمد از حقوق آب پرداخته است.

واژه‌های کلیدی: حقوق آب، تدابیر کیفری، منابع آب.

داشته است. شاخص‌ترین این تلاش‌ها تعیین "دهه بین‌المللی ترویج اصول بهداشتی و تامین آب آشامیدنی" در سال ۱۹۸۱ بود. هدف از برقراری این دهه، فراهم آوردن آب آشامیدنی مطمئن و ترویج اصول بهداشتی در شهرها و روستاهای تحت پوشش تا سال ۱۹۹۰ بود.^{۱۱}

پس از نامگذاری دهه ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۰ به عنوان دهه بین‌المللی تامین آب شرب و بهداشت و عدم تحقق اهداف تعریف شده برای آن، به پیشنهاد رئیس‌جمهور تاجیکستان، دهه ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ میلادی به عنوان "دهه بین‌المللی آب برای زندگی" به تصویب مجمع عمومی سازمان ملل متحد رسید.^{۱۲} کمپابی آب، راندمان آب در بخش کشاورزی، دسترسی به بهداشت و آب سالم، آب و جنسیت، آموزش و ظرفیت‌سازی، مسائل مالی، ارزش‌گذاری آب، مدیریت به هم پیوسته منابع آب، آب‌های مرزی و منابع آب مشترک و محیط‌زیست و تنوع زیستی و غذا و کشاورزی، مهمترین موضوعات دهه بین‌المللی آب بودند.

کنوانسیون ژنو (۱۹۴۹) و پروتکل‌های اضافی آنها (۱۹۷۷) نیز اهمیت دسترسی به آب آشامیدنی سالم و بهداشتی را برای سلامتی و بقا در درگیری‌های مسلحانه بین‌المللی و داخلی نشان می‌دهد. در سال ۲۰۰۷، نیز رهبران آسیا - اقیانوسیه موافقت کردند که حق مردم برای آب آشامیدنی و بهداشت عمومی را به عنوان یک اصل اساسی در حقوق بشر شناسایی کنند.^{۱۳}

گذشته از موارد مذکور، مطالعات فراوانی در کشورهای مختلف به خصوص به صورت تطبیقی در حوزه حقوق آب با اشاره به مسائلی مانند مشکلات و بحران آب، آلودگی آب در سرتاسر جهان، کمبود آب، فقر آب، مدیریت آب‌های زیرزمینی، آب و عدالت جنسیتی، خطرات مرتبط با آب، حقوق بشر برای آب، خصوصی‌سازی آب و قیمت‌گذاری انجام شده که حکایت از اهمیت روز افزون حقوق آب دارد (Moench و همکاران، ۲۰۰۳؛ Thompson، ۲۰۰۱؛ Wolf، ۲۰۰۹؛ France، ۲۰۰۲). همچنین بسیاری از کشورها از جمله بولیوی، جمهوری دموکراتیک کنگو، اکوادور، آفریقای جنوبی، اوگاندا و اروگوئه در قالب قانون اساسی یا قانون عادی کشورشان به حمایت از حقوق آب پرداخته‌اند.^{۱۴} با این حال باید تأکید کرد که وظیفه حقوق به خصوص حقوق کیفری همواره تصدیق، تقویت و حمایت از ارزش‌های برتر جامعه که اغلب بدون توسل به مجازات‌ها از جانب مردم رعایت می‌شود، نیست. بلکه می‌تواند از طریق جرم‌انگاری و وضع مجازات به کنترل رفتارها و در نتیجه تولید ارزش‌ها و هنجارهایی دست بزند که با توجه به خط مشی و راهبردهای حاکم بر مسائل اجتماعی، سیاسی و اقتصادی جامعه، رعایت آنها برای جامعه ارزشمند و ضروری تلقی می‌شود (pain، ۲۰۰۳). در واقع اعمال مجازات برای کسانی که در پی تخریب محیط زیست و بهداشت عمومی، اختلال در نظم و امنیت جامعه را دنبال می‌کنند امری است که قابل انتقاد نبوده و بلکه سخت‌گیری و شدت عمل در مقابل آنها مورد اقبال عمومی نیز قرار خواهد گرفت (شاه ملک پور، ۱۳۸۳).

از همان ابتدای حضور بشر بر روی زمین، انسان‌ها ارزش و اهمیت آب را احساس کردند. آن‌ها به طور غریزی فهمیدند که ارزش آب با زندگی برابر است. در جوامع کنونی مشکلات فراوانی چون عدم دسترسی بیش از یک میلیارد نفر از مردم جهان به آب آشامیدنی سالم و بهداشتی به خصوص در کشورهای آفریقایی، عدم بهره‌مندی حدود ۲/۶ میلیارد نفر از انسان‌هایی که در آسیا زندگی می‌کنند از بهداشت و درمان، فوت حدود ۱/۴ میلیون کودک در هر سال به خاطر استفاده از آب‌های غیربهداشتی، نبود آب سالم برای ۸ نفر از ۱۰ نفری که در مناطق روستایی زندگی می‌کنند و از این قبیل مشکلات، ارزش و اهمیت آب را چندین برابر کرده است.^{۱۵}

از همین رو دسترسی به آب سالم به عنوان یک حق انسانی در سطح جهان شناخته شده است؛ به طوری که در سال ۲۰۰۲ مجمع عمومی سازمان ملل در نشست بیست و نهم کمیته حقوق اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی ضمن پذیرش حقوق آب به عنوان یکی از اساسی‌ترین مقوله‌های حقوق بشر، اظهار داشت که کشورهای عضو باید اقدامات موثری اتخاذ کنند تا بدون تبعیض، حقوق آب را تحقق بخشند.^{۱۶}

کنوانسیون رفع هر گونه تبعیض علیه زنان مصوب ۱۸ دسامبر ۱۹۷۹ میلادی در ماده ۱۴ (۲) (H)، کنوانسیون حقوق کودک مصوب نوامبر ۱۹۸۹ میلادی در ماده ۲۴ (۲) (C)، پروتکل آب و بهداشت سازمان ملل متحد سال ۱۹۹۲ در مورد حمایت از آب‌های زیرزمینی و دریاچه‌های بین‌المللی،^{۱۷} کنوانسیون حقوق افراد دارای معلولیت مصوب ۱۳ دسامبر ۲۰۰۶ در ماده ۲۸ (۲) (A)،^{۱۸} کنوانسیون آفریقا در مورد حفاظت از طبیعت و منابع طبیعی (۲۰۰۳)،^{۱۹} قطعنامه ۲۰۱۰ مجمع عمومی در مورد "حق انسانی برای آب و بهداشت"^{۲۰} از جمله اسنادی هستند که در آنها به حقوق آب و دسترسی به آن به عنوان یکی از حقوق انسانی اشاره شده است.

تشخیص جامعه جهانی از جدی بودن مشکلات مربوط به منابع آب و حمایت از حقوق آب در دهه ۱۹۷۰ با جدیت شروع شد و از آن زمان تاکنون ادامه داشته است. در سال ۱۹۷۲، سازمان ملل متحد در خلال کنفرانسی که درباره محیط زیست انسانی در استکهلم برگزار شد، آب را یکی از منابع طبیعی مورد نیاز برای حفاظت و حمایت معرفی کرد.^{۲۱}

پنج سال بعد در سال ۱۹۷۷، کنفرانس سازمان ملل متحد در مورد آب (ماردل پلاتا) در آرژانتین با هدف ارزیابی وضعیت منابع آب برگزار شد. فرضیه پذیرفته شده توسط عموم عبارت بود از اینکه "انسان صرف نظر از شرایط اجتماعی و اقتصادی و در هر سطحی از توسعه که باشد، باید حق دسترسی به آب آشامیدنی را در مقدار و با کیفیتی مناسب با نیازهای اساسی خود داشته باشد".^{۲۲}

تلاش‌های هماهنگ بین‌المللی در طول دهه ۱۹۸۰، ارائه خدمات بهداشتی و آبی را برای صدها میلیون نفر از مردم فقیر، به دنبال

این را نیز باید در نظر داشت که فعالیت‌های آلوده‌کننده محیط‌زیست دارای ویژگی‌ها و مشخصات خاصی هستند که کنترل آنها از طریق قوانین کیفری دشوار است؛ چرا که اغلب به وسیله مؤسسات صنعتی و در حین فعالیت روزمره آنها به طور مخفیانه صورت می‌گیرد و غالباً قربانیان آن از گروه‌های بزرگ مردم تشکیل می‌شوند که برای اجرای قوانین کیفری نسبت به آنها یا جهت حفظ سلامتی آنها نمی‌توان صبر کرد تا آلودگی صورت گیرد و ضرر و زیان عملاً وارد آید (ریوچی، ۱۳۵۸).

کشور ایران از نظر اقلیمی در منطقه ای گرم و خشک واقع شده است و با دوره‌های متعدد خشکسالی و کم آبی رو به رو بوده است. این موضوع زمینه‌ای شده تا در کشورمان درباره بسامان کردن آب‌ها و حفظ حقوق آب تدابیری اتخاذ گردد. در واقع فرآیند کم آبی در کشور سبب شده تا مقنن به ضرورت حمایت جدی از منابع آب بپردازد (خالقی و همکاران، ۱۳۹۱). طبق آمارهای رسمی میانگین درازمدت بارش در ایران ۲۴۳/۴ میلی‌متر است ولی میانگین ده سال اخیر بارش در ایران ۲۲۲/۵ میلی‌متر را نشان می‌دهد؛ یعنی حدود ۸/۶ درصد کاهش در نزولات جوی اتفاق افتاده است. در خصوص حجم جریان آب‌های سطحی نیز حدود ۳۲ درصد کاهش وجود داشته است و از ۸۶ میلیارد متر مکعب که میانگین درازمدت است به ۸۵ میلیارد متر مکعب که میانگین ده سال اخیر است رسیده است (مظاهری، ۱۳۹۴).

همچنین آمار آب مصرفی کشور ایران بر طبق آمار رسمی ۹۶ میلیارد

سیر تقنینی قوانین در حمایت از منابع آبی

سیر حمایت از منابع آبی در کشور ایران به قبل از انقلاب برمی‌گردد. قبل از انقلاب اسلامی نخستین بار در قانون مدنی مصوب ۱۳۰۷ مالکیت و بهره‌برداری شخصی از منابع آبی با توجه به قاعده لا ضرر مورد پذیرش قرار گرفت؛ متعاقب آن، قانون راجع به قنوات مصوب ۱۳۰۹ نیز در راستای همان اهداف قانون مدنی، مالکیت و بهره‌برداری شخصی یا مشارکتی با ملکیت شخصی از منابع آبی را پذیرفت. به دنبال اهمیت زیاد منابع آبی به تدریج ضرورت دخالت دولت در زمینه منابع آبی روز به روز بیشتر احساس می‌شد؛ تا اینکه قانون اجازه تأسیس بنگاه آبیاری مصوب ۱۳۲۲ تصویب شد و بنگاه مستقلی تحت نظارت وزارت کشاورزی برای توسعه و اصلاح امور آبیاری کشور تأسیس شد (خالقی و همکاران، ۱۳۹۱). در واقع این قانون نقطه عطفی در زمینه قوانین آب محسوب می‌شود چرا که به نوعی آغازی بر اعمال مدیریت دولت در زمینه منابع آبی است. نقش فعال دولت در زمینه حمایت از منابع آبی با تصویب قانون راجع به تأسیس وزارت آب و برق در سال ۱۳۴۲، نمود بیشتری یافت. در ماده یک این قانون و در بند سوم، یکی از اهداف اساسی از تأسیس این وزارتخانه، نظارت بر نحوه استفاده از منابع آبی کشور می‌باشد. با گذشت زمان در سال

متر مکعب است که منابع تأمین آن ۵۵ درصد از آب‌های زیرزمینی و ۴۵ درصد آب‌های سطحی است. ضمن اینکه بر اساس آمار وزارت نیرو حدود ۳۲۱ هزار حلقه چاه مجاز و ۴۵۸ هزار حلقه چاه غیرمجاز در کشور وجود دارد که این چاه‌های غیرمجاز حدود ۱۲ میلیارد متر مکعب برداشت غیرقانونی از منابع آب‌های زیرزمینی دارند (ناصری، ۱۳۹۴).

به دلیل وجود چالش‌های عدیده یاد شده در زمینه حقوق آب به خصوص در کشور ایران، یک برنامه‌ریزی مدبرانه و کارآمد در جنبه‌های حقوقی، مدیریتی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، طبیعی، زیست‌محیطی و فنی مهندسی ضروری است. پیامدهای عدم برنامه‌ریزی منسجم در زمینه مدیریت منابع آبی و عدم حمایت جدی از حقوق آب، تشدید آثار خشکسالی و توزیع غیرکارآمد آب در بخش‌های مختلف کشور و بروز بحران‌های اجتماعی است که نتیجه آن گسترش فضای کویری، تخریب پوشش گیاهی، آلودگی آب و در نهایت تهدید امنیت انسانی می‌باشد (درخور و همکاران، ۱۳۹۲).

این نوشتار با هدف بررسی تدابیر کیفری جهت حمایت از حقوق آب در کشور ایران نگارش یافته است؛ قبل از ورود به بحث اصلی لازم است که در یک نگاه اجمالی قوانین مختلف قبل و پس از انقلاب که در زمینه حقوق آب تدوین یافته است را مورد بررسی قرار دهیم. این کار از آن جهت مهم جلوه می‌کند که از یک طرف با سیر تقنینی و سیاست‌های کلی ایران در زمینه منابع آبی آشنا شویم و هم به نوعی تغییرات ایجاد شده در زمینه حمایت از منابع آبی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۱۳۴۵ قانون حفظ و حفاظت از آب‌های زیرزمینی تصویب شد. در این قانون مقرر شد که حفر چاه عمیق نیاز به مجوز رسمی دولت داشته باشد و در ماده یک آن نیز بنا شد حفاظت از ذخایر زیرزمینی و نظارت در کلیه امور به وزارت نیرو واگذار شود.

مهمترین دگرگونی قبل از انقلاب در زمینه قوانین آب با تصویب قانون آب و نحوه ملی شدن آن مصوب سال ۱۳۴۷ رخ داد. در این قانون منابع آبی ملی شدند و قانون‌گذار صراحتاً در زمینه حمایت از منابع آبی، ساز و کارهای قانونی متفاوتی پیش‌بینی نمود و نظام حقوق آب بر مبنای صدور مجوز بهره‌برداری از سوی دولت تعریف شد.

آخرین قانونی که قبل از انقلاب در زمینه حمایت از منابع آبی در کشور تصویب شد، قانون حفاظت دریا و رودخانه‌های مرزی از آلودگی با مواد نفتی مصوب ۱۳۵۴ می‌باشد. این قانون به بیان مسئولیت حقوقی آلوده‌کنندگان آب و در مواد مختلفی نیز به مجازات کیفری در حفظ و حمایت منابع آبی می‌پردازد.

بعد از پیروزی شکوهمند انقلاب اسلامی نیز سیر حمایت از منابع آبی تداوم یافت. در اصل چهل و پنجم قانون اساسی جمهوری اسلامی آمده است که "انفال و ثروتهای عمومی از قبیل زمین‌های موات یا رها شده، معادن، دریاها، دریاچه، رودخانه‌ها و سایر آب‌های عمومی، کوه‌ها، دره‌ها، جنگل‌ها، نیزارها، بیشه‌های طبیعی، مراعاتی

که حریم نیست، ارث بدون وارث، و اموال مجهول المالک و اموال عمومی که از غاصبین مسترد می‌شود در اختیار حکومت اسلامی است تا بر طبق مصالح عامه نسبت به آنها عمل نماید. تفصیل و ترتیب استفاده از هر یک را قانون معین می‌کند". همچنین در اصل پنجاه قانون اساسی آمده است که "در جمهوری اسلامی، حفاظت محیط زیست که نسل امروز و نسل‌های بعد باید در آن حیات اجتماعی رو به رشدی داشته باشند، وظیفه عمومی تلقی می‌گردد. از این رو فعالیت‌های اقتصادی و غیر آن که با آلودگی محیط زیست یا تخریب غیر قابل جبران آن ملازمه پیدا کند، ممنوع است".

بعد از قانون اساسی قوانین عادی نیز در چارچوب اهداف یاد شده در قانون اساسی برای حمایت از منابع آبی و جلوگیری از سوء مصرف آب، تصویب شدند. از مهم‌ترین قوانین می‌توان به قانون توزیع عادلانه آب مصوب ۱۳۶۱ اشاره کرد. در ماده سوم این قانون آمده است "استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی به استثنای موارد مذکور در ماده ۵ این قانون از طریق حفر هر نوع چاه و قنات و توسعه چشمه در هر منطقه از کشور با اجازه و موافقت وزارت نیرو باید انجام شود و وزارت مذکور باتوجه به خصوصیات هیدروژئولوژی منطقه (شناسایی طبقات زمین و آب‌های زیرزمینی) و مقررات پیش‌بینی شده در این قانون نسبت به صدور پروانه حفر و بهره‌برداری اقدام می‌کند. تبصره -از تاریخ تصویب این قانون صاحبان کلیه چاه‌هایی که در گذشته بدون اجازه وزارت نیرو حفر شده باشند موظفند طبق آگهی که منتشر می‌شود به وزارت نیرو مراجعه و پروانه بهره‌برداری اخذ نمایند. چنانچه وزارت نیرو هریک از این چاه‌ها را لاقط طبق نظر دو کارشناس خود مضر به مصالح عمومی تشخیص دهد چاه بدون پرداخت هیچگونه خسارتی مسدود می‌شود، بهره‌برداری از آن ممنوع بوده و با متخلفین طبق ماده ۴۵ این قانون رفتار خواهد شد. معترضین به رای وزارت نیرو می‌توانند به دادگاه‌های صالحه مراجعه نمایند".

از دیگر نکات این قانون که نوعی از مرقی‌ترین قوانین کشور ایران در زمینه حفاظت از منابع و حقوق آب است، می‌توان به ماده ششم اشاره کرد که بیان می‌دارد "صاحبان و استفاده‌کنندگان از چاه یا قنات، مسئول جلوگیری از آلودگی آب آنها هستند و موظفند طبق مقررات بهداشتی عمل کنند. چنانچه جلوگیری از آلودگی آب خارج از قدرت آنان باشد، مکلفند مراتب را به سازمان حفاظت محیط زیست یا وزارت بهداشتی اطلاع دهند".

گرچه در ماده یک قانون آب و نحوه ملی شدن آن آمده است که مسئولیت حفظ و بهره‌برداری از آب به عنوان ثروت ملی و احداث و اداره تأسیسات توسعه منابع آب به وزارت آب و برق محول می‌شود، اما در قانون توزیع عادلانه آب مسئولیت پیشگیری و ممانعت و جلوگیری از آلودگی منابع آب به سازمان حفاظت محیط زیست محول شده است.

قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست (مصوبه ۱۳۵۳/۳/۲۸ و اصلاحیه ۱۳۷۱/۸/۲۴) از دیگر قوانینی است که به ممانعت از

آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی در مواد گوناگون خود اشاره دارد. تصویب نامه هیات وزیران در خصوص راهبردهای توسعه بلندمدت منابع آب کشور مصوب سال ۱۳۸۲ نیز در مواد ۱۸ گانه خود به مدیریت یکپارچه منابع آب، تعادل بخشی بین منابع و مصارف، اصلاح ساختار مصرف به خصوص در بخش کشاورزی، رعایت استانداردهای ملی حفاظت کیفی منابع آب، مدیریت مخاطرات آبی و ... جهت رفع چالش‌های موجود در زمینه منابع آبی اشاره نموده است.

قانون برنامه پنجساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۴-۱۳۹۰) نیز به عنوان یکی از راهکارهای کلان قانونی و راهبردی کشور در حوزه محیط زیست راه‌کارهایی از جمله مدیریت جامع منابع آب و توسعه پایدار، تعیین تکلیف چاه‌های غیرمجاز، اصلاح الگوی بهره‌برداری از منابع آب و ... اتخاذ کرده است.

در سال ۱۳۸۹ نیز در قانون حفاظت از دریاها و رودخانه‌های قابل کشتیرانی برای مقابله با آلودگی به مواد نفتی شاهد یک سیاست تقنینی دیگر در زمینه حمایت از منابع آب در ۲۵ ماده و ۱۰ تبصره هستیم. ماده ۱۷ این قانون مسئولان ایجاد آلودگی موضوع این قانون را مسئول جبران کلیه خسارات ناشی از آلودگی و کلیه هزینه‌های محدود کردن آثار آلودگی و رفع آن و پایش زیست محیطی از جمله هزینه مواد و تجهیزات به کار گرفته شده و کارمزد خدمات ارائه شده توسط عوامل انسانی می‌داند.

سرانجام در قانون برنامه پنجساله ششم توسعه جمهوری اسلامی ایران، به منظور مقابله با بحران کم آبی و اصلاح نظام بهره‌برداری آب آشامیدنی، راهکارهایی در نظر گرفته شده است که مهمترین آنها به قرار زیر است:

- افزایش بهره‌وری در تولید محصولات کشاورزی با اولویت محصولات دارای مزیت نسبی و ارزش صادراتی بالا و ارقام با نیاز آبی کمتر و سازگار با شوری، مقاوم به خشکی و رعایت الگوی کشت مناسب با منطقه

- توسعه روش‌های آبیاری نوین.

- حمایت از توسعه گلخانه‌ها و انتقال کشت از فضای باز به فضای کنترل شده و بازچرخانی پساب‌ها، مدیریت آب‌های نامتعارف و مدیریت آب مجازی.

- طراحی و اجرای الگوی کشت با تأکید بر محصولات راهبردی و ارتقاء بهره‌وری آب در چارچوب سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی و تأمین منابع و الزامات مورد نیاز در قالب بودجه سنواتی و اعمال حمایت و مشوق‌های مناسب فقط در چارچوب الگوی کشت.

- احیاء، مرمت و لایروبی قنوات به میزان سالانه وضع موجود در طول برنامه.

- برق‌دار کردن چاه‌های کشاورزی دارای پروانه بهره‌برداری.

- نصب کنتور هوشمند و حجمی آب.

- استفاده از سرمایه‌گذاری بخش خصوصی داخلی و خارجی و سازمان‌ها و موسسات بین‌المللی در ازای واگذاری پساب استحصالی.

تدابیر و حمایت‌های کیفری از منابع آبی محدود در کشور ایران در قوانین مختلف قبل و بعد از انقلاب پیش‌بینی شده است. این قسمت از نوشتار را با بیان تدابیر کیفری حامی منابع آبی قبل از انقلاب آغاز و با بررسی تدابیر کیفری بعد از انقلاب پایان می‌بریم. با بررسی این قسمت در می‌یابیم که نوعی تحول در حمایت از منابع آبی بعد از انقلاب اسلامی نسبت به قبل از انقلاب دیده می‌شود و به نوعی حمایت ساده از منابع آبی در قبل انقلاب به یک حمایت ویژه تبدیل می‌شود که نشان از اهمیت منابع آبی دارد.

• تدابیر کیفری ساده و ابتدایی قبل از انقلاب در جهت حمایت از حقوق آب

با سیر در قوانین قبل از انقلاب به قوانینی بر می‌خوریم که یک رویکرد کیفری را در جهت صیانت از سوء مصرف آب اتخاذ نموده‌اند. از جمله قانون آب و نحوه ملی شدن آن، قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست، قانون صید و شکار و سرانجام قانون حفاظت دریا و رودخانه‌های مرزی از آلودگی با مواد نفتی که به طور اجمالی آنها را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

قانون صید و شکار:

قانون صید و شکار مصوب ۱۳۴۶/۳/۱۶ (با اصلاحات مصوب ۱۳۵۳/۱۰/۳۰ و ۱۳۷۵/۹/۲۵) است که در ماده دوازدهم آن آلوده نمودن آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌های حفاظت شده، چشمه‌ها و آبشخورها توسط موادی که باعث آلودگی آب و از بین رفتن آبزیان شود، جرم انگاری شده و برای مرتکبین این جرایم مجازات حبس از سه ماه تا سه سال و یا به جزای نقدی از یک میلیون و پانصد هزار ریال (۱۵۰۰۰۰۰) ریال تا هجده میلیون (۱۸۰۰۰۰۰۰) ریال پیش‌بینی شده است. ضمن اینکه وفق ماده ۱۶ این قانون در صورت تکرار جرایم پیش‌بینی شده در مواد ۱۱ و ۱۲ این قانون مرتکب به اشد مجازات محکوم خواهد شد و طبق ماده ۲۲ نیز هرگاه عمل ارتكابی طبق سایر قوانین مستلزم مجازات شدیدتری باشد، مرتکب به مجازات اشد محکوم خواهد شد.

قانون آب و نحوه ملی شدن آن:

قانونگذار در قانون آب و نحوه ملی شدن آن مصوب ۱۳۴۷ در فصل هشتم با عنوان تخلفات و جرایم در مواد ۵۹ تا ۶۱ برخی اقدامات را که علیه منابع آبی است را جرم انگاری نموده و برای آن مجازات تعیین نموده است. در ماده ۵۹ آمده است «هر کس در بهره‌برداری آب چاه بیش از حد مقرر در پروانه مصرف اقدام کند و یا مقررات وزارت آب و برق را در نحوه استفاده از آن رعایت نکند به پرداخت جریمه از یک هزار تا سی هزار ریال

محکوم و در صورت تکرار، پروانه او لغو خواهد شد و در صورتی که بدون پروانه از چاه مزبور استفاده نماید، چاه از طرف وزارت آب و برق با حضور نماینده دادستان مسدود و عندالاقضاء پر خواهد شد».

همانطور که پیداست این ماده به حمایت از منابع آبی در برابر تخلفات حوزه آب‌های زیرزمینی اشاره دارد و سه تدبیر نیز در جهت مقابله با این تخلفات در نظر گرفته است که شامل جزای نقدی، لغو پروانه بهره‌برداری در صورت تکرار تخلف و انسداد و پر کردن چاه در صورت فقدان پروانه بهره‌برداری می‌باشد. از نکات دیگر این ماده تفویض اختیاراتی است که به دستگاه‌های اجرایی داده است، نظیر تعیین میزان استفاده مجاز از منابع آب‌های زیرزمینی و اختیار انسداد چاه با شرایط مذکور در ماده. یکی از مهمترین موادی که در قانون آب و نحوه ملی شدن آن به حمایت کیفری گسترده از منابع آبی پرداخته است، ماده ۶۰ می‌باشد. این ماده بیان می‌دارد «اشخاص زیر به پرداخت دو هزار تا پنج هزار ریال یا از ۲ ماه تا ۶ ماه حبس تأدیبی یا به هر دو مجازات بر حسب مورد محکوم خواهند شد:

- هر کس عمداً و بدون اجازه دریچه و مقسمی را باز کند یا در تقسیم آب تغییری دهد یا دخالت غیر مجاز در وسائل اندازه‌گیری آب کند یا به‌نحوی از انحاء امر بهره‌برداری از تأسیسات عمومی را مختل سازد.

- هر کس عمداً آبی را بدون حق یا اجازه مقامات مسئول به مجاری یا شبکه آبیاری متعلق به خود منتقل کند و یا موجب گردد که آب حق دیگری به او نرسد.

- هر کس آب حق دیگری را بدون مجوز قانونی تصرف کند.
- هر کس عمداً به نحوی از انحاء به ضرر دیگری آبی را به هدر دهد.
- هر کس عمداً آب رودخانه و انهار عمومی و جویبارها و مخازن و منابع و قنوات و چاه‌ها را با اضافه کردن مواد خارجی به نحو مندرج در ماده ۵۶ این قانون آلوده کند در مواردی که منبع آب به عنوان منبع آب آشامیدنی به کار می‌رود مرتکب به موجب سایر قوانین مربوط نیز مورد تعقیب کیفر قرار خواهد گرفت.

- هر کس از مقررات مندرجه در پروانه مصرف آب تخلف کند یا بدون اجازه وزارت آب و برق پروانه خود را به دیگری منتقل سازد یا از مقررات موضوعه وزارت آب و برق در اجرای مواد فصل دوم این قانون تخلف کند.

- هر کس بدون رعایت مقررات این قانون به حفر چاه و یا قنات و یا بهره‌برداری از منابع آب مبادرت کند.
تبصره - در مورد بندهای ۲ و ۳ و ۴ با گذشت شاکی خصوصی تعقیب موقوف می‌شود.»

همانطور که مشخص است در این ماده قانون‌گذار به تخلفات و جرایم متنوعی که علیه منابع آبی رخ می‌دهد، از جمله آلودگی آب، دخالت غیر مجاز در وسایل اندازه‌گیری آب، بهره‌برداری و

حفر غیر مجاز چاه، تصرف غیر مجاز آب متعلق به دیگری، هدر دادن آب به ضرر دیگری و ... اشاره نموده و برای مرتکبین این تخلفات و جرایم مجازات جزای نقدی و حبس را در نظر گرفته است. نکته دیگری که در مورد این ماده قابل ذکر است تعریف آلودگی منابع آبی است؛ مطابق ماده ۵۶ این قانون «منظور از آلوده ساختن آب، آمیختن مواد خارجی به آب است به میزانی که کیفیت فیزیکی یا شیمیایی یا بیولوژیکی آن را به طوری که مضر به حال انسان و چهارپایان و آبزیان و گیاهان باشد، تغییر دهد. مواد خارجی به قرار زیر است: مواد نفتی- ذغالی- اسید و هر گونه اضعاف کربنی و نفتی، مواد مضر شیمیایی اعم از جامد و مایع از هر پالایشگاه یا منبع گازی و یا دستگاه‌های رنگ‌کاری و الکل‌کشی و کارگاه‌ها و کارخانجات شیمیایی و معدنی و صنعتی و مواد غذایی و فاضلاب شهرها».

آخرین ماده‌ای که در این قانون مورد بررسی قرار می‌گیرد، ماده ۶۱ است که بیان داشته است «هر کس عمداً به نحوی از انحاء سد و تأسیسات سد، اعم از تأسیسات آبیاری و تأسیسات مربوط به نیروی برق آبی و پستهای انتقال خط و خط انتقال فشار قوی را تخریب یا منهدم نماید به حبس با اعمال شاقه از ۳ تا ۱۵ سال محکوم خواهد شد.» در این ماده نیز قانون‌گذار به جرم تخریب سد و تأسیسات آن اشاره دارد و برای مرتکبین آن مجازات حبس را در نظر گرفته است.

قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست:

یکی دیگر از قوانینی که قبل از انقلاب اسلامی به نوعی به حمایت‌های کیفی از منابع آبی پرداخته است، قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست مصوب ۱۳۵۳ است. مطابق ماده یک این قانون حفاظت و بهبود و بهسازی محیط زیست و پیشگیری و ممانعت از هر نوع آلودگی و هر اقدام مخربی که موجب برهم خوردن تعادل و تناسب محیط‌زیست می‌شود، همچنین کلیه امور مربوط به جانوران وحشی و آبزیان آب‌های داخلی از

• **تدابیر کیفی ویژه بعد از انقلاب در جهت حمایت حقوق آب**
با پیروزی انقلاب اسلامی ایران سیر حمایت کیفی از سوء مصرف آب، ادامه پیدا کرد. از مهم‌ترین قوانینی که بعد از انقلاب در این زمینه تصویب شده و یا به نوعی به حمایت از منابع آبی اشاره دارد، قانون توزیع عادلانه آب و قانون مجازات اسلامی (تعزیرات) می‌باشد که در این قسمت به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

قانون توزیع عادلانه آب:

یکی از قوانینی که پس از انقلاب به طور اختصاصی به حمایت از منابع آبی پرداخته است، قانون توزیع عادلانه آب مصوب ۱۳۶۱ می‌باشد. مطابق ماده ۴۶ این قانون آلوده ساختن آب ممنوع است و مسئولیت پیشگیری و ممانعت و جلوگیری از آلودگی منابع آب به سازمان حفاظت محیط زیست محول شده است.

وظائف سازمان حفاظت محیط زیست است. این سازمان وفق ماده ۱۱ می‌تواند کارخانجات و کارگاه‌هایی که موجبات آلودگی محیط‌زیست را فراهم می‌نمایند مشخص و مراتب را کتباً با ذکر دلایل بر حسب مورد به صاحبان یا مسئولان آنها اخطار می‌نماید که ظرف مدت معینی نسبت به رفع موجبات آلودگی مبادرت یا از کار و فعالیت خوداری کنند. در صورتیکه در مهلت مقرر اقدام ننمایند به دستور سازمان از کار و فعالیت آنها ممانعت به عمل خواهد آمد. خلاصه آنکه صاحبان یا مسئولان کارخانجات و کارگاه‌ها مکلفند به محض ابلاغ دستور سازمان، کار یا فعالیت ممنوع شده را متوقف و تعطیل نمایند. ادامه کار یا فعالیت مزبور منوط به اجازه سازمان یا رأی دادگاه صلاحیت‌دار خواهد بود. مطابق ماده ۱۲ این قانون نیز در صورت تخلف به حبس از شصت و یک روز تا یک سال و یا پرداخت جزای نقدی از پنج هزار و یک ریال تا پنجاه هزار ریال یا به هر دو مجازات محکوم خواهند شد.

قانون حفاظت دریا و رودخانه‌های مرزی از آلودگی با مواد نفتی:

قانون حفاظت دریا و رودخانه‌های مرزی از آلودگی با مواد نفتی مصوب ۱۳۵۴ می‌باشد. به طور خلاصه مهمترین ماده‌ای که در زمینه حفاظت از منابع آبی در این قانون آمده است، ماده ۲ می‌باشد که بیان می‌دارد «آلوده کردن رودخانه‌های مرزی و آبهای داخلی و دریای سرزمینی ایران به نفت یا هر نوع مخلوط نفتی، خواه توسط کشتی‌ها و خواه توسط سکوها یا حفاری یا جزایر مصنوعی (اعم از ثابت و شناور) و خواه توسط لوله‌ها و تأسیسات و مخازن نفتی واقع در خشکی یا دریا ممنوع است و مرتکب به حبس جنحه‌ای از شش ماه تا دو سال یا پرداخت جزای نقدی از یک میلیون تا ده میلیون ریال یا به هر دو مجازات محکوم می‌گردد، در صورتی که آلودگی به واسطه بی‌مبالاتی یا بی‌احتیاطی واقع شود، مجازات مرتکب حداقل جزای نقدی مذکور است ...».

اما جرایم و مجازات‌ها در ماده ۴۵ این قانون بیان شده است. براساس این ماده «اشخاص زیر علاوه بر اعاده وضع سابق و جبران خسارت وارده به ۱۰ تا ۵۰ ضربه شلاق و یا از پانزده روز تا سه ماه حبس تأدیبی برحسب موارد جرم به نظر حاکم شرع محکوم می‌شوند:

الف - هرکس عمداً و بدون اجازه دریچه و مقسمی را باز کند یا درتقسیم آب تغییری دهد یا دخالت غیر مجاز در وسائل اندازه‌گیری آب کند یا به نحوی از انحاء امر بهره‌برداری از تأسیسات آبی را مختل سازد.

ب - هرکس عمداً آبی را بدون حق اجازه مقامات مسئول به مجاری یا شبکه آبیاری متعلق به خود منتقل کند و یا موجب گردد که آب حق دیگری به او نرسد.

ج- هرکس عمداً به نحوی از انحاء به ضرر دیگری آبی را به هدر دهد.

د- هرکس آب حق دیگری را بدون مجوز قانونی تصرف کند.

ه- هرکس بدون رعایت مقررات این قانون به حفر چاه ویا قنات ویا بهره‌برداری از منابع آب مبادرت کند.

از نکات جالب این ماده این است که برای آلوده ساختن منابع آبی هیچ ضمانت اجرایی در نظر گرفته نشده است؛ در واقع ماده ۴۶ این قانون بیشتر جنبه اخلاقی به خود گرفته است و این در حالی است که در ماده ۴۵ این قانون برای کسی که به ضرر دیگری آب را هدر دهد، علاوه بر اعاده وضع سابق و جبران خسارت وارده به ۱۰ تا ۵۰ ضربه شلاق و یا از پانزده روز تا سه ماه حبس تأدیبی در نظر گرفته شده است.

قانون مجازات اسلامی تعزیرات ۱۳۷۵:

یکی دیگر از قوانینی که در جهت حمایت کیفری از منابع آبی گام برداشته است، قانون مجازات اسلامی (تعزیرات) مصوب ۱۳۷۵ است. در این قانون تدابیر به نسبت شدیدتری را نسبت به قوانین گذشته شاهد هستیم. مثلاً در ماده ۶۸۸ آمده است «هر اقدامی که تهدید علیه بهداشت عمومی شناخته شود از قبیل آلوده کردن آب آشامیدنی یا توزیع آب آشامیدنی آلوده، دفع غیر بهداشتی فضولات انسانی و دامی و مواد زاید، ریختن مواد مسموم کننده در رودخانه‌ها، زباله در خیابان‌ها و کشتار غیرمجاز دام، استفاده غیرمجاز فاضلاب خام یا پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب برای مصارف کشاورزی ممنوع می‌باشد و مرتکبین چنانچه طبق قوانین خاص مشمول مجازات شدیدتری نباشند به حبس تا یک سال محکوم خواهند شد».

برای ارائه تعریفی مدون از بهداشت محیط بایستی به آیین نامه بهداشت محیط مصوب ۱۳۷۱/۵/۶ هیأت وزیران رجوع کرد که طبق ماده یک آن، بهداشت محیط عبارت است از: کنترل عواملی از محیط زندگی به گونه‌ای که روی سلامت جسمی، روانی و اجتماعی انسان تأثیر می‌گذارند. عنصر مادی این جرم اقدام علیه بهداشت عمومی و آلوده کردن محیط زیست است که از راه‌های مذکور در این ماده و راه‌های مشابه محقق می‌شود و ممکن است در قالب مثبت یا منفی محقق شود (زراعت، ۱۳۸۲).

مشخص نیست که حداکثر یک سال حبس می‌تواند پاسخ مفید و مؤثری در برابر آلودگی‌های زیست محیطی باشد. همچنین نداشتن حداقل مناسب نیز اشکال دیگری است که نباید آن را نادیده گرفت. اگر محکمه‌ای برای آلوده کردن آب آشامیدنی از پاسخ کیفری یک روز حبس استفاده کرد، بدون تردید اقدام وی مخالفتی با این ماده نخواهد داشت؛ اما آیا یک روز حبس می‌تواند پاسخ حمایتی کیفری مناسبی برای این آلودگی باشد، به گونه‌ای که مرتکب دیگر بار نسبت به آلودگی محیط زیست اقدام نکند؟ یا اینکه این گونه حمایت‌ها تشویق کننده نیز هست (قاسمی، ۱۳۹۱).

در تبصره یک ماده ۶۸۸ نیز آمده است «تشخیص اینکه اقدام مزبور تهدید علیه بهداشت عمومی و آلودگی محیط زیست شناخته می‌شود و نیز غیر مجازبودن کشتار دام و دفع فضولات دامی و همچنین اعلام جرم مذکور حسب مورد بر عهده وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، سازمان حفاظت محیط زیست و سازمان دامپزشکی خواهد بود».

از این تبصره این نکته برداشت می‌شود که تشخیص و اعلام جرم تهدید علیه بهداشت عمومی با وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، تشخیص و اعلام جرم آلودگی محیط زیست با سازمان محیط زیست و تشخیص و اعلام جرم کشتار غیر مجاز دام و دفع فضولات دامی بر عهده سازمان دامپزشکی نهاده شده است. علی رغم تبصره یک که اعلام جرم را فقط در صلاحیت سه دستگاه فوق می‌داند، اما با توجه به اینکه جرم مزبور جزئی از جرایم غیر قابل گذشت می‌باشد و حتی در بسیاری از موارد ممکن است اشخاص دیگری از این جرم متضرر شوند، بنابراین اعلام جرم و تعقیب آن از سوی سایر اشخاص حقیقی و حقوقی ممکن است (انصاری، ۱۳۸۳).

خوشبختانه قانونگذار محترم در نگارش این ماده با بیان قید «از قبیل» راه را برای گسترش مصادیق بیشتر در زمینه اقدامات علیه بهداشت عمومی و منابع آبی باز گذاشته است. ضمن اینکه وفق ماده ۶۸۹ این قانون اگر اقدامات انجام شده منتهی به قتل یا نقص عضو یا جراحت و صدمه به انسانی شود، مرتکب علاوه بر مجازات‌های مذکور حسب مورد به قصاص و پرداخت دیه و در هر حال به تأدیه خسارات وارده نیز محکوم خواهد شد.

مواد قانونی دیگری نیز جهت صیانت از تأسیسات آب در قانون مجازات پیش‌بینی شده است؛ به عنوان مثال در ماده ۶۵۹ قانون مجازات اسلامی (تعزیرات) آمده است که «هرکس وسائل و متعلقات مربوط به تأسیسات مورد استفاده عمومی که به هزینه دولت یا با سرمایه دولت یا سرمایه مشترک دولت و بخش غیر دولتی یا به وسیله نهادها و سازمانهای عمومی غیردولتی یا موسسات خیریه ایجاد یا نصب شده مانند تأسیسات بهره‌برداری آب و برق و گاز و غیره را سرقت نماید، به حبس از یک تا پنج سال محکوم می‌شود و چنانچه مرتکب از کارکنان سازمان‌های مربوطه باشد به حداکثر مجازات مقرر محکوم خواهد شد».

همچنین ماده ۶۸۷ این قانون نیز هرگونه اخلاف در تأسیسات عمومی از جمله تأسیسات آبی را جرم‌انگاری کرده است. بر طبق این ماده «هر کس در وسایل و تأسیسات مورد استفاده عمومی از قبیل شبکه‌های آب و فاضلاب، برق، نفت، گاز، پست و تلگراف و تلفن و مراکز فرکانس و ماکروویو (مخابرات) و رادیو و تلویزیون و متعلقات مربوط به آنها اعم از سد و کانال و انشعاب لوله‌کشی و نیروگاه‌های برق و خطوط انتقال نیرو و مخابرات کابل‌های هوایی یا زمینی یا نوری) و دستگاه‌های تولید و توزیع

و انتقال آنها که به هزینه یا سرمایه دولت یا با سرمایه مشترک دولت و بخش غیر دولتی یا توسط بخش خصوصی برای استفاه عمومی ایجاد شده و همچنین در علائم راهنمایی و رانندگی و سایر علائمی که به منظور حفظ جان اشخاص یا تأمین تأسیسات فوق یا شوارع و جاده‌ها نصب شده است، مرتکب تخریب یا ایجاد حریق یا از کار انداختن یا هر نوع خرابکاری دیگر شود، بدون آنکه منظور او اخلال در نظم و امنیت عمومی باشد، به حبس از سه ماه تا ده سال محکوم خواهد شد».

در تبصره یک این قانون آمده است «در صورتی که اعمال مذکور به منظور اخلال در نظم و امنیت جامعه و مقابله با حکومت اسلامی باشد، مجازات محارب را خواهد داشت و همچنین برای شروع به جرایم فوق نیز يك تا سه سال حبس در نظر گرفته است».

قانون مجازات استفاده‌کنندگان غیرمجاز از آب، برق، تلفن، فاضلاب و گاز مصوب ۱۳۹۶:

یکی دیگر از اقدامات تقنینی در حمایت از منابع آبی در سال ۱۳۹۶ و در قانون مجازات استفاده‌کنندگان غیرمجاز از آب، برق، تلفن، فاضلاب و گاز به چشم می‌خورد. با آمدن این قانون ماده ۶۶۰ قانون مجازات اسلامی (کتاب پنجم - تعزیرات و مجازات‌های بازدارنده) مصوب ۱۳۷۵ و اصلاحات بعدی آن نسخ گردید.

بر طبق ماده یک این قانون "هر شخصی بدون دریافت انشعاب قانونی آب، برق، گاز و شبکه فاضلاب و اشتراک خدمات ارتباطی و فناوری اطلاعات مبادرت به استفاده از خدمات مزبور نماید و یا با داشتن انشعاب مبادرت به استفاده غیرمجاز نماید، علاوه بر الزام به پرداخت بهای خدمات مصرفی و جبران خسارت و سایر حقوق مربوطه به شرح زیر جریمه می‌شود:

الف- درخصوص مصارف خانگی به جزای نقدی درجه شش

جمع‌بندی

از مهمترین مسائلی که در سطح ملی و بین‌المللی حمایت از آن ضروری به نظر می‌رسد، حقوق آب است. در کشور ایران نیز به دلیل بحران منابع آبی که به دلایل گوناگونی چون سوء مدیریت و حکمرانی نامناسب، رشد جمعیت، توسعه صنایع، موقعیت اقلیمی و آب و هوایی ایران، اهمیت این مسأله بیشتر جلوه می‌کند. حمایت از حقوق آبی در بدو امر نیاز به وجود یک عزم جدی و وجود برنامه‌ریزی دقیق دارد. در بعد حقوقی تعدد و پراکندگی و بعضاً تراکم در قوانین موجود در زمینه حقوق آب که گاهی به صورت متروکه هم درآمده‌اند، باعث ایجاد چالش‌ها و سردرگمی‌های بسیاری در ایران حتی برای اهل فن شده است. لذا وجود یک قانون جامع و اختصاصی نظیر لایحه قانون جامع آب ایران، در زمینه حقوق آب امری بدیهی و ضروری است؛ چرا

موضوع ماده ۱۹ قانون مجازات اسلامی مصوب ۱۳۹۲ و در مصارف غیرخانگی به یک تا دو برابر بهای خدمات مصرفی.

ب- در صورت تکرار حسب مورد به حداکثر جریمه مقرر در بند (الف) و قطع انشعاب به مدت سه ماه تا شش ماه.

ماده ۲ این قانون نیز بیان می‌دارد "هر شخصی به هر طریق مبادرت به هر نوع تصرف یا تغییری در وضعیت دستگاه‌های اندازه‌گیری آب، برق، گاز، تلفن و یا شبکه فاضلاب نماید به نحوی که منجر به اخلال در کارکرد صحیح و ثبت ارقام مصرفی گردد، علاوه بر الزام به اعاده وضع به حال سابق، به پرداخت بهای خدمات مصرفی و جبران خسارت و جزای نقدی درجه شش موضوع ماده ۱۹ قانون مجازات اسلامی مصوب ۱۳۹۲ محکوم می‌گردد.

تبصره ۱- در مواردی که مرتکب از مأموران دستگاه‌های ذی‌ربط باشد و یا ارتکاب جرم موضوع این ماده به صورت سازمان یافته صورت گیرد مرتکب یا مرتکبان به حداکثر مجازات مقرر محکوم می‌شوند.

تبصره ۲- مبنای محاسبه جریمه‌ها در مواد ۱ و ۲ بالاترین نرخ تعرفه می‌باشد."

لایحه قانون جامع آب ایران:

همان‌طور که در مقدمه این لایحه بیان شده این لایحه با هدف تهیه بستر حقوقی مناسب تحولات آتی مدیریت آب کشور، حل معضلات و چالش‌های حقوقی آن و رفع پراکندگی و تعارض قوانین موجود آب در چارچوب يك قانون مادر تنظیم شده است. این لایحه ضمن توجه ویژه به مسائل آلودگی، اقتصاد و سرمایه‌گذاری آب، در فصل پنجم به تخلفات و جرائم و جبران خسارات در حوزه آب می‌پردازد. از نوآوری‌های این لایحه می‌توان به ایجاد شعبه ویژه‌ای جهت رسیدگی به شکایات و دعاوی مربوط به امور آب در هر دادگستری استان و پیش‌بینی مسئولیت برای اشخاص حقوقی اشاره کرد.

که یکی از مهمترین عناصر جهت حمایت از حقوق آب در هر زمان و مکان، بیان سیاست‌های کلی کیفری و غیر کیفری در قبال منابع آبی است. منتها این قانون باید طوری تنظیم شود که علاوه بر خروج کشور از این چالش‌ها و سردرگمی‌ها، به اصلاح ساختار مدیریت و حکمرانی کشور کمک کرده و قابلیت اجرایی هم داشته باشد و دارای ضمانت اجراهای محکم کیفری و غیر کیفری باشد. افزون بر این، حمایت از فناوری‌های نوین در حوزه مدیریت منابع آب، برخورد قاطع و محکم با متخلفین و مجرمین در حوزه منابع آبی، فرهنگ‌سازی و آموزش به مردم و دستگاه‌های مرتبط اجرایی جهت نهادینه کردن حفاظت از منابع آبی، ایجاد محدودیت‌های اجباری بر مصرف بی‌رویه آب در طول دوره کمبود، نظارت مستمر مسئولان مربوطه و آگاهی دادن و آموزش به کشاورزان و صاحبان صنایع و فرهنگ‌سازی در این زمینه، افزایش بهای آب به خصوص در بخش مصارف خانگی

reprinted in 11 I.L.M. 1416 (1972). See also Harald Hohmann, Basic Documents of International Environmental Law, 21 (Graham and Trotman 1992).

10- See Report of the United Nations Water Conference, Mar del Plata, March 14–25, 1977, U.N. Publication, Sales No. E.77.II.A.12 (1977). The United Nations General Assembly adopted on December 19, 1977, the Report of the United Nations Water Conference and approved the Mar del Plata Action Plan as well as the other agreements reached at the Conference. The General Assembly also urged the member states and all organizations of the United Nations system to take intensified and sustained action for the implementation of the agreements reached at the Conference. See U.N. Resolution 32/158, 107th Plenary Meeting, December 19, 1977.

11- The Report of the United Nations Water Conference urged that the Decade “. . . should be devoted to implementation of the national plans for drinking water supply and sanitation in accordance with the Plan of Action contained in Resolution II below. This implementation will require a concerted effort by countries and the international community to ensure a reliable drinking water supply and provide basic facilities to all urban and rural communities . . .” (emphasis added).

12- International Decade for Action Water for Life 2005–2015: <http://www.un.org/waterforlifedecade> World Water Day web-site: www.unwater.org/wwd07

13- Message from Beppu, 1st Asia-Pacific Water Summit, Beppu, Japan, 3-4 December 2007.

14- See, for instance, the constitutions of Cambodia, Colombia, Eritrea, Ethiopia, Gambia, Iran (Islamic Republic of), Mexico, Nigeria, Panama, Philippines, Portugal and Zambia.

منابع

انصاری، ب. ۱۳۸۳. مطالعه تطبیقی حقوق حاکم بر محیط زیست آبی در حقوق موضوعه ایران. مجموعه مقالات همایش حقوق محیط زیست ایران. خرم آباد. ایران.
خالقی، ا. و رشنودی، ح. ۱۳۹۱. سیاست تقنینی کیفری ایران در صیانت از منابع آب با عنایت به اسناد بین‌المللی. پژوهش

و اقداماتی از این قبیل، بسیار مورد نیاز است تا از این طریق نیز توانسته باشیم گامی در جهت شناخت جایگاه حقیقی این ماده حیاتی برداشته و با مصرف درست آن به حقوق آیندگان نیز جهت بهره‌برداری از این منابع احترام بگذاریم.

پی‌نوشت

1- United Nations, Water Scarcity. Available at: <http://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.Shtml>.

2- General Comment No. 15 (2002), Economic and Social Council, 20.01.2003, E/C.12/ 2002/11.

3- The Convention on the Elimination of All Forms of Discrimination against Women (CEDAW), adopted in 1979 by the UN General Assembly, available at <http://www.un.org/women/watch/daw/cedaw/>.

4- Adopted and opened for signature, ratification and accession by General Assembly resolution 44/25 of 20 November 1989. Entry into force 2 September 1990, available at: <http://www2.ohchr.org/english/law/crc.htm>.

5- a Protocol on Water and Health to the 1992 Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes.

6- The Convention on the Rights of Persons with Disabilities was adopted on 13 December 2006 during the sixty-first session of the General Assembly by resolution A/RES/61/106. The Convention and its Optional Protocol opened for signature by all States and by regional integration organizations at United Nations Headquarters in New York on 30 March 2007. Available at <http://www.un.org/disabilities/convention/conventionfull.shtml>.

7- African Convention on the Conservation of Nature and Natural Resources, 2003.

8- Resolution A/64/L.63/Rev.1. The human right to water and sanitation, of July 26, 2010, available at http://www.internationalwaterlaw.org/documents/intldocs/UNGA_Resolution_HR_to_Water.pdf.

9- For the full text of the Stockholm Declaration see Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment, June 16, 1972, U.N. Doc. A/CONF.48/14/Rev.1, Sales No. E. 73.II.A.14 (1973);

ناصری، م. ۱۳۹۴. هم‌اندیشی بحران آب با محوریت آب‌های زیرزمینی، معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی مجلس. تهران.

France R. 2002. Handbook of Water-Sensitive Planning and Design. CRC, Boca Raton. Special issue of Water Nepal. 409 pp.

Moench M., Dixit A. and Caspari E. 2003. Water, Human Rights and Governance: Issues, Debates and Perspectives, Water Nepal:10(1):1-9.

Pain N. 2003. Criminal and Environmental protection overview of issues and themes. Australian.

Thompson J. porras I. tumwine J. mujwahuzi M. katui-katua M. johnstone N. wood L. 2001. Drawers of Water II. 30 years of change in domestic water use an environmental health in east in Africa summary. International institute for environment and development. London. English.

Wolf A. 2009. Transboundary Freshwater Dispute Database. Oregon State University, Corvallis. <http://www.transboundarywaters.orst.edu/>. Accessed on May 14, 2009.

حقوق کیفری، ۳: ۱۱۹-۱۴۱.

درخور، م. فرجی‌راد، ع. و میرهاشمی، ع. ۱۳۹۲. بحران آب و نتایج زیست‌محیطی آن در آسیای مرکزی. مطالعات اوراسیای مرکزی، ۱۲: ۵۴-۴۱.

رمضانی قوام‌آبادی، م. ۱۳۸۸. حمایت کیفری از گونه‌های جانوری. علوم محیطی، ۲: ۷۷-۹۴.

ریوچی، ه. ۱۳۵۸. حمایت کیفری محیط زیست. گزارش کلی به دهمین کنگره بین‌المللی حقوق تطبیقی، ترجمه دکتر هادی خراسانی، نشریه مؤسسه حقوق تطبیقی. ۶: ۵-۲۸.

زراعت، ع. ۱۳۸۲. شرح قانون مجازات اسلامی. بخش تعزیرات. نشر ققنوس. تهران.

شاه‌ملک‌پور خشک‌بیجاری، ح. ۱۳۸۳. از جرم‌انگاری تا جرم‌زدایی در عرصه حقوق محیط زیست. مجموعه مقالات همایش حقوق محیط زیست ایران. خرم‌آباد. ایران.

قاسمی، ن. ۱۳۹۱. حقوق کیفری محیط زیست. نشر جمال الحق. تهران.

مظاهری، م. ۱۳۹۴. هم‌اندیشی بحران آب با محوریت آب‌های زیرزمینی. معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی مجلس. تهران.

مولائی، ی. ۱۳۸۶. نسل سوم حقوق بشر و حق بر محیط زیست سالم. فصلنامه حقوق، ۴: ۲۷۳-۲۹۶.



نشر مجلات علمی- حرفه‌ای (علمی- ترویجی) راه‌کاری موثر در افزایش روزآمدی دانش مهندسان می‌باشد. علیرغم اینکه در کشور ما در زمینه علوم آب منابع اطلاع رسانی و مجلات متعددی وجود دارد اما جایگاه نشریاتی که بتوانند تجربیات کاربردی دست اندرکاران را به روشی علمی به نظر سایر کارشناسان برسانند خالی است.

هدف این نشریه کمک به بهبود روش‌های اجرایی در عرصه مهندسی آب از طریق انتشار تجربیات موفق اجرایی و نتایج تحقیقات کاربردی است. در این راستا این نشریه به صورت هدفمند، در مراکز علمی و اجرایی تأثیرگذار و مرتبط با بخش آب در سراسر کشور توزیع می‌گردد. این مراکز عبارتند از:

o استانداری‌ها

o شرکت مدیریت منابع آب کشور

o کلیه شرکت‌های آب منطقه‌ای کشور

o شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

o کلیه شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و روستایی

o پژوهشکده‌ها و مراکز تحقیقاتی مرتبط با بخش آب

o اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان‌ها

o اداره کل حفاظت محیط زیست استان‌ها

o دفاتر مدیریت آب و خاک و فنی مهندسی جهاد کشاورزی استان‌ها

o شرکت‌های مشاور در رشته آب دارای رتبه‌های یک و دو

o پیمانکاران مرتبط با رشته آب دارای رتبه‌های یک تا سه

o شرکت شهرک‌های صنعتی استان‌ها

o کارخانجات تولید کننده تجهیزات مرتبط با صنعت آب و فاضلاب

o گروه‌های مهندسی عمران، منابع طبیعی، کشاورزی و بهداشت در

دانشگاه‌ها و کتابخانه‌های آن‌ها

دامنه موضوعی نشریه محدود به کاربردهای آب در صنعت، شهر

و کشاورزی و نیز رابطه متقابل آنها با منابع آب، از دیدگاه علمی-

کاربردی خواهد بود. بر این اساس، محتوای موضوعی مقالات در این

نشریه شامل: ۱- آب، اقتصاد و مدیریت ۲- کیفیت آب و فاضلاب ۳-

انتقال آب و سازه‌های آبی ۴- آبیاری و کشاورزی ۵- منابع آب سطحی

۶- منابع آب زیرزمینی ۷- مدیریت منابع آب خواهد بود.

همچنین مقاله می‌تواند در یکی از انواع جدول زیر ارائه شود.

چارچوب مقالات مطالعه موردی: این گروه از مقالات با ساختار مقاله

علمی پژوهشی (عنوان، چکیده فارسی و واژه‌های کلیدی به زبان

فارسی و انگلیسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری،

پیشنهادهای کاربردی و منابع) ارائه شوند.

چارچوب سایر انواع: این گروه از مقالات شامل عنوان، چکیده فارسی

و واژه‌های کلیدی به زبان فارسی و انگلیسی، مقدمه در شروع و

جمع‌بندی و پیشنهادات کاربردی در انتها می‌باشند. عناوین دیگر در

بدنه‌ی مقاله به انتخاب نویسنده گذاشته می‌شود.

نوع مقاله	قالب مقاله	توضیحات
انتقال مفاهیم	(مقاله کامل یا کوتاه / داخلی / ترجمه)	معرفی یک مفهوم که تاکنون در کشور به درستی یا اصلاً معرفی نشده است.
معرفی تکنولوژی، روش و ابزار	(مقاله کامل / داخلی / ترجمه)	۱- معرفی تکنولوژی و روش برای اولین بار در کشور (مطالعه موردی می‌تواند یکی از انواع این نوع مقاله باشد) ۲- معرفی یک وسیله/ مدل کاربردی برای حل مسائل مدیریتی/ مهندسی آب (مدل‌ها، نرم افزارها، سامانه‌ها و ...). موضوعات این نوع مقالات در حوزه کاربرد چالش برانگیز/ مورد نیاز است.
انتقال تجربه	(مقاله کامل یا کوتاه / داخلی / ترجمه)	۱- معرفی یک روش عملی/ اجرایی/ اداری که نتایج مطلوبی در پی داشته است. تجربه‌های کسب شده توسط سازمان‌ها، دستگاه‌های اجرایی یا مشاورین می‌تواند از این نوع باشد. ۲- بررسی کارایی روش در شرایط خاص ضمن مقایسه با نتایج پیشین. (نتیجه یک تحقیق کاربردی/ مطالعه موردی می‌تواند از این نوع باشد)
مروری	مقاله کامل (داخلی/ ترجمه)	یک موضوع خاص مورد توجه وسیع قرار می‌گیرد و کلیه مسائل (روش‌ها/ مزایا و معایب آنها) مرور می‌شود. موضوعات این نوع مقالات بایستی در حوزه کاربرد چالش برانگیز/ مورد نیاز باشد.
یادداشت فنی	داخلی/ ترجمه	۱- طرح موضوع/ چالش/ سؤال و سپس ارائه فرضیه یا راه حل فرضی ۲- نقد مقالات چاپ شده قبلی

راهنمای نگارش مقاله



و روان بوده و از ۱۵ واژه تجاوز نکند. ابتدای واژه‌های اصلی عنوان انگلیسی مقاله با حروف بزرگ (Capital) نوشته شود.

• چکیده باید در عین مختصر بودن، به روشنی گویای محتوای مقاله باشد و با تأکید بر روش‌ها، نتایج و اهمیت کاربرد آن بوده و در آن از کلمات اختصاری مبهم استفاده نشود. متن چکیده از ۲۵۰ کلمه تجاوز نکرده و تمام آن در یک پاراگراف نوشته شود. چکیده انگلیسی باید

• متن مقاله لازم است در محیط Word در ابعاد A4 با ۲/۵ سانتی‌متر حاشیه از هر چهار طرف به صورت یک ستونه و با قلم Adobe Arabic اندازه ۱۴ و فاصله خطوط ۱/۱۵ حداکثر در ۱۰ صفحه نگاشته شود. همه عناوین موجود در متن مقاله از جمله چکیده، مقدمه و ... نیز با همین قلم ولی Bold باشند.

• عنوان مقاله در وسط صفحه اول نوشته شود. عنوان مقاله باید کوتاه

ترجمه کامل چکیده فارسی باشد.

• واژه‌های کلیدی حداکثر ۵ کلمه و بعد از متن چکیده‌های فارسی و انگلیسی نوشته شود.

• مقدمه باید شامل اطلاعات مربوط به سابقه کار، توجیه اهمیت تحقیق و هدف بررسی باشد.

• مواد و روش‌ها باید به طور مشخص و روشن بیان شود. اگر روش تحقیق از یک منبع گرفته شده فقط به ذکر مأخذ اکتفا شود. همچنین از شرح کامل روش‌های اقتباس شده خودداری کرده و به ذکر منابع آن بسنده شود.

• نتایج و بحث باید شامل تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده در ارتباط با کار تحقیق مورد نظر باشد. عنوان جدول در بالا و با فرمت وسط چین نوشته و گویای نتایج مندرج در آن باشد. هر جدول با یک خط افقی از عنوان آن و سر جدول با یک خط افقی از متن جدول جدا و در زیر متن جدول نیز یک خط افقی کشیده شود. در صورت لزوم می‌توان برای تقسیم سر جدول از خطوط افقی در داخل کادر سر جدول استفاده کرد. از کشیدن هر گونه خط عمودی در جدول خودداری شود.

• عنوان شکل در پایین و با فرمت وسط چین نوشته و معرف محتوای ارایه شده در آن باشد. از اعداد انگلیسی در محورهای افقی و عمودی در شکل‌ها استفاده شود. تمامی نمودارها نیز با عنوان شکل ارائه شوند. • عناوین اشکال و جداول با فونت متن به اندازه ۲ واحد کوچکتر به صورت شکل ۱- نوشته شود.

• در صورت استفاده از نمودار، اشکال و تصاویر در مقاله، باید فایل اصلی آنها نیز به همراه مقاله ارسال شود.

• منابع مورد استفاده باید شامل جدیدترین اطلاعات در زمینه کار مورد نظر باشد. فهرست منابع به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی نویسندگان مقاله مرتب شود. وقتی از چند اثر مختلف یک نویسنده استفاده می‌شود ترتیب شماره‌گذاری این مقاله‌ها بر حسب سال انتشار آنها (از قدیم به جدید) انجام گیرد. در فهرست منابع ابتدا منابع فارسی و در ادامه آن، منابع خارجی نیز ارائه شود.

• منابع موجود در متن مقاله با استفاده از روش نام و سال در داخل پرانتز (افتخاری، ۱۳۸۵) و اسامی بیشتر از دو نفر همراه با واژه همکاران (افتخاری و همکاران، ۱۳۸۵) ذکر شود. کلیه اسامی لاتین اشخاص در متن به صورت انگلیسی نوشته شود (Argue, ۲۰۰۴b).

• در متن مقاله تا حد امکان از نوشتن کلمات غیرفارسی خودداری شود (در صورت نیاز استفاده از پاورقی مجاز است).

• دستورهای نقطه‌گذاری (Punctuation) در نوشتار متن رعایت شود. مثلاً گذاشتن فاصله قبل از نقطه (.) و کاما (,) و علامت سوال (?) لازم نیست، ولی بعد از آنها، درج يك فاصله لازم است.

• واحدهای اندازه‌گیری بر اساس سیستم SI گزارش شوند.

• در صورت نیاز، بخش‌های سپاسگزاری و پیشنهادات می‌توانند به صورت خلاصه به متن مقاله اضافه شوند.

• پی‌نوشت: شامل برابر نهادهای لاتین و توضیحات ضروری درباره اصطلاحات و مطالب مقاله، باید به ترتیب با شماره در متن و با عنوان پی‌نوشت در انتهای مقاله، قبل از منابع درج گردد.

• از قالب‌های زیر برای ارایه فهرست منابع استفاده شود (پاراگراف مربوط به هر يك از منابع دارای فرمت بیرون آمدگی سطر اول (Hanging) باشد:

۱. مقالات: نگارنده‌گان. سال. عنوان مقاله. عنوان مجله، جلد (شماره) مجله: شماره صفحات.

قهرمان، ب.، حسینی، س.م. و عسگری، ح.ر. ۱۳۸۲. کاربرد زمین آمار در ارزیابی شبکه‌های پایش کیفی آب زیرزمینی. نشریه علمی-پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و گرایش‌های وابسته)، ۱۴(۵۵-۵): ۹۸۱-۹۷۱. Sparks D.L., Thompson H.A. and Gupta H.V. 2009. Visible changes in macro mica particles that occur with nickel depletion. Water, Air and Soil Pollution, 31:217-230.

۲. کتب: نگارنده(گان). سال. عنوان کتاب. جلد. انتشارات. نوبت چاپ. شهر، کشور.

علیزاده، ا. ۱۳۸۵. طراحی سیستم‌های آبیاری. جلد ۱: طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. دانشگاه امام رضا (ع). مشهد. Lindsay W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, New York.

۳. همایش‌ها: نگارنده‌گان. سال. عنوان مقاله. عنوان همایش. محل همایش، شهر، کشور.

Berrada B. 2004. Options for water management during drought. In E.D. Martin (ed.) Proceedings of the 4th Annual Four Corners Irrigation Workshop, 8-10 Jul. 2004. Soil and Water Conserv. Soc., New Mexico, USA. (p. 29-37)

ایزدی، ع.، علیزاده، ا.، داوری، ک. و قهرمان، ب. ۱۳۸۶. مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: دشت نیشابور). نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۴. درگاه الکترونیکی (Web site): نام. آدرس وبگاه. تاریخ بازدید. <http://www.informaworld.com/content/Ua/V.24-2-2004/article9.htm> (visited 5 September 2010).

۵. منابع بی‌نام: در صورت عدم وجود نام شخص یا اشخاص حقیقی به عنوان نویسنده باید از نام شخص حقوقی (نام سازمان) استفاده شود. • همراه هر مقاله يك صفحه جداگانه که در آن عنوان کامل مقاله، تاریخ و محل انجام تحقیق، نام، نام خانوادگی، محل خدمت، مدرک تحصیلی، رتبه علمی نویسنده یا نویسندگان و همچنین آدرس پستی، ایمیل، تلفن ثابت و همراه نویسنده مسئول ارسال گردد.

• فایل اسکن شده تعهدنامه در سامانه نشریه بارگذاری شود. • مقاله‌ای که فرمت نشریه را دارا نباشد و یا فایل تعهدنامه امضا شده ارسال نشده باشد، در جلسه هیأت تحریریه نشریه مطرح نمی‌شود. • مقاله نباید در هیچ يك از نشریات کشور به چاپ رسیده یا همزمان برای مجلات دیگر ارسال شده باشد.

• پس از طی مراحل داوری مقاله، اصلاحات احتمالی به اطلاع نگارنده مسئول می‌رسد و پس از انجام اصلاحات مورد نظر داوران، بایستی فایل مقاله در سامانه نشریه بارگذاری شود.

• پس از طی مراحل داوری مقالات، ایرادات فنی مقاله توسط سردبیر بررسی می‌شود و پذیرش مقاله منوط به رفع این اشکالات است. • در صورتیکه مقاله برای چاپ پذیرفته نشود، به نویسنده اطلاع داده خواهد شد.

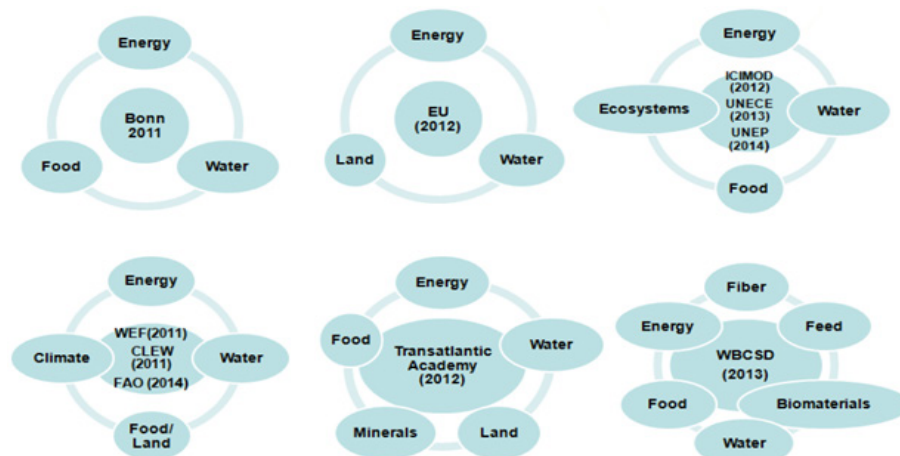
• نشریه در رد یا قبول و حک و اصلاح مقاله تا قبل از تأیید توسط سردبیر آزاد است.

مقدمه

پیش‌بینی‌های جهانی نشان می‌دهد که با توجه به رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، پیشرفت فناوری، شهرنشینی، تقاضای رو به رشد برای غذا و رژیم‌های متنوع غذایی، تغییرات اقلیم، تخریب منابع و کمبود آب، تقاضا برای آب شیرین، انرژی و غذا در دهه‌های آینده افزایش خواهد یافت (Hoff, 2011). در حال حاضر، کشاورزی با مصرف حدود ۷۰ درصد از مجموع کل منابع آب شیرین جهان به عنوان بزرگترین مصرف‌کننده آب به حساب می‌آید. آب برای تولید محصولات کشاورزی و در کل زنجیره تأمین مواد غذایی و کشاورزی و نیز برای تولید، حمل و نقل و استفاده از تمام فرم‌های انرژی استفاده می‌شود. در عین حال، تولید و زنجیره تأمین مواد غذایی حدود ۳۰ درصد از کل انرژی جهانی را نیز مصرف می‌کند (FAO, 2014). انتظار می‌رود که این وضعیت در آینده نزدیک، تشدید شود، زیرا پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۵۰ به دلیل تقاضای بیشتر مواد مغذی و با کیفیت بهتر، ۶۰ درصد غذای بیشتر تولید گردد. انرژی مصرفی جهان نیز سیری صعودی داشته به نحوی که تا سال ۲۰۳۵ نزدیک به ۵۰ درصد و تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۸۰ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین پیش‌بینی شده است، هزینه‌های تأمین آب تا سال ۲۰۲۵ در کشورهای در حال توسعه، حدود ۵۰ درصد و در کشورهای توسعه یافته، ۱۸ درصد افزایش خواهد یافت (FAO, 2014). با افزایش فشار

مصرف بر منابع و با وجود روابط پیچیده و اثرات متقابلی که منابع بر یکدیگر دارند، لزوم نگرشی نو در شناسایی و تحلیل این روابط برای پایداری منابع ارزشمند آب، خاک، انرژی و ... غیرقابل انکار است. همبست آب و انرژی و غذا^۱ (WEFN) نگرشی است که این توانمندی را بدست می‌دهد (You and Garcia, 2016).

به طور عملی، همبست آب، انرژی و غذا (WEFN) را می‌توان به عنوان رویکردی برای ارزیابی، توسعه و اجرای سیاست‌هایی که به طور همزمان بر امنیت آب، انرژی و غذا تأکید می‌کند، تعریف کرد (Bizikova و همکاران، 2014). به طور دقیق‌تر، WEFN رویکردی مفهومی و تحلیلی برای سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی ارائه کرده و چارچوبی برای مدیریت هماهنگ و استفاده از منابع طبیعی در تمام بخش‌ها و مقیاس‌ها پیشنهاد می‌دهد (FAO, 2014). منابع مفهوم‌های مختلف WEFN را که در دامنه، اهداف و درک عوامل محرک و مؤثر متفاوت است، برجسته می‌کنند. شکل (۱) جنبه‌های چندبخشی همبست را نشان می‌دهد. مشخص است که با گذشت زمان، سازمان‌ها تلاش کرده‌اند، دامنه را گسترش دهند و دیگر مسائل مرتبط با نگرانی‌های خاص خود را اضافه نموده‌اند. در این چارچوب‌ها مطلب قابل توجه این است که با وجود افزودن بخش‌های مختلف، همبست بین آب، انرژی و غذا/زمین در هسته چارچوب‌های مفهومی باقی‌مانده است (El Costa, 2015).



شکل ۱- برخی از چارچوب‌های مفهومی برای نشان دادن پیوند منابع (منبع ESCWA)

و اجتماعی بدون ایجاد زیان بر پایداری اکوسیستم‌ها و محیط‌زیست را ترویج می‌کند» معرفی گردید (GWP, 2010). رویکرد Nexus مکمل مدیریت جامع منابع آب^۲ (IWRM) است. تفاوت اساسی آنها این است که هدف رویکرد IWRM آشتی نیازهای متنوع ذینفعان مختلف به منابع است؛ که ممکن است این منابع شامل بخش‌های غذایی و انرژی نباشد. در حالی

تجمع نگرش همبست با مدیریت جامع منابع آب مشارکت جهانی آب^۳ (GWP) با هماهنگی چندین سازمان ملی و جهانی در سال ۱۹۹۶ برای حمایت از مدیریت جامع منابع آب تاسیس شد. مدیریت جامع منابع آب از سوی GWP به عنوان «فرآیندی که توسعه و مدیریت هماهنگ آب، زمین و منابع مرتبط با آن به منظور به حداکثر رساندن رفاه اقتصادی

که، اولاً WEFN شامل غذا و انرژی نیز می گردد؛ و ثانیاً تمرکز آن بر روابط داخلی این منابع با یکدیگر است. بایستی توجه نمود که آب در مقایسه با منابع غذایی و انرژی که حتی قابلیت انتقال بین قاره ای دارند منبعی نسبتاً محلی تر است. رویکرد IWRM نقش موثری در فعالیت های مربوط به آب در یک حوضه آبریز

ضرورت توجه به تفکر نکسوس

غذا و آب برای وجود انسان ضروری است و انرژی کلید توسعه انسانی است. آب، انرژی و غذا ارتباط قوی با یکدیگر دارند و نقش مهمی در دستیابی به اهداف توسعه پایدار ایفا می کنند. کاهش سطح آب، تهدیدی برای پایداری کشاورزی، تولید مواد غذایی، سلامت و محیط زیست است و دسترسی به این منابع و مدیریت پایدار آنها، پایه و اساس توسعه پایدار است. بنابراین استفاده کارآمد از این منابع محدود برای توسعه پایدار امری ضروری است.

در کنفرانس ریو ۲۰۲۰ در سال ۲۰۱۲ تحت عنوان "آینده ای که می خواهیم" مجموعه ای متشکل از ۱۷ بند به عنوان اهداف توسعه پایدار توسط سازمان ملل متحد ارائه گردید. موضوع آب، انرژی و غذا به طور مستقیم و غیر مستقیم با ۱۲ بند ارتباط دارد. برای دستیابی همزمان به ۱۷ هدف از فقرزدایی، امنیت غذایی، عدالت جنسیتی تا سلامت، مصرف پایدار و حفاظت از تنوع زیستی و... نیاز به درک متابولیسم پیچیده و همکاری آنهاست. "Nexus thinking" یا "تفکر سیستمی" به جای بخش های فردی، کلیه، بازخوردها و ارتباطات را مورد توجه قرار می دهد، و می تواند به تغییر سیستم ها از طریق مداخلات هدفمند در "گره های بحرانی" (Alcamo, ۲۰۱۵) منجر شود. رویکرد "نکسوس" با شمار زیادی از مسائل مربوط به سیاست های زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی در ارتباط است و طیف وسیعی از حوضه های مهندسی را در بر می گیرد.

صرفه جویی آب و انرژی یکی از مهم ترین زمینه های توسعه پایدار در سراسر جهان می شود. صرفه جویی در انرژی می تواند فشار را بر منابع آب کاهش دهد، زیرا آب مورد نیاز برای تولید انرژی می تواند

پی نوشت

- 1- Water energy food Nexus
- 2- Global Water Partnership
- 3- Integrated Water Resource Management

منابع

- Bizikova L., Roy D., Venema H. D., McCandless M., Swanson D., Khachtryan A. and Zubrycki K. 2014. Water-Energy-Food Nexus and Agricultural Investment: A Sustainable Development Guidebook. International Institute for Sustainable Development.
- El Costa D. 2015. Conceptual Frameworks for Understanding the Water, Energy and Food Security Nexus Working Paper 1, (February), 1-27. <https://doi.org/10.1111/gec3.12222>
- FAO. 2014. Walking the Nexus Talk: Assessing the Wa-

دارد. از طرف دیگر، مرز یک مطالعه WEFN می تواند بسته به تمرکز مطالعه متغیر باشد: منطقه ای، ملی، استانی و حتی محلی. همچنین بسته به نوع مسئله، رویکرد WEFN قابلیت تمرکز بر یک بخش خاص در سیستم را دارد در حالی که تمرکز IWRM بر منابع آب است (Mohtar و Lawford, ۲۰۱۶).

ذخیره شود یا مجدد تخصیص داده شود. و افزایش بهره وری آب همچنین می تواند مقدار انرژی مصرف شده برای انتقال، حرارت و تصفیه آب را کاهش دهد. بنابراین وجود تفکر نکسوس می تواند به عنوان کلید توسعه پایدار در نظر گرفته شود.

در سال ۲۰۱۵، بنیاد ملی علوم ایالات متحده فراخوانی با اعتبار مالی ۵۰ میلیون دلار برای پیشبرد تحقیقات در زمینه پیوند مواد غذایی، انرژی و آب (FEW)، منتشر کرد. چنین بودجه تحقیقاتی نشان می دهد که نکسوس به یک استعاره قدرتمند برای انتقال وابستگی های متقابل بین جامعه و سیستم های طبیعی تبدیل شده است. کلید تفکر نکسوس، تعامل بین امنیت FEW است. از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵، ۲۹۱ سازمان از سازمان های سیاسی، تجاری تا موسسات علمی در فعالیت های امنیتی FEW مشارکت داشتند. سیستم های آب-انرژی-غذا به گونه ای به یکدیگر متصل هستند که اقدام در یکی از آنها اغلب بر دیگران تأثیر می گذارد. بنابراین، به منظور کاهش تبادلات و افزایش همکاری ها، روش های یکپارچه برای تجزیه و تحلیل، برنامه ریزی و تصمیم گیری باید به کار گرفته شود. همبستگی و ارتباط قوی بین منابع آب-انرژی-غذا و ارتباط تنگاتنگ آنها با مسایل زیست محیطی، تغییر اقلیم، اقتصادی، اجتماعی، سیاست گذاری و... نیازمند همکاری بخش های ذینفع است، به طوری که مدیریت نظام مند در میان بخش های مذکور در جهت دستیابی به اهداف نکسوس و توسعه پایدار ضروری است. برنامه ریزی و سیاست گذاری میان بخش ها و سازمان های درگیر برای دستیابی به نقطه مشترک نیازمند ایجاد گفت و گو میان ذی نفعان و سازماندهی اهداف متضاد در جهت ایجاد همکاری و کاهش مداخلات است.

ter-Energy-Food Nexus in the Context of the Sustainable Energy for All Initiative. Retrieved from <http://www.fao.org/publications/card/en/c/f065f1d5-2dda-4df7-8df3-4def-b5a098c8/>

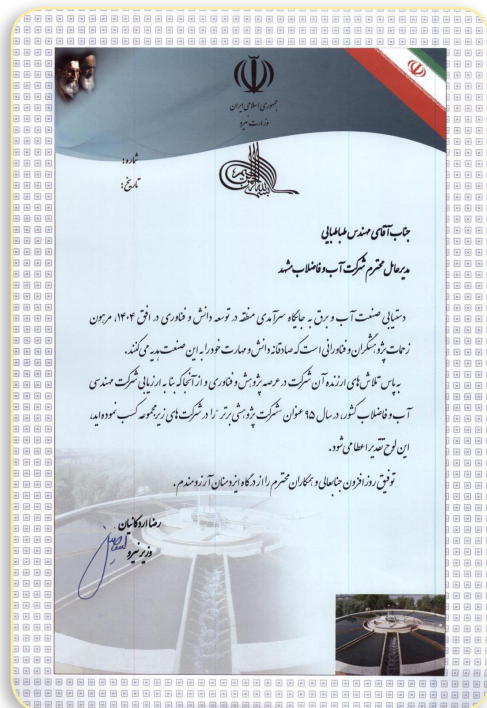
Garcia D. J., and You F. 2016. The water-energy-food nexus and process systems engineering: a new focus. Computers & Chemical Engineering, 91: 49-67.

Hoff H. 2011. Understanding the nexus. background paper for the Bonn 2011 Conference: the water, energy and food security nexus. Stockholm Environment Institute, Stockholm.

Mohtar R. H., and Lawford R. 2016. Present and future of the water-energy-food nexus and the role of the community of practice. Journal of Environmental Studies and Sciences, 6(1): 192-199. <https://doi.org/10.1007/s13412-016-0378-5>

تشکیل کمیته مدیریت فناوری: حمایت از توسعه و تولید محصولات دانش‌بنیان

پژوهشگران، مخترعین، شرکت‌های دانش بنیان و... دارای ایده‌های نو در حوزه صنعت آب و فاضلاب می‌توانند با تکمیل «کاربرگ عرضه فناوری» و ارائه ایده خود از حمایت‌های شرکت آبفا مشهد در راستای توسعه، تولید و کاربردی نمودن آن بهره‌مند شوند.



سامانه محقق و زیرپورتال تحقیقات

<http://research.abfamashhad.net>

<http://rd.abfamashhad.ir>

کلیه پژوهشگران علاقمند می‌توانند با مراجعه به زیرپورتال تحقیقات آبفا مشهد با فعالیت‌ها و اولویت‌های پژوهشی این شرکت آشنا شوند. همچنین، کلیه مراحل دریافت پروپوزال و نیازهای پژوهشی و داوری آن‌ها صرفاً از طریق سامانه جامع نرم‌افزاری تحقیقات (سامانه محقق) امکان‌پذیر بوده و



پژوهشگران گرامی پس از ثبت نام در سامانه قادر خواهند بود پروپوزال‌ها و نیازهای پژوهشی پیشنهادی خود را ثبت و ارسال نمایند.

تدوین پژوهش کارت

اهداف: پیاده‌سازی نتایج طرح‌های پژوهشی در شرکت با همکاری کارمندان شرکت، ایجاد انگیزه برای همکاران و ترغیب ایشان به انجام فعالیت‌های پژوهشی تا مرحله پیاده‌سازی در شرکت، مستندسازی اندوخته‌های علمی و پژوهشی همکاران

نتایج: رشد ۲/۵ برابری مشارکت همکاران در فعالیت‌های پژوهشی سازمان، انتخاب به‌عنوان تجربه مدیریتی برتر در سطح شرکت‌های آب و فاضلاب سراسر کشور.



تدوین و انتشار پژوهش نامه

شرکت آب و فاضلاب مشهد در راستای جلب نظرات و مشارکت افراد ذیصلاح به‌منظور پیاده‌سازی نتایج طرح‌های پژوهشی طی اقدامی، طراحی و تولید دوره‌ای "پژوهشنامه" حاصل از طرح‌های پژوهشی پایان یافته را در دستور کار خود قرار داده است. هدف اصلی این اقدام پیشبرد هرچه بیشتر طرح‌های پژوهشی به سمت کاربردی شدن می‌باشد. این شرکت ضمن ارسال پژوهشنامه‌های مذکور برای کلیه



سازمان‌ها و مراکز مرتبط با موضوع طرح‌ها، پذیرای کلیه نظرات و پیشنهادات ارسالی در زمینه اجرایی نمودن نتایج طرح‌های پژوهشی پایان یافته خواهد بود.

دومین جشنواره ملی فناوری های آب

آب های نامتعارف (آب شور و پساب)

آذر ماه ۱۳۹۷ دانشگاه فردوسی مشهد

برنامه ها:

بخش فناوری

- * فن بازار
- * استارت آپ
- * نمایشگاه تخصصی و تولیدات

بخش علمی

- * مدیریت شوری آب های سطحی و زیرزمینی
- * جنبه های اقتصادی-کاربردی استفاده از آب های شور و پساب
- * فناوری های نوین با آب شور و پساب
- * فناوری های زیستی با استفاده از آب های نامتعارف
- * علوم و مسائل انسانی و اجتماعی آب های نامتعارف
- * تصفیه آب، پساب و فرایندهای آن
- * تغییر اقلیم و اکوسیستم های آبی
- * چالش های زیست محیطی استفاده از آب های شور و پساب
- * آسیب شناسی عدم کنترل پساب بر سلامت جوامع بشری

بخش فرهنگی و هنری

- * جشنواره آب و زندگی
- * مسابقه فرهنگی، هنری و رسانه ای

با تاکید بر سازگاری با کم آبی

مطابق جشنواره های رویش بنیاد ملی نخبگان



Sponsored and Indexed by
CIVILICA
We Respect the Science

مشهد - میدان آزادی - پردیس دانشگاه فردوسی مشهد - دانشکده کشاورزی
گروه علوم و مهندسی آب - دبیرخانه جشنواره ملی فناوری های آب

نشانی دبیرخانه:

شماره تماس دبیرخانه: ۰۵۱۳۸۸۰۲۵۴۰
۰۵۱۳۸۸۰۲۱۶۳

www.wprtech.ir

In the Name of Allah

Journal of Water and Sustainable Development

Volume 5 - Issue 1 (Serial No. 10) - September 2018

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
Ghezelsofloo, 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)
Tabatabai, S. A., 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
Ghandehari, A. Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company
Kolahi, M., Ferdowsi University of Mashhad

Executive Expert
Graphic
Publisher
Print
ISSN
E-Mail
Website
Address
Sponsor

Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.
Shaikhi, M.R.
Ferdowsi University of Mashhad
Ferdowsi University of Mashhad Press(FUMP)
2423-5474
jwsd@um.ac.ir
<http://jm.um.ac.ir/index.php/WSD>
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:

- **Analysis of Socio-Economic and Environmental Effects of Insufficient Supply of Surface Water from Farmers' Perspective, Case Study: Varamin Plain-Mamlou Dam**

M. Arab, A. Fatahi Ardakani, M. Fehrest Sani

- **Estimating the Residential Water Demand Functions of Anar City with Emphasis on Indoor and Outdoor Consumptions**

E. Vaseghi, M.R. Zare Mehrjerdi, S. Mohseni

- **Determining and Analysing Effective Factors on Water Price in Water and Sanitation BOT Contracts using System Dynamic Simulation**

S.A. Chavoshian, M. Bayat, S.h. Sajadifar

- **Introduction and Economic Analysis of the City of Birjand's Water Treatment Plant**

M. Azizi, A. Shahidi

- **Introduction to the Concept of Energy Efficiency in Agricultural Water Pumping Stations**

A. Uossef Gomrokchi, A. Parvaresh Rizi

- **Inverse Solution Technique: Application in Determining the Effective Porosity and Hydraulic Conductivity of Soil in Drainage System of Shadegan Plain**

V. Shahabizad, A. Hassanoghli, A. Sotoodehnia

- **Issues and Measures of Climate Change Mitigation from the Agricultural Production Management Aspects**

N. Heydari

- **The Need for Making Urban Drainage Systems Resilient to Uncertain Future Changes**

N. Binesh, M.H. Niksokhan, A. Sarang

- **Identification of Expansion Rate in Active Gullies using Remote Sensing**

A.A. Ghezelsofloo, M. Maghrebi, F. Daroughe

- **Flood Risk Management Analysis based on Concepts of Hazard, Exposure, and Vulnerability by Providing Frameworks and Models**

M. Hajibigloo, V. Sheikhi

- **Measuring the Effects of National Dam-Construction Projects on Regional Development, Case Study: Karun-3 Dam, Izeh City, Khuzestan**

A. Moahmmadi, T. Chahartange

- **Recommendation of New Approaches for Urban Flood Management**

GH. Panahi, K. Esmaili

- **A Review of Conceptual Monthly Water Balance Models**

I. Sane, B. Saghafian

- **Optimal Use of Rainwater Harvesting: A Strategy to Deal with Water Shortages in Arid and Semi-Arid Regions**

Z. Noori, M.A. Zare Chahouki

- **Recognition of Qanat and Opening the Way for Sustainable Development in Kariz Civilisation, Case Study: Zarch Qanat-Yazd**

Kh. Bouzarjomehri, S.S. Khatami

- **Investigation of the Criminal Protection of Water Rights**

S.H. Hosseini, H. Yousofi

