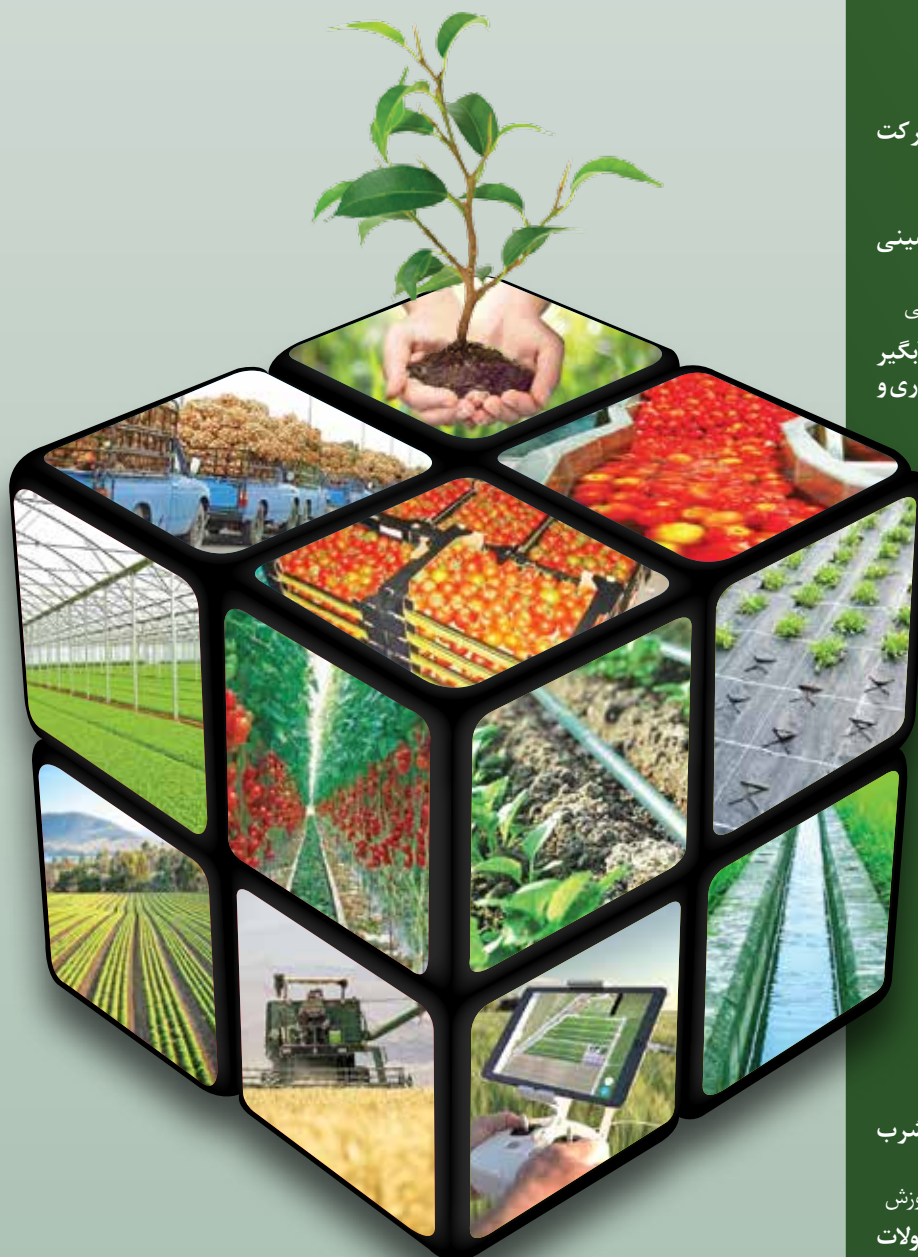


آب و توسعه پایدار

سال چهارم - شماره اول (پیاپی ۸)
شهریور ماه ۱۳۹۶

بهره‌وری آب کشاورزی و تعادل بخشی منابع آب



مقالات این شماره:

- نگاهی بر وضعیت موجود و آینده‌ی بازار نمک‌زدایی آب در خلیج فارس و منطقه‌ی منا
مجید قنادی
- مشارکت بخش عمومی - خصوصی در صنعت آب و فاضلاب «مطالعه موردی نمونه کشورهای حوزه آفریقا، آسیا و آمریکای لاتین»
علیرضا نودری پور، میتراقاسم شریانی، پریسا اولاد غفاری
- مقایسه‌ی آثار اقتصادی و مالی قیمت گذاری آب و فاضلاب ژاپن با ایران
مسعود خشایی، محمد داودآبادی
- بررسی پالایش آب‌های زیرزمینی از آلاینده‌های ویروسی با استفاده از ستون خاک رس در مدل آزمایشگاهی
مریم اسقائی، امیرحسین خداپاری
- تجربه موفق تکثیر بذر سالیکورنیا با منابع آب شور معصومه صالحی، فرهاد دهقانی، نادرقلی ابراهیمی
- مروری بر روش‌های ارائه شده در تعیین آستانه حرکت ذرات رسوب و عوامل موثر بر آن
شهرام اسماعیل زاده، کاظم اسماعیلی
- نحوه‌ی کارگذاری خطوط لوله‌ی جمع کننده زیرزمینی درلنز ماسه‌ای اشباع و رسی خاک
افسانه عالی نژادپیان بیدآبادی، محمد سلاخ پور، عباس ملکی
- ارزیابی عملکرد مدول‌های نیربیک به عنوان سازه آبگیر در تأمین آب اراضی پایین دست خود در شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود
عمارحبیبی کدبن، میلاد دوستی، امیرحسین ملاقدیمی
- ارزیابی روش‌های برآورد جریان زیست محیطی در رودخانه‌ها
قاسم پناهی، سعیدرضا خداشناس، علیرضا فریدحسینی
- روند یابی سیلاب رودخانه‌ها به روش ماسکینگام چندبازه‌ای
عبدالرضا ظهیری، سلیم اصغری، امیراحمد دهقانی
- پتانسیل بابی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد با استفاده از روش شاخص آماری
فاطمه فلاح، مانیادانشفر، سمیرا قربانی نژاد
- روش رادیوایزوتوپی اندازه‌گیری سن آب زیرزمینی با استفاده از غنی‌سازی تریتیوم
ایمان کریمی‌راد، موسی حسام، علی بهرامی سامانی، عبدالمجید ایزدپناه، نفیسه مقدسی
- مطالعه مروری رویکرد سدزدایی در مدیریت پایدار آب و محیط زیست
بابک خیاط‌رستمی، اکبر صفرزاده، سیامک خیاط‌رستمی
- برنامه مدیریت بهم پیوسته خشکسالی
ترجمه: علی معتمدی، داریوش بهار لویی بردشاهی
- بررسی مدیریت مصرف و برآورد میزان تقاضای آب شرب شهری مشهد در آق ۱۴۲۰ (یادداشت فنی)
حسین انصاری، آرمین بوستانی، علیرضا طباطبایی، مجید فروش
- بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی، مطالعه موردی: دشت مشهد (یادداشت فنی)
محمد کریمی، محمد جلینی

سال چهارم - شماره اول (پیاپی ۸) - شهریور ۱۳۹۶

این نشریه طبق نامه شماره ۱۲۶۶۳۱/۱۸/۲۹ 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

سرمدبیر

دانشگاه فردوسی مشهد

ناصر شاهنوشی فروشانی / استاد دانشگاه فردوسی مشهد

بیژن قهرمان / استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیات 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 دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

شورای سیاست گذاری

حسین عطائی فر (ریاست شورا) / معاونت مرکز تحقیقات و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
سید علیرضا طباطبایی / مدیر عامل شرکت آب و فاضلاب مشهد
محمدحسین جعفری / مدیر عامل شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی
سید یحیی موسوی / دبیر اندیشگاه آب شرکت مدیریت منابع آب ایران
ناصر شاهنوشی فروشانی / مدیر مسئول نشریه
بیژن قهرمان / سردبیر نشریه

مشاوران هیات 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
محمد رضا علیپور / شرکت آب و فاضلاب مشهد
احمد قندهاری / شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی

کارشناس اجرایی

ناشر

طراحی

چاپ

شمارگان

شماره شاپا

رایانامه

تارنما

آدرس

حامی مالی

مهری شاهدی، فاطمه طالبی حسین آباد

دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

محمد رضا شیخی

موسسه فرهنگی هنری خراسان (شهر چاپ خراسان)

۱۰۰۰ نسخه

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

این نشریه با حمایت مالی شرکت آب و فاضلاب مشهد، در حال حاضر رایگان توزیع می‌شود.



الف	سرمقاله: راندمان آبیاری (پایدها و نبایدها) / محمد جلینی (عضو هیأت تحریریه نشریه) یادداشت‌های کوتاه: افزایش بهره‌وری آب، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر (مجتبی مزروعی) / راندمان آبیاری، کارایی مصرف و بهره‌وری آب (امین علیزاده)
۱	نگاهی بر وضعیت موجود و آینده‌ی بازار نمک‌زدایی آب در خلیج فارس و منطقه‌ی منا مجید قنادی
۹	مشارکت بخش عمومی- خصوصی در صنعت آب و فاضلاب "مطالعه موردی نمونه کشورهای حوزه آفریقا، آسیا و آمریکای لاتین" علیرضا نوذری‌پور، میترا قاسم شریانی، پریسا اولاد غفاری
۲۱	مقایسه‌ی آثار اقتصادی و مالی قیمت‌گذاری آب و فاضلاب ژاپن با ایران مسعود خشایی، محمد داودآبادی
۳۱	بررسی پالایش آب‌های زیرزمینی از آلاینده‌های ویروسی با استفاده از ستون خاک رس در مدل آزمایشگاهی مریم اسقائی، امیرحسین خدایاری
۳۷	تجربه موفق تکثیر بذر سالیکورنیا با منابع آب شور معصومه صالحی، فرهاد دهقانی، نادرقلی ابراهیمی
۴۷	مروری بر روش‌های ارائه شده در تعیین آستانه حرکت ذرات رسوب و عوامل مؤثر بر آن شهرام اسماعیل زاده، کاظم اسماعیلی
۵۷	نحوه‌ی کارگذاری خطوط لوله‌ی جمع‌کننده زیرزمینی در لنز ماسه‌ای اشباع و رسی خاک افسانه عالی‌نژادیان بیدآبادی، محمد سلاخ‌پور، عباس ملکی
۶۵	ارزیابی عملکرد مدول‌های نیروپیک به عنوان سازه آگیر در تأمین آب اراضی پایین‌دست خود در شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود عمار حبیبی کندبن، میلاد دوستی، امیرحسین ملاقدیمی
۷۳	ارزیابی روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها قاسم پناهی، سعیدرضا خداشناس، علیرضا فریدحسینی
۸۱	روندبایی سیلاب رودخانه‌ها به روش ماسکینگام چندبازه‌ای عبدالرضا ظهیری، سلیم اصغری، امیراحمد دهقانی
۸۹	پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد با استفاده از روش شاخص آماری فاطمه فلاح، مانیا دانشفر، سمیرا قربانی نژاد
۹۹	روش رادیوایزوتوپی اندازه‌گیری سن آب زیرزمینی با استفاده از غنی‌سازی تریتیوم ایمان کریمی‌راد، موسی حسام، علی پهرامی سامانی، عبدالمجید ایزدپناه، نفیسه مقدسی
۱۰۷	مطالعه مروری رویکرد سدزدایی در مدیریت پایدار آب و محیط زیست بابک خیاط رستمی، اکبر صفرزاده، سیامک خیاط رستمی
۱۱۷	برنامه مدیریت بهم پیوسته خشکسالی ترجمه: علی معتمدی، داریوش بهارلویی بردشاهی
۱۲۵	بررسی مدیریت مصرف و برآورد میزان تقاضای آب شرب شهری مشهد در افق ۱۴۲۰ (یادداشت فنی) حسین انصاری، آرمین بوستانی، علیرضا طباطبایی، مجید فروزش
۱۳۳	بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی، مطالعه موردی: دشت مشهد (یادداشت فنی) محمد کریمی، محمد جلینی
۱۳۹	آشنایی با نشریه و راهنمای چارچوب مقالات
۱۴۱	یادداشت تحلیلی: بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم‌اندازها/ فریبرز عباسی، نادر عباسی و علیرضا توکلی
۱۴۵	گزارش: تشکیل کمیته مدیریت فناوری در شرکت آب و فاضلاب مشهد (حمایت از توسعه و تولید محصولات دانش‌بنیان)



راندمن آبیاری (بایدها و نبایدها)

امنیت و مدیریت آب در بخش کشاورزی مهمترین راهبرد توسعه پایدار کشور است و با توجه به فرآیند توسعه کشور و دگرگونی اقتصاد ملی، بخش کشاورزی به تکیه‌گاه مهم امنیت و حیات اقتصادی کشور تبدیل شده است. از طرفی برای کشوری که در سرزمینی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و میانگین بارش سالانه دراز مدت آن تقریباً یک سوم میانگین بارش جهانی است، کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی جزو اهداف اصلی و کلیدی است.

یکی از راهکارهایی که برای کاهش مصرف آب و افزایش راندمن کاربرد آب آبیاری در مزرعه به کشاورزان توصیه می‌شود، استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری و جایگزینی آن‌ها با سامانه‌های آبیاری سنتی است. در یک نگاه کلی، سامانه‌های نوین آبیاری دارای ملاحظات فنی و مدیریتی خاص خود می‌باشند که در صورت رعایت مسایل مربوط به آن‌ها، امکان موفقیت سامانه وجود دارد.

نتایج تحقیقات و آزمایش‌های متعدد صحرایی نشان داده است چنانچه مراحل طراحی، اجرا، نظارت و بهره‌برداری از سامانه‌های نوین آبیاری متناسب با نوع گیاه، وضعیت آب و هوا، مسائل محلی هر منطقه، کیفیت آب و خاک، سطح آگاهی کشاورزان و ... انجام گیرد، افزایش راندمن آبیاری و کاهش مصرف آب قطعی است و منافع ناشی

از افزایش راندمن آبیاری فراتر از اثرات منفی و مشکلات جانبی آن خواهد بود. هر چند که اصلاح روش‌های نوین آبیاری در تمام موارد لزوماً منجر به کاهش مصرف آب نشده است؛ زیرا برخی کشاورزان همزمان با کاربرد روش‌های نوین آبیاری با راندمن بالا، سطح زیرکشت خود را نیز افزایش داده‌اند. به عبارتی اگر کشاورزان اقدام به افزایش سطح زیرکشت نمایند، دولت با کمک مالی به کشاورزان، به نابودی منابع آب زیرزمینی کشور کمک کرده است. اما چنانچه توسعه روش‌های نوین آبیاری در اراضی که از آب زیرزمینی استفاده می‌کنند با در نظر گرفتن تمام شرایط فنی و مدیریتی و بدون افزایش سطح زیرکشت و با کاهش برداشت آب همراه باشد، وضعیت کمی آب‌های زیرزمینی بهبود خواهد یافت.

نگارنده بر این باور است که توجه مفرط به آبیاری تحت فشار در بیست سال اخیر و عدم توجه کافی به افزایش بهره‌وری آب در مزارع آبیاری سطحی موجب صرف هزینه‌های بالا در بخش کشاورزی گردیده که متأسفانه به تناسب آن نتایج مورد نظر حاصل نگردیده است. بدیهی است انواع روش‌های آبیاری، هرکدام دارای خصوصیات مثبت و منفی بوده و به کارگیری آن‌ها صرفاً با توجه به مسائل محلی قابل بررسی و اقدام است.

به هر حال بخش کشاورزی با این واقعیت روبروست که درآینده بایستی ضمن مصرف آب کمتر، تولید بیشتری را عرضه نماید. لذا با مدیریت صحیح منابع آب و با استفاده از دانش و فناوری‌های نوین باید جهت افزایش عملکرد در واحد سطح، افزایش کارایی مصرف آب و ارتقای بهره‌وری از منابع آب متناسب با هر منطقه گام‌های اساسی برداشته شود.

از نهادهای کارای مدیریت آب، بازبینی در برنامه غذایی، اصلاح نباتات و یافتن واریته‌های پرمحصول و در عین حال کم آب طلب، تغییر موضع مدیریتی از مدیریت تأمین آب به مدیریت تقاضای آب، افزایش راندمان آبیاری از طریق انتخاب، اجرا و بهره‌برداری درست از سیستم‌های آبیاری با راندمان و کارائی بالا و در نهایت تغییر نگاه، از آب به عنوان يك كالای آزاد به آب به عنوان يك منبع اقتصادی (اجتماعی) نام برد.

با این توضیحات در می‌یابیم که افزایش بهره‌وری آب یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا چالش‌های تشدید کننده محدودیت منابع آبی، شامل تغییر اکوسیستم، افزایش آلودگی، افزایش جمعیت، توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارندگی، رشد شهرنشینی و فقر منابع مالی پارامترهای مهم و اساسی به شمار می‌روند. یکی از فعالیت‌های فوری و قابل توجه، تدوین سند توسعه شناسایی پتانسیل‌ها و محدودیت‌های آب و خاک کشور است که جهت بهبود بهره‌وری آب کشاورزی و اهداف و اولویت‌های مطالعاتی و اجرایی، راهکار موجود را می‌توان در سه سطح مدیریتی ذیل بررسی و ارایه نمود. برای رسیدن به این اهداف وزارت جهاد کشاورزی و به تبع سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی گام‌های موثری در افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی برداشته است.

۱- بهبود بهره‌وری مصرف آب در مقیاس گیاه:

- ایجاد و معرفی ارقام اصلاح شده متحمل تنش‌های محیطی (خشکی، شوری، گرما و...)
- بهبود مدیریت‌های به زراعی
- توجه بیشتر به تناسب اقلیمی (Agro-Ecology)
- مطالعه و توجه بیشتر به تغییر اقلیم و تأثیرات آن روی گیاه
- توجه کافی به انتخاب گیاه با توجه به محدودیت‌های آب و خاک

• افزایش و بهبود فرآیند انتقال اطلاعات و یافته‌های تحقیقاتی

- توجه و تشویق کشاورزان به یکپارچه‌سازی اراضی
- توجه کافی به تجهیز و نوسازی اراضی

۲- بهبود بهره‌وری مصرف آب کشاورزی در مقیاس مزرعه :

- افزایش بازده آب آبیاری
- بهبود مدیریت و کنترل منابع آب آبیاری
- حفظ و بهبود کیفیت منابع آب و خاک
- ارتقاء شاخص‌های مکانیزاسیون
- اصلاح و بهبود عملکرد سامانه‌های آبیاری
- ارتقاء دانش بهره‌برداران
- ترویج و آموزش کشاورزان برای استفاده از روش‌های نوین آبیاری

۳- بهبود بهره‌وری مصرف آب کشاورزی در مقیاس حوزه آبریز - شبکه:

- تکمیل و تدوین برنامه‌های جامع مدیریت تخصیص منابع آب حوزه
- مدیریت جامع حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب حوزه
- برنامه‌ریزی و مدیریت بحران‌های آب
- تشکیل و مدیریت بانک اطلاعات و پردازش داده

در انتها باید اشاره نمود که اجرای ضوابط و طرح‌های پیش‌گفته، مستلزم وجود دو عامل اصلی دیگر یعنی نظارت و همکاری تمامی دستگاه‌های اجرایی و نظارتی کشور می‌باشد. باید توجه داشت که صرف سیاست‌گذاری و تهیه چارچوب و ضابطه نمی‌تواند به تنهایی ضمانت اجرایی لازم را داشته باشد و رسیدن به اهداف فوق‌الذکر، با برنامه‌ریزی، مطالعه، نظارت و هماهنگی بیش از پیش تمامی متولیان و گرداران منابع آبی محقق خواهد شد.



راندمان آبیاری،

کارایی مصرف و بهره‌وری آب

اشتهای سیری ناپذیری که در چند ساله اخیر در توسعه کشاورزی و به خصوص افزایش سطح کشت‌های آبی صورت گرفته است، کشور را از نظر مصرف آب در بخش کشاورزی با یک چالش بسیار جدی روبرو ساخته است. سطح اراضی کشت موجود در کشور که فراتر از توان طبیعی سرزمین می‌باشد از یک طرف و در مقابل آن کمبود یا نبودن آب باعث شده است که به جای استراتژی سازگار با شرایط طبیعی با آن مقابله می‌گردد. بطوریکه در این راستا انواع و اقسام راهکارهای ناپایدار بکار بسته می‌شود که تا به حال نتیجه ملموسی هم از این راهکارها گرفته نشده است. از جمله این راهکارها می‌توان به توصیه روش‌های کم آبیاری، بالا بردن راندمان آبیاری، افزایش بهره‌وری آب، تغییر سیستم‌های آبیاری از روش‌های سنتی به مدرن، تغییر الگوی کشت و یا امثال آن‌ها اشاره کرد. اما چرا ما هر روز شاهد این هستیم که نه تنها تغییری در افزایش بهره‌وری از آب حاصل نمی‌شود، بلکه وضعیت آبی در کشور در بخش کشاورزی وخیم‌تر هم می‌شود. دلایل فراوانی بر این امر مترتب است که در اینجا مجال پرداختن به تمامی آن‌ها نمی‌باشد و تنها به این نکته اشاره می‌شود که کشاورزان و باغداران و حتی کارشناسان کشاورزی بدون توجه به مفاهیم این مقولات و فقط با آزمون خطا و باز هم خطاهای تکراری آن‌ها را دنبال می‌کنند. مثلاً تصور می‌شود که اگر راندمان آبیاری را بالا ببریم و یا کم آبیاری کنیم می‌توانیم بهره‌وری از آب را افزایش دهیم. بدون آنکه بدانیم راندمان آبیاری به چه اندازه بر بهره‌وری آب مؤثر است. غالباً چنین گفته می‌شود که گویا همه چیز در گرو آب است و اگر مسأله موجودیت آب در کشاورزی حل شود، حتی نیازی به سایر عوامل ذی‌مدخل نخواهد بود. در

حالی که هرچند وجود آب برای کشاورزی به خصوص در یک منطقه خشک و بی باران مانند ایران در تولید محصول شرط الزامی است، اما کافی نبوده و لازم است که علاوه بر آب و راندمان آبیاری به کارایی مصرف آب توسط گیاه، راندمان فتوسنتز در گیاه، نمایه برداشت محصول از گیاه و سایر پارامترهای دیگر نیز توجه شود. زیرا بهره‌وری آب در کشاورزی تابعی از این پارامترها می‌باشد.

باید توجه داشته باشیم که راندمان آبیاری یک بحث فیزیکی است که بر گرفته از همان مفاهیمی می‌باشد که ما در مهندسی مکانیک از آن برای انتقال مواد، بهره می‌گیریم و در واقع چگونگی جابجایی آب را از یک جا به جای دیگر را توصیف می‌کند. مثلاً راندمان آبیاری به ما می‌گوید که از مقدار آبی که در آبیاری بارانی از دهانه آبپاش‌ها خارج شده و در هوا پراکنده می‌شود، چند درصد آن پس از تلفات تبخیر و باد بردگی و گرفته شدن توسط شاخ و برگ گیاه به زمین می‌رسد و یا از مقدار آبی که در آبیاری‌ها وارد سطح زمین می‌شود، چند درصد آن در خاک و در منطقه توسعه ریشه‌ها ذخیره می‌شود تا برای استفاده گیاه مفید واقع گردد. البته باید گفت که در نهایت یکی از عواملی که در افزایش بهره‌وری آب مؤثر است، بالابردن درصد مقدار آبی است که در ناحیه ریشه‌های خاک بطور یکنواخت ذخیره می‌شود. آب از زمانی که از چاه یا یک منبع آبی دیگر برداشت می‌شود، طی انتقال و توزیع در مزرعه و پخش روی زمین و نفوذ در خاک و خارج شدن از بخش تحتانی ریشه مرتب در معرض تلف شدن می‌باشد که برای رسیدن به یک بهره‌وری خوب حتی المقدور باید از این تلفات جلوگیری کرد.

زمانی که آب وارد خاک شده و در منطقه ریشه‌ها ذخیره گردید، نوعی دیگر از راندمان مطرح می‌شود که آن نیز در بهره‌وری آب مؤثر است. این راندمان که بستگی به نوع گیاه و توانایی آن در جذب آب از خاک دارد، راندمان یا کارایی مصرف آب توسط گیاه نام دارد. در واقع این راندمان نشان‌دهنده این است که از مقدار آبی که در منطقه ریشه‌ها ذخیره شده است، چند درصد آن برای تعرق جذب گیاه می‌شود. زیرا تعرق زیادتر به معنی تولید

بالا تر محصول و رشد زیاده تر گیاه می باشد. از آنجایی که بهره‌وری آب به مقدار تعرق نیز بستگی دارد در این رابطه باید گیاهانی را در الگوی کشت قرار دهیم که اولاً تعرق بیشتری داشته باشند و ثانیاً به ازاء مقدار آبی که تعرق می کنند محصول بیشتری تولید کنند. مثلاً گیاهان موسوم به چهارکربنه مانند ذرت نسبت به گیاهان سه کربنه از قبیل گندم محصول بیشتری تولید می کنند. در اکثر گیاهانی که در ایران کشت می شود، کارایی مصرف آب توسط گیاه کمتر از ۵۰ درصد می باشد. زیرا در این گیاهان گسترش ریشه ها در خاک به اندازه ای نیست که درصد زیادی از آب موجود در منطقه ریشه ها را جذب کنند. یکی از دلایل پایین بودن این امر آن است که چون خاک ها در ایران اکثراً فاقد مواد آلی بوده و از ساختمان خوبی برخوردار نمی باشند، فرصت گسترش برای ریشه ها در خاک که باعث شود آب بیشتری جذب گیاه شود، فراهم نمی شود.

بعد از آنکه آب جذب گیاه شد، مرحله دیگری اتفاق می افتد که بهره‌وری آب به آن نیز بستگی دارد. گیاه به کمک آب جذب شده توسط ریشه ها و در صورت بودن نور خورشید به انجام فتوسنتز می پردازد و با جذب گاز کربنیک هوا در آن مواد کربوهیدراته ساخته می شود. مقدار کیلوگرم موادی که در داخل گیاه به ازاء هر متر مکعب آب جذب شده توسط ریشه ها ساخته می شود، راندمان فتوسنتز نام دارد. در مناطق کم آب باید گیاهانی در الگوی کشت قرار گیرند که از راندمان فتوسنتز بالایی برخوردار باشند. متأسفانه گیاهان الگوی کشت موجود در مناطق مختلف کشور راندمان فتوسنتزی بالایی ندارند. دلیل این امر علاوه بر خصوصیات اقلیمی تابعی از الگوی غذایی مردم و سوابق فرهنگی- اجتماعی آن ها در انتخاب گیاهان است. باید توجه داشت که بخشی از موادی که در داخل گیاه ساخته شده، صرف تنفس خود گیاه می شود تا انرژی لازم برای فعالیت های متابولیکی گیاه فراهم شود. نسبت مقدار مواد باقی مانده در گیاه پس از انجام تنفس را به کل موادی که قبلاً در داخل گیاه ساخته شده است، راندمان تنفس گویند. هرچه راندمان تنفس بالاتر باشد تولید محصول به ازاء مقدار آب جذب شده بیشتر خواهد

بود. راندمان تنفس در گیاهان موجود در الگوی کشت در اکثر نقاط کشور از ۵۰ درصد کمتر می باشد که این امر ایجاب می کند در انتخاب ارقامی که کشت می شود، دقت شود. اما در اغلب گیاهان زراعی و باغی تمام مواد تولیدی در گیاه، مورد نظر کشاورز یا باغدار نمی باشد و برای هر گیاه نمایه برداشت اهمیت دارد. نمایه برداشت درصدی از محصول تولیدی گیاه است که می توان آن را فروخته یا مصرف کرد. مثلاً در مورد زعفران فقط بخش کوچکی از تولید گیاه را نمایه برداشت تشکیل می دهد. در اصلاح نباتات برای افزایش بهره‌وری آب سعی می شود نمایه برداشت گیاه افزایش پیدا کند. بنابراین بهره‌وری هر گیاه از آب را می توان حاصل ضرب سه پارامتر راندمان فتوسنتز و راندمان تنفس و نمایه برداشت آن گیاه دانست که در واقع معادل کیلوگرم محصول مفید تولیدی آن گیاه به مقدار آبی است که آن گیاه تعرق کرده است.

دو پارامتری که غالباً در استفاده از آب برای کشاورزی با یکدیگر مخلوط می شوند و لازم است آن ها را از یکدیگر تفکیک کرد، یکی کارایی مصرف آب و دیگری بهره‌وری آب است. در کارایی مصرف آب هم راندمان آبیاری (اعم از راندمان انتقال، راندمان توزیع آب و راندمان مصرف آب در مزرعه) دخالت دارد و هم نوع گیاه و خاک که می توان به طور خلاصه آن را نسبت آب تعرق شده توسط گیاه به کل آبی دانست که از چاه یا هر منبع دیگر برداشت می شود. اما در بهره‌وری آب سه عامل دخالت دارند که عبارتند از ۱- راندمان آبیاری، ۲- راندمان جذب آب توسط گیاه و ۳- پارامترهای تولید محصول (راندمان فتوسنتز، راندمان تنفس و نمایه برداشت). بهره‌وری آب حاصل ضرب این عوامل بوده و بطور ساده نسبت محصول مفید تولیدی به مقدار کل آبی است که از چاه یا سایر منابع آبی برداشت می شود. بدین ترتیب اگر هدف از مصرف آب در کشاورزی افزایش بهره‌وری است، نباید تنها به افزایش راندمان دل بست، بلکه همزمان به سایر پارامترها مانند انتخاب نوع گیاه از نظر کارایی مصرف آب در آن، راندمان فتوسنتز، راندمان تنفس و شاخص برداشت گیاه در شرایط محیطی و اقلیمی مورد نظر نیز توجه داشت.

A Look at Existing and Future Desalination Markets in the Persian Gulf and MENA Region

M. Ghannadi

M.Sc. in Environmental Health Engineering, Water and Wastewater, Water and Wastewater Engineering Company of Iran.

E-Mail: ghannadi48@gmail.com

Received: 08-05-2016

Accepted: 09-11-2016

نگاهی بر وضعیت موجود و آینده‌ی بازار نمک‌زدایی آب در خلیج فارس و منطقه‌ی منا

مجید قنادی

کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، گرایش آب و فاضلاب، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

E-Mail: ghannadi48@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۱۹

Abstract

Showing an annual growth rate of 9% and with a total investment of USD 88 billion the desalination market was one of the most lucrative markets in the years 2010 to 2016. The accelerated growth of above 60% of the world's total desalination capacity underlines not only the involvement of the seas in supplying the potable water for populated seashores but also the gradual drop in the quality of inland waters. The predicted increase in global temperature and the reduced level of rainfalls in the Horizon 2050 vision for the twenty North African and West Asian countries (MENA region) signifies that new water resources in this sensitive area will be rarer and their access costlier, thus forcing the governments towards desalination. On the global scale, 38 percent of the total volume of water produced daily in the world (65.2 MCM) belongs to the MENA region, while the desalination capacity created in the southern coasts of the Persian Gulf exceeds the 10 MCM/day mark. The basic concepts of the different desalination processes are founded upon the use of energy, and any analysis, strategies, and visions for desalination without due consideration for energy policies would be meaningless and incomplete. The most important environmental issue with these installations is the brine, which is categorized as industrial effluent, and its extensive discharge to the gulfs and coral reefs which threaten the marine ecosystem and leads to changes in species. In recent years, through development and improvement of the processes, the cost of desalinating each cubic meter of water has been reduced to half a Dollar, whereas its market price is still between 1 and 2 Dollars. The desalination capacity in Iran is more than 450,000 m³/day; 65% of which is related to the production of drinking water. This amount is less than 2% of the global capacity for desalination.

Keywords: Desalination, MENA Region, Strategies and Water Market.

چکیده

طی دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ بازار نمک‌زدایی آب با رشد سالانه‌ی ۹ درصد و مجموع سرمایه‌گذاری ۸۸ میلیارد دلار، یکی از پررونق‌ترین بازارهای جهان بوده است. رشد شتابان بیش از ۶۰ درصد ظرفیت جهانی نمک‌زدایی، نه تنها حکایت از سهم شدن دریاها در تأمین آب شرب کانون‌های جمعیتی سواحل دارد، بلکه گویای زوال تدریجی کیفیت آب‌های داخلی نیز می‌باشد. پیش‌بینی افزایش دما و تقلیل بارندگی در افق ۲۰۵۰ در بیست کشور واقع در شمال آفریقا و غرب آسیا (منطقه‌ی منا) منابع جدید آب را در این منطقه‌ی حساس جهان، کمیاب‌تر و دسترسی به آن‌ها را پرهزینه‌تر کرده و دولت‌ها را به ناچار به سمت گزینه نمک‌زدایی آب پیش می‌برد. در مقیاس جهانی، ۳۸ درصد از حجم روزانه‌ی تولید جهانی آب نمک‌زدایی شده (۶۵/۲ میلیون متر مکعب) متعلق به کشورهای منطقه‌ی منا است و در محدوده‌ی جنوبی خلیج فارس، ظرفیت نصب شده نمک‌زدایی آب از ۱۰ میلیون متر مکعب در روز فراتر است. پایه و اساس فرآیندهای گوناگون نمک‌زدایی آب، بر بهره‌گیری از انرژی استوار است و هر گونه تحلیل، سیاست‌گذاری و آینده‌نگری در موضوع نمک‌زدایی آب، بدون لحاظ سیاست‌های انرژی، ناقص خواهد بود. مهم‌ترین مسئله‌ی زیست محیطی این تأسیسات، شورابه‌های آن‌ها است که در گروه پساب‌های صنعتی قرار داشته و تخلیه‌ی گسترده‌ی آن‌ها به خلیج‌ها و سواحل مرجانی، سبب تغییر گونه‌ها و تهدید حیات آبریان می‌شود. در سال‌های اخیر با توسعه و بهینه‌سازی فرآیندها، هزینه‌ی نمک‌زدایی هر متر مکعب آب، به حدود نیم دلار تقلیل یافته است، اما قیمت بازار آن هم چنان در محدوده‌ی یک تا دو دلار باقی مانده است. ظرفیت نمک‌زدایی آب در ایران افزون بر ۴۵۰ هزار متر مکعب در روز است که ۶۵ درصد آن مربوط به آب شرب است. این مقدار کم‌تر از ۲ درصد ظرفیت جهانی نمک‌زدایی آب است.

واژه‌های کلیدی: نمک‌زدایی آب، منطقه‌ی منا، سیاست‌ها و بازار آب.

را برای مدیریت کارآمدتر و هزینه کرد موثرتر مدیریت آب فراهم می‌آورد، با این حال زندگی در شهرها، تمایل به مصرف بیش‌تر آب را در مقایسه با نواحی روستایی به همراه دارد. در عین حال با رشد سریع شهرنشینی، توسعه‌ی زیرساخت‌هایی همچون روش‌های موثر توزیع، سامانه‌های فاضلاب و مکانیسم‌های قانونی مرتبط با مدیریت آب، ممکن است با تأخیر رو به رو شده و سرعت اجرای آن‌ها متناسب با شتاب گسترش شهرها نباشد.



شکل ۱- موقعیت کشورهای عضو منطقه‌ی منا

منطقه‌ی خاورمیانه و شمال آفریقا به منطقه‌ی منا^۱ معروف است. این منطقه ۲۰ کشور الجزایر، بحرین، مصر، ایران، عراق، اردن، فلسطین اشغالی، کویت، لبنان، لیبی، مراکش، عمان، نوار غزه و کرانه‌ی باختری، عربستان، قطر، سوریه، تونس، ترکیه، یمن و امارات را شامل می‌شود و به دلیل موقعیت جغرافیایی استراتژیک حاصل از قرار گرفتن در منطقه‌ی اتصال شرق و غرب جهان، برخورداری از شاهراه‌های آبی مهم و منابع زیرزمینی غنی و سرشار، از دیرباز کانون توجه بوده است (شکل ۱). این منطقه ۶/۳ درصد جمعیت جهان را در خود جای داده است و سهم آن از آب‌های شیرین تجدیدپذیر جهان، تنها ۱/۴ درصد است (جدول ۱). حدود ۶۰ درصد جمعیت منطقه‌ی منا در شهرها زندگی می‌کنند. در این منطقه، رشد جمعیت شهری به مراتب بیش‌تر از رشد کلی جمعیت است و جمعیت روستایی، متمایل به مهاجرت به شهرها است. در ۹ کشور منطقه‌ی منا، سه چهارم جمعیت در شهرها ساکن هستند (Roudi و همکاران، ۲۰۰۲). هر چند تراکم بیش‌تر جمعیت در شهرها، زمینه

جدول ۱- جمعیت و منابع و مصارف آب در کشورهای منطقه‌ی منا (Roudi و همکاران، ۲۰۰۲)

کشور/منطقه	جمعیت (میلیون نفر)			آب شیرین تجدیدپذیر سالانه (Km ³)	سرانه‌ی سالانه‌ی آب شیرین تجدیدپذیر (مترمکعب)			درصد آب شیرین استفاده شده در بخش		
	۱۹۷۰	۲۰۰۱	۲۰۲۵		۱۹۷۰	۲۰۰۱	۲۰۲۵	خانگی	صنعت	کشاورزی
منا	۱۷۳/۴	۳۸۵/۶	۵۶۸/۰	۸	۳/۶۴۵	۱/۶۴۰	۱/۱۱۳	۸	۵	۸۷
الجزایر	۱۳/۸	۳۱/۰	۴۳/۲	۲۵	۱/۰۴۰	۴۶۲	۳۱۱	۲۵	۱۵	۶۰
بحرین	۰/۲	۰/۷	۱/۰	۳۹	۴۵۵	۱۴۰	۹۷	۳۹	۴	۵۶
مصر	۳۵/۳	۶۹/۸	۹۶/۲	۶	۲/۴۶۰	۱/۲۴۳	۹۰۳	۶	۸	۸۶
ایران	۲۸/۸	۶۶/۱	۸۸/۴	۶	۴/۷۷۰	۲/۰۷۹	۱/۵۵۵	۶	۲	۹۲
عراق	۹/۴	۲۳/۶	۴۰/۳	۳	۱۰/۳۰۴	۴/۰۸۷	۲/۳۹۲	۳	۵	۹۲
فلسطین اشغالی	۳/۰	۶/۴	۸/۹	۱۶	۷۴۰	۳۴۲	۲۴۷	۱۶	۵	۷۹
اردن	۱/۶	۵/۲	۸/۷	۲۲	۵۵۵	۱۷۴	۱۰۳	۲۲	۳	۷۵
کویت	۰/۷	۲/۳	۴/۲	۳۷	۲۷	۹	۵	۳۷	۲	۶۰
لبنان	۲/۵	۴/۳	۵/۴	۲۸	۱/۹۴۴	۱/۱۲۰	۸۹۶	۲۸	۴	۶۸
لیبی	۲/۰	۵/۲	۸/۳	۱۱	۳۰۲	۱۱۴	۷۲	۱۱	۲	۸۷
مغرب	۱۵/۳	۲۹/۲	۴۰/۵	۵	۱/۹۶۰	۱/۰۲۷	۷۴۱	۵	۳	۹۲
عمان	۰/۷	۲/۴	۴/۹	۵	۱/۳۸۳	۴۱۶	۲۰۶	۵	۲	۹۴
قطر	۰/۱	۰/۶	۰/۸	۲۳	۹۰۱	۱۷۰	۱۲۹	۲۳	۳	۷۴
عربستان	۵/۷	۲۱/۱	۴۰/۹	۹	۴۱۸	۱۱۴	۵۹	۹	۱	۹۰
سوریه	۶/۳	۱۷/۱	۲۷/۱	۴	۷/۳۶۷	۲/۷۰۰	۱/۷۰۱	۴	۲	۹۴
تونس	۵/۱	۹/۷	۱۲/۵	۹	۸۰۰	۴۲۲	۳۲۷	۹	۳	۸۹
ترکیه	۳۵/۳	۶۶/۳	۸۵/۲	۱۶	۵/۶۸۲	۳/۰۲۹	۲/۳۵۶	۱۶	۱۱	۷۲
امارت	۰/۲	۳/۳	۴/۵	۲۴	۸۹۷	۶۰	۴۴	۲۴	۹	۶۷
یمن	۶/۳	۱۸/۰	۳۹/۶	۷	۶۴۸	۲۲۸	۱۰۳	۷	۱	۹۲

ویژگی‌های اقلیمی منطقه‌ی منا و پیش‌بینی تغییرات آن

ویژگی‌های اقلیمی منطقه‌ی منا، نظیر خشکسالی‌های متناوب، محدودیت و کم‌آبی منابع آب همراه با رشد جمعیت بالا، فشارهای مضاعفی را بر منابع آب منطقه تحمیل می‌کند. این در حالی است که

پیش‌بینی پیامد تغییرات اقلیمی و مدل‌های استخراج شده حاصل از وضعیت پایه‌ی اقلیمی (دما و بارندگی) در سال ۲۰۱۱، افق نگران‌کننده‌ای را پیش روی دولت‌های منطقه‌ی منا قرار داده و حکایت از افزایش تدریجی دما (شکل ۲) و کاهش میزان بارندگی (شکل ۳) در کشورهای این منطقه تا سال ۲۰۵۰ دارد.



الف) میزان بارندگی در سال ۲۰۱۰

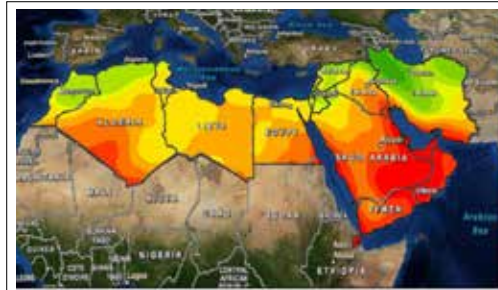


ب) پیش‌بینی میزان افزایش یا کاهش بارندگی طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۰



ج) پیش‌بینی میزان بارندگی طی سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۵۰

شکل ۳- میزان بارندگی در سال ۲۰۱۰ و پیش‌بینی تغییرات آن تا سال ۲۰۵۰ در کشورهای منطقه‌ی منا (World Bank, ۲۰۱۱)



الف) میانگین دمای سالانه در سال ۲۰۱۰



ب) پیش‌بینی محدوده‌ی تغییرات دما طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۰



ج) پیش‌بینی محدوده‌ی دما طی سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۵۰

شکل ۲- محدوده‌ی دما در سال ۲۰۱۰ و پیش‌بینی تغییرات آن تا سال ۲۰۵۰ در کشورهای منطقه‌ی منا (World Bank, ۲۰۱۱)

وضعیت منابع آبی شیرین در منطقه منا

باید توجه داشت که شاخص‌های تعریف شده^۴ برای "نیاز آبی"^۳، "تنش آبی"^۴ و "کم‌آبی"^۵ که اغلب بر اساس سرانه‌ی منابع آب موجود و میزان برداشت از آن‌ها تعریف می‌شوند، منعکس‌کننده‌ی منابع آبی شیرینی که در عمل در دسترس و قابل استفاده است، نمی‌باشد (نامجو و همکاران، ۱۳۸۹). قابلیت دسترسی به آب، افزون بر برخورداری از منابع و ظرفیت‌های طبیعی آب، به توانایی‌های ملی هر کشور در استحصال، جمع‌آوری، پالایش و انتقال آب نیز وابسته است. متعاقب افزایش جمعیت در منطقه‌ی منا، میانگین سرانه‌ی آب شیرین قابل استفاده، به کمتر از نصف (کم‌تر از ۱۶۰۰ متر مکعب)

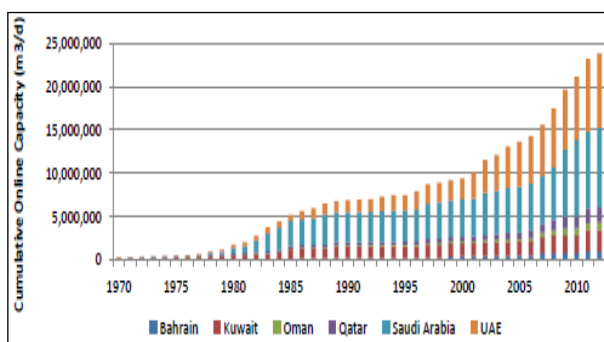
تقلیل یافته است. به دلیل توزیع ناهمگون آب در منطقه، تمرکز بر رقم میانگین سرانه، گمراه‌کننده است. سه چهارم آب شیرین قابل استفاده در منطقه‌ی منا، در چهار کشور ایران، عراق، سوریه و ترکیه قرار دارد و میانگین سرانه‌ی سالانه‌ی آب شیرین قابل استفاده در کشورهای بحرین، اردن، کویت، لیبی، قطر، عربستان، امارات و یمن کم‌تر از ۲۵۰ متر مکعب است.

وضعیت منابع آبی و رشد و نحوه‌ی استقرار جمعیت در منطقه‌ی منا، دولت‌های این کشورها را مجبور و ملزم به اتخاذ راهبردها و سیاست‌هایی برای برقراری تعادل میان منابع کمیاب آبی و رشد تقاضا ساخته است. این رویکرد، متأثر از عامل‌های گوناگونی است که مهم‌ترین آن‌ها سطح درآمد ملی است. در کشورهایی مانند یمن،

مک‌زدایی آب در محدوده‌ی جنوبی خلیج فارس، بیش از ۱۰ میلیون متر مکعب در روز برآورد شده است (جدول ۲، شکل ۴).

جدول ۲- ظرفیت نصب شده‌ی مک‌زدایی آب در سواحل جنوبی خلیج فارس (Safi, ۲۰۱۲)

کشور	ظرفیت روزانه‌ی مک‌زدایی آب (میلیون متر مکعب در روز)
امارات	۴/۱۵
عربستان	۳
کویت	۱/۶۴
قطر	۰/۹۱
بحرین	۰/۸۵
جمع	۱۰/۵۵



شکل ۴- نمودار افزایش تجمعی ظرفیت مک‌زدایی آب در کشورهای حاشیه‌ی جنوبی خلیج فارس طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۷۰ (Safi, ۲۰۱۲)

اثرات زیست محیطی تأسیسات مک‌زدایی آب

مهم‌ترین مسئله‌ی زیست محیطی تأسیسات مک‌زدایی آب، شورابه‌ی آن‌ها است که در گروه «پساب‌های صنعتی» قرار دارد. شورابه، به دلیل بالا بودن غلظت املاح آن، سنگین‌تر و چگال‌تر از آب دریا است. به همین دلیل بیش‌ترین آسیب زیست محیطی و تهدید را در اعماق دریا بر جای می‌گذارد. تخلیه‌ی مستمر و گسترده‌ی شورابه‌ها به خلیج‌ها، سواحل مرجانی و دریاها‌ی نیمه بسته و به طور کلی، مناطقی که شفافیت آب کم و میزان تبخیر بالا است، با تغییر غلظت املاح آب دریا، سبب تغییر گونه‌ها و تهدید حیات آب‌زیان می‌شود. در صورتی که نرخ بازیافت آب در تأسیسات مک‌زدایی ۵۰ درصد فرض شود، روزانه بیش از ۱۰ میلیون متر مکعب شورابه از تأسیسات مک‌زدایی آب مستقر در کشورهای جنوبی خلیج فارس به این خلیج نیمه بسته تخلیه می‌شود (Al Barwani و Purnama, ۲۰۰۸).

خلیج فارس یک آبراهه‌ی نیمه بسته به وسعت ۲۴ هزار کیلومتر مربع به طول ۱۰۰۰ و عرض ۱۸۵ تا ۳۴۰ کیلومتر است و تنها از طریق تنگه‌ی هرمز با آب‌های آزاد ارتباط دارد. آب شیرین تخلیه شده به

پایین بودن درآمد ملی، مانع از به خدمت گرفتن فناوری‌های پیشرفته می‌شود، در حالی که در عربستان چنین مانعی وجود ندارد. حتی در کشورهای با درآمد ملی قابل توجه نیز به کارگیری فناوری‌های پیشرفته، تنها پاسخگوی نیاز آبی در کوتاه مدت است. در نگاه بلند مدت، کاستن از ضریب رشد تقاضای آب و اتخاذ سیاست‌ها و تدوین و اجرای برنامه‌های کارآمد برای بهبود مدیریت آن، کلید توسعه‌ی پایدار منطقه‌ی منا خواهد بود.

به طور معمول و در یک رویکرد سنتی، سیاست غالب دولت‌های منطقه‌ی منا، برای پاسخگویی به تقاضای آب، افزایش ظرفیت تامین و مدیریت منابع جدید آب، به رغم افزایش هزینه‌ها است. در پرتو این سیاست و با گذشت زمان، منابع جدید آبی، کمیاب‌تر و دسترسی به آن‌ها، پرهزینه‌تر خواهد شد. در نتیجه کشورهای منطقه‌ی منا، در کنار توجه به توسعه‌ی ظرفیت‌های جدید، به ناچار به سمت گزینه‌های دیگری همچون مک‌زدایی آب و تصفیه و بازیابی فاضلاب‌ها پیش می‌روند.

تأسیسات و فرآیندهای مک‌زدایی آب با هدف بهره‌گیری از توان آب‌های شور دریاها و آب‌های لب‌شور داخلی، برای جبران عدم توازن میان نیازهای زندگی انسان و توسعه‌ی آن به آب، با توزیع منابع آبی در طبیعت، از نیمه‌ی دوم قرن بیستم به این سو توسعه یافته است. پایه و اساس مک‌زدایی آب بر بهره‌گیری از انرژی برای زدایش املاح محتوی آب شور و تولید آب شیرین استوار است و به این ترتیب تمرکز اولیه و شاه کلید مک‌زدایی آب و آینده‌ی آن، همزاد و عجین با موضوع انرژی است و هر گونه تحلیل، سیاست‌گذاری و آینده‌نگری در موضوع مک‌زدایی آب، بدون توجه و در نظر داشتن سیاست‌های انرژی، ابتر و ناقص خواهد بود.

فناوری به کار رفته در تأسیسات مک‌زدایی آب، بر پایه‌ی دو فرآیند حرارتی (که در آن هم زمان از دو انرژی گرمایی و الکتریکی استفاده می‌شود) و غشایی (که در آن تنها از انرژی الکتریکی استفاده می‌شود) قرار دارد. از لحاظ تعداد، بیش‌ترین فناوری به کار رفته مک‌زدایی آب، فرآیند غشایی اسمز معکوس (RO)^۲ است که ۶۰ درصد ظرفیت جهانی مک‌زدایی آب را به خود اختصاص داده است و پس از آن فرایند حرارتی تبخیر چند مرحله‌ای (MSF)^۳ با سهمی معادل ۲۶/۸ درصد در رتبه‌ی دوم قرار دارد.

میزان استحصال سالانه‌ی جهانی آب، حدود ۴ هزار میلیارد متر مکعب برآورد شده است و در مناطقی مانند منطقه‌ی منا، مک‌زدایی آب مهم‌ترین و شاید تنها گزینه‌ی تأمین آب آشامیدنی و حتی کشاورزی است.^۴

در مقیاس جهانی، روزانه حدود ۶۵/۲ میلیون متر مکعب (۲۴ میلیارد متر مکعب در سال) آب از فرآیندهای مک‌زدایی تولید می‌شود. این مقدار معادل ۰/۶ درصد تولید جهانی آب است. کشورهای عضو منطقه‌ی منا، حدود ۳۸ درصد ظرفیت جهانی مک‌زدایی آب را به خود اختصاص داده‌اند.^۵ مجموع ظرفیت نصب شده و در حال بهره‌برداری

آن، منحصر به سه رودخانه‌ی کارون، دجله و فرات با مجموع تخلیه‌ی سالانه‌ی ۱۸ سانتی متر، از طریق دلتای اروندرکنار می‌باشد. به دلیل تبخیر سالانه‌ی بیش از دو متر، میانگین شوری خلیج فارس، بیش از متوسط آب‌های آزاد است (جدول ۳).

جدول ۳- کیفیت شیمیایی آب دریا‌های آزاد و مقایسه‌ی آن با خلیج فارس (ارقام بر حسب میلی گرم بر لیتر) (قنادی، ۱۳۸۴)

عامل	دریای آزاد	خلیج فارس در ناحیه‌ی جزایر ایرانی*	کویت
کلور	۱۸۹۸۰	۱۹۸۶۹	۲۳۰۰۰
سدیم	۱۰۵۵۶	۵۰۰۲	۱۵۸۵۰
سولفات	۲۶۴۹	۳۰۱۶	۳۲۰۰
منیزیم	۱۲۶۲	۱۴۷۳	۱۷۶۵
کلسیم	۴۰۰	۴۹۸۵	۵۰۰
پتاسیم	۳۸۰	۱۳۴	۴۶۰
بیکربنات	۳۸۰	۱۲۸	۴۶۰
استرانسیوم	۱۳	-	-
بروماید	۶۵	-	۸۰
اسید برومیک	۲۶	-	-
فلوئور	۱	۴	-
سیلیکات	۱	-	۱/۵
ید	<۱	-	-
مجموع جامدات محلول	۳۴۴۸۳	۲۹۰۳۳	۴۵۰۰۰

* بر اساس میانگین ۱۰ نمونه آزمون فیزیکی و شیمیایی آب از آبگیر تأسیسات آب شیرین کن‌های مستقر در جزایر هنگام، تنب کوچک، تنب بزرگ، ابوموسی به دست آمده است.

هزینه‌های نمک‌زدایی آب

هم چنان که گفته شد نمک‌زدایی آب نیازمند انرژی است. نمک‌زدایی از هر متر مکعب آب دریا با فرآیند MSF به طور میانگین ۸۰/۶ کیلو وات ساعت انرژی حرارتی (معادل ۲۹۰ مگاژول) انرژی حرارتی به ازای هر کیلوگرم به علاوه‌ی ۲/۵ تا ۳/۵ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی مصرف می‌کند. این در حالی است که تأسیسات بزرگ اسمز معکوس، برای نمک‌زدایی هر متر مکعب آب دریا، نیازمند تنها ۳/۵ تا ۵ کیلووات ساعت الکتریسته هستند. بر اساس آمار منتشر شده در سال ۲۰۱۱، در مقیاس جهانی، برای تولید روزانه ۶۵/۲ میلیون متر مکعب آب نمک‌زدایی شده از مجموع فرآیندهای حرارتی و غشایی، حداقل ۷۵/۲ تراوات ساعت انرژی مصرف شده است. این مقدار انرژی، معادل ۰/۴ درصد مصرف جهانی انرژی در سال ۲۰۱۱ بوده است (IREA, ۲۰۱۲). در سال‌های اخیر در حالی که با توسعه و بهینه سازی فرآیندها، هزینه‌ی نمک‌زدایی هر متر مکعب آب، به حدود نیم دلار تقلیل یافته است، اما قیمت بازار آن همچنان در محدوده‌ی ۱ تا ۲ دلار برای هر

متر مکعب آب نمک‌زدایی شده باقی مانده است. این ارقام اگر چه در استطاعت کشورهای با درآمد متوسط قرار دارد، اما تأمین و پرداخت آن برای کشورهای فقیر همچنان دشوار است (IREA, ۲۰۱۲).

جان کلام آن که بهای آب نمک‌زدایی شده و در یک نگاه وسیع‌تر، اقتصاد نمک‌زدایی آب، به قیمت انرژی و جوانب اقتصادی آن، وابستگی تام و تمام دارد و می‌توان گفت قیمت انرژی، تعیین‌کننده‌ی بهای آب نمک‌زدایی شده است.

چشم‌انداز آینده‌ی نمک‌زدایی آب

در مقیاس جهانی، تقاضا برای نمک‌زدایی آب با سرعتی شتابان رو به گسترش است و رشد سالانه‌ی آن طی دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ معادل ۹ درصد با مجموع سرمایه‌گذاری ۸۸ میلیارد دلار اعلام شده است. بر اساس گزارش انجمن بین‌المللی نمک‌زدایی، ظرفیت جهانی نمک‌زدایی آب، با رشد بیش از ۶۰ درصد، از ۴۸ میلیون متر مکعب در روز در سال ۲۰۰۸ به حدود ۷۸ میلیون متر مکعب در روز در سال ۲۰۱۳ افزایش یافته است. این رشد شتابان، بر دو مطلب زیر دلالت دارد: نخست آن که سهم دریاها در تأمین آب مورد نیاز سواحل بیش‌تر شده است و دوم آن که کیفیت آب‌های زیرزمینی در سرزمین‌های داخلی رو به زوال نهاده است. ظرفیت نمک‌زدایی آب در ایران افزون بر ۴۵۰ هزار متر مکعب در روز است که حدود ۳۰۰ هزار مترمکعب در روز (۶۵ درصد) آن، در قالب ۵۳ پروژه، مربوط به آب شرب می‌باشد (جدول ۴ و ۵). این مقدار کم‌تر از ۲ درصد ظرفیت جهانی نمک‌زدایی است. در منطقه‌ی منا، رشد تقاضای آب از ۹ میلیارد متر مکعب در سال ۲۰۱۰ به بیش از ۱۳/۳ میلیارد متر مکعب در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. این در حالی است که در این مدت، میزان استحصال آب از آبخوان‌های زیرزمینی رو به کاهش خواهد نهاد. در نتیجه پیش‌بینی می‌شود در منطقه‌ی منا، ظرفیت نمک‌زدایی آب با سرعت به مراتب افزون‌تری از میانگین جهانی آن، از ۲۱ میلیون متر مکعب در روز در سال ۲۰۰۷ به حدود ۱۱۰ میلیون متر مکعب در روز در سال ۲۰۳۰ افزایش یابد. پیش‌بینی می‌شود ۷۰ درصد این ظرفیت، در کشورهای عربستان، کویت، امارات، الجزایر و لیبی نصب و راه‌اندازی شود (Walter و همکاران، ۲۰۱۱).

متعاقب توسعه‌ی شمار و ظرفیت تأسیسات نمک‌زدایی آب در منطقه‌ی منا، نیاز به انرژی در کشورهای عضو این منطقه افزایش خواهد یافت. در سال ۲۰۳۰ مجموع نیاز انرژی الکتریکی این کشورها تنها برای تأسیسات نمک‌زدایی آب، حدود ۱۲۲ تراوات ساعت برآورد شده است که سه برابر نیاز این تأسیسات در سال ۲۰۰۷ خواهد بود. مرکز و شرق آسیا و حوزه‌ی کارائیب نیز از جمله بازارهای آینده‌ی نمک‌زدایی آب هستند. رشد جمعیت و توسعه‌ی اقتصادی از یک سو و از دیگر سو کمبود و آلودگی آب در این مناطق، سبب توسعه‌ی بازار نمک‌زدایی آب در این منطقه از جهان شده است.

جدول ۴- تأسیسات نمک‌زدایی در حال کار برای تأمین بخشی از نیاز آب شرب ایران در پایان سال ۱۳۹۴ (دفتر تجهیز منابع مالی و گسترش مشارکت بخش غیردولتی، ۱۳۹۵)

استان	نام تأسیسات	ظرفیت اسمی تولید آب (مترمکعب روز) در شبانه روز	مبلغ سرمایه‌گذاری (میلیارد ریال)	سال عقد قرارداد	قیمت پایه هر مترمکعب (ریال)
خوزستان	نمک‌زدایی خرمشهر	۱۲۵۰۰	۸۰	۱۳۸۵	۵۳۹۰
	نمک‌زدایی آبادان	۱۲۵۰۰	۸۰	۱۳۸۵	۵۳۹۰
سیستان و بلوچستان	نمک‌زدایی زاهدان	۱۸۷۵۰	۱۷۵	۱۳۸۹	۳۰۰۰
	نمک‌زدایی چابهار-کنارک	۱۷۵۰۰	۲۰۰	۱۳۸۶	۵۳۰۰
	نمک‌زدایی زاهدان	۲۵۰۰	۶۰	۱۳۹۲	۲۳۸۰۰
	نمک‌زدایی چابهار-کنارک	۱۵۰۰۰	۳۰۰	۱۳۹۰	۱۰۹۰۰
گیلان	نمک‌زدایی سنگاچین	۱۵۰۰	۲۰	۱۳۸۸	۳۴۰۰
هرمزگان	نمک‌زدایی هرمز	۱۷۵۰	۵۲/۵	۱۳۸۶	۶۷۵۰
	نمک‌زدایی تنب بزرگ	۱۵۰۰	۴۵	۱۳۸۶	۴۹۵۰
	نمک‌زدایی ابوموسی	۲۵۰۰	۷۵	۱۳۸۶	۴۹۵۰
	نمک‌زدایی درگهان	۵۰۰۰	۱۵۰	۱۳۸۷	۵۹۵۰
	نمک‌زدایی رضوان	۱۰۰۰	۲۸	۱۳۹۰	۸۹۵۰
	نمک‌زدایی لارک	۲۵۰	۷/۵	۱۳۸۹	۱۴۰۰۰
	نمک‌زدایی لارک	۲۰۰	۶	۱۳۸۹	۱۴۰۰۰
	نمک‌زدایی بندرلنگه	۵۰۰۰	۱۵۰	۱۳۸۷	۵۹۰۰
	نمک‌زدایی بندرلنگه	۲۵۰۰	۶۰	۱۳۹۱	۱۰۹۶۹
	نمک‌زدایی فین	۱۲۰۰	۳۰	۱۳۸۷	۴۴۹۰
	نمک‌زدایی هنگام	۳۷۵	۱۵	۱۳۸۹	۱۳۹۰۰
	نمک‌زدایی فارور	۳۷۵	۱۵	۱۳۹۱	۲۳۳۰۰
	نمک‌زدایی سوزا	۱۵۰۰	۴۵	۱۳۸۷	۶۶۰۰
	نمک‌زدایی بندرلنگه	۶۰۰۰	۱۸۰	۱۳۹۰	۸۲۰۰
	نمک‌زدایی تنب کوچک	۳۷۵	۱۵	۱۳۸۹	۱۷۹۵۰
	نمک‌زدایی کاروان	۲۵۰	۱۰	۱۳۸۹	۹۳۸۰
	نمک‌زدایی طبیل	۲۵۰	۱۰	۱۳۸۹	۹۸۷۰
	نمک‌زدایی دژگان	۳۰۰	۱۲	۱۳۹۰	۱۵۵۰۰
	نمک‌زدایی لمزان	۲۰۰	۸	۱۳۹۰	۱۶۵۰۰
	نمک‌زدایی سلخ	۱۰۰۰	۴۰	۱۳۸۹	۹۳۱۰
	نمک‌زدایی کشار	۳۵۰۰	۱۴۰	۱۳۹۰	۱۴۹۰۰
	نمک‌زدایی ۱۷ روستایی	۱۸۸	۱۲	۱۳۹۰	۱۳۷۴۰
	نمک‌زدایی هرنگ	۱۵۰۰	۳	۱۳۹۲	۶۸۰۰
	نمک‌زدایی چيروئيه	۱۵۰	۱/۷	۱۳۹۲	۲۶۵۰
	نمک‌زدایی حسینه	۳۵۰	۷	۱۳۹۲	۳۰۰۰۰
	نمک‌زدایی رمچاه	۵۰۰	۲۰	۱۳۸۹	۱۲۲۳۶
	نمک‌زدایی بندرلنگه	۱۰۰۰۰	۳۰۰	۱۳۸۸	۵۸۰۰
	نمک‌زدایی کووه‌ای	۴۰۰۰	۱۶۰	۱۳۹۱	۱۸۵۰۰
	نمک‌زدایی پدل-لمزان	۱۲۰۰	۹	۱۳۹۲	۱۱۰۰۰
	نمک‌زدایی مقام	۱۴۰۰	۲۴/۵	۱۳۹۲	۲۷۰۰۰
	نمک‌زدایی بونجی	۲۵۰۰	۷۲	۱۳۹۲	۲۹۰۰۰
	نمک‌زدایی دیوان	۷۵۰	۲۴/۵	۱۳۹۲	۲۷۰۰۰

جدول ۴- تأسیسات نمک‌زدایی در حال کار برای تأمین بخشی از نیاز آب شرب ایران در پایان سال ۱۳۹۴ (دفتر تجهیز منابع مالی و گسترش مشارکت بخش غیردولتی، ۱۳۹۵)

استان	نام تأسیسات	ظرفیت اسمی تولید آب (مترمکعب در شبانه روز)	مبلغ سرمایه‌گذاری (میلیارد ریال)	سال عقد قرارداد	قیمت پایه هر مترمکعب (ریال)
هرمزگان	نمک‌زدایی گرز	۲۵۰	۶/۳	۱۳۹۲	۲۸۳۰۷
	نمک‌زدایی سیریک	۳۷۵۰	۱۱۲/۵	۱۳۹۱	۱۳۶۰۰
	نمک‌زدایی تولید آب و برق قشم	۹۰۰۰	۶۴ میلیون یورو	۱۳۹۴	۲۸۲۰۰
بوشهر	نمک‌زدایی کنگان	۱۰۰۰۰	۴۲۰	۱۳۹۱	۲۹۹۰۰
اصفهان	نمک‌زدایی ابوزیدآباد کاشان	۳۶۳۰	۲۰	۱۳۹۰	۴۷۵۰
	نمک‌زدایی مهاباد اردستان	۱۲۰۰	۱۸	۱۳۹۱	۱۱۱۰۰
جمع		۱۶۵۶۴۳	۳۲۱۹/۵ میلیارد ریال و ۶۴ میلیون یورو	-	-

جدول ۵- تأسیسات نمک‌زدایی در حال ساخت برای تأمین بخشی از نیاز آب شرب ایران در پایان سال ۱۳۹۴ (دفتر تجهیز منابع مالی و گسترش مشارکت بخش غیردولتی، ۱۳۹۵)

استان	نام تأسیسات	ظرفیت اسمی تولید آب (مترمکعب در شبانه روز)	مبلغ سرمایه‌گذاری (میلیارد ریال)	سال عقد قرارداد	قیمت پایه هر مترمکعب (ریال)
اصفهان	نمک‌زدایی فرخی	۵۰۰	۱۰/۳۴۰	۱۳۹۳	۲۴۵۰۰
بوشهر	نمک‌زدایی بوشهر	۱۰۰۰۰	۴۲۰	۱۳۹۱	۲۹۵۰۰
ایلام	آب شیرین‌کن چاه شماره ۲ صالح‌آباد (سرنی)	۱۷۲۸	۱۵	۱۳۹۴	۸۷۵۰
سیستان و بلوچستان	نمک‌زدایی پسابندر	۴۰۰۰	۱۶۰	۱۳۹۲	۱۹۵۰۰
هرمزگان	نمک‌زدایی بندرعباس	۱۰۰۰۰۰	۵۱۰۰	۱۳۹۱	۱۴۱۵۰
کرمان	تأسیسات نمک‌زدایی کیانشهر، ریحان شهر و کوهبنان	۵۶۰	۱۰	۱۳۹۳	۲۲۰۰۰
گلستان	نمک‌زدایی شهرهای بندرتَرکمن و گمیشان	۷۶۰۰	۳۰۳	۱۳۹۳	۹۴۸۰
هرمزگان	نمک‌زدایی پستانه	۶۰۰	۱۶/۳۸	۱۳۹۴	۲۲۰۰۰
	نمک‌زدایی شناس	۸۰۰	۱۹/۸۴	۱۳۹۴	۲۲۰۰۰
	نمک‌زدایی دژگان	۲۳۰۰	۶۲/۳۸	۱۳۹۴	۱۹۵۰۰
البرز	نمک‌زدایی اشتهاارد	۵۰۰۰	۶۱	۱۳۹۴	۹۷۶۲
مازندران	نمک‌زدایی گلوگاه	۵۴۵۰	۴۲	۱۳۹۴	۶۴۰۰
خوزستان	رامهرمز نمک‌زدایی	۱۰۰۰۰	۱۰۴	۱۳۹۴	۹۹۵۰
	نمک‌زدایی هندیجان	۷۵۰۰	۵۴	۱۳۹۴	۱۱۹۵۰
	نمک‌زدایی شادگان و دارخوین	۱۲۵۰۰	۱۶۱	۱۳۹۴	۱۱۸۰۰
جمع		۱۶۸۵۳۸	۶۵۳۸/۹۴	-	-

جمع‌بندی

نهایت آن که با گذشت زمان و متعاقباً تقلیل و زوال منابع آب با کمیت و کیفیت مناسب در کشورهای منطقه‌ی منا، وابستگی کشورهای این منطقه، به ویژه مناطق ساحلی کشورهای واقع در حوزه‌ی خلیج فارس،

به تأسیسات نمک‌زدایی آب، روز به روز بیش‌تر و وثیق‌تر خواهد شد. این در حالی است که تولید و پشتیبانی از اغلب این تأسیسات و شاید با واسطه‌هایی، پشتیبانی لجستیک و فنی تمامی تأسیسات نمک‌زدایی آب مستقر در منطقه‌ی خلیج فارس، از خارج از محدوده‌ی جغرافیایی آن و اغلب توسط شرکت‌های اروپایی، آمریکایی و آسیای شرقی انجام

6- Reverse Osmosis (RO)

7- Multi Stage Flash Distillation (MSF)

۸- تأسیسات نمک‌زدایی آب مهم‌ترین منبع تأمین آب در کویت، امارات، قطر و بحرین و تأمین‌کننده‌ی بیش از نیمی از نیاز آبی عربستان است. ۹- بزرگ‌ترین تأسیسات نمک‌زدایی آب جهان در منطقه‌ی خاورمیانه و بیش‌تر در حاشیه‌ی جنوبی خلیج فارس نصب شده است. در عربستان تأسیسات نمک‌زدایی الجویل (Al Jubail) با ظرفیت ۳/۰۱ و التاویلا (Al taweelah) به ظرفیت ۱/۰۶ میلیون مترمکعب در روز؛ در ابوظبی، تأسیسات نمک‌زدایی آب ام‌النار (Um Al Nar) به ظرفیت ۰/۸۶، شای‌هات (Shuweihat) به ظرفیت ۰/۴۵ میلیون متر مکعب در روز؛ در دوبی، تأسیسات نمک‌زدایی آب جبل علی (Jebel Ali) به ظرفیت ۱/۱۷ میلیون متر مکعب در روز؛ در کویت تأسیسات نمک‌زدایی آب الزو (AzZour) و دوها (Doha) با مجموع ظرفیت ۰/۵ میلیون متر مکعب در روز، در حال کار هستند.

منابع

- نامجو، م. بلور، ب. و قنادی، م. ۱۳۸۹. شرکت‌های آب و فاضلاب در گام چهارم توسعه، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.
- قنادی، م. ۱۳۸۴. آب شیرین‌کن‌های شهری و روستایی ایران و کیفیت آب استحصال شده‌ی آن‌ها، نشریه‌ی آب و محیط زیست، ۳:۶۴-۱۰۰.
- دفتر تجهیز منابع مالی و گسترش مشارکت بخش غیردولتی، ۱۳۹۴. پروژه‌های مشارکت بخش غیردولتی (بیع متقابل، BOT و BOO)، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.
- Al Barwani H.H. & Purnama A. 2008. Evaluating the effect of Producing Desalinated Seawater on Hypersaline Gulf, European Journal of scientific Research, 22(8):79-285
- International Renewable Energy Agency (IREA), 2012. Water Desalination Using Renewable Energy, Technology Brief, IEA-ETSAP and IRENA Technology Brief.
- Roudi – Fahimi F., Creel L. and De Souza R.M. 2002. FIN-ING THE BALANCE: Population and Water Scarcity in the Middle East and North Africa, Population Reference Bureau, MENA Policy Brief.
- Safi O. 2012. The Future Outlook of Desalination in the Gulf: Challenges & opportunities faced by. Qatar & the UAE. Master's thesis, McMaster University, Canada.
- Walter I., Peter D., Wilco T., Jippe H., Petra H. and Mark B. 2011. Middle-East and Northern Africa Water Outlook, January 2011, Commissioned by World Bank.
- World Bank. 2011. Middle-East and Northern Africa Water Outlook, Commissioned by World Bank.

می‌شود. این امر در میان مدت، وابستگی کشورهای منطقه را به شرکت‌ها و کشورهای فرمانطقه‌ای بیش‌تر و آسیب‌پذیری اقتصادی و حتی سیاسی آن‌ها را نیز افزایش خواهد داد. گسترش دانش کاربردی و مهارت‌های فنی نمک‌زدایی آب و تلاش برای بومی سازی فرآیند نگهداری و راهبری تأسیسات آن، با تمرکز بر ساخت تدریجی قطعات تأسیسات نمک‌زدایی آب، می‌تواند پایداری این تأسیسات در نظام مدیریت برنامه‌ریزی آب کشور را بیش‌تر نموده و نگرانی‌های موجود را به تدریج کاهش و حتی مرتفع سازد.

تشکر و قدردانی

نگارنده لازم می‌داند مراتب قدردانی خود را از مجموعه‌ی همکاران حوزه‌ی معاونت برنامه‌ریزی و توسعه‌ی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، به ویژه آقای مهندس علی اصغر قانع و مدیر و همکاران دفتر تجهیز منابع مالی و گسترش مشارکت بخش غیردولتی اعلام دارد.

پی‌نوشت

1- Middle-East and Northern Africa (Mena)

۲- در مقیاس جهانی، بیش‌تر از سه شاخص زیر در برآورد نیاز آبی استفاده می‌شود:

- بنا به نظر پیتز گلیک (Peter Gleik) برای تأمین نیازهای آشامیدنی و بهداشتی (توالت) هر نفر، روزانه به ۲۰ تا ۴۰ لیتر آب نیاز است. با احتساب مقدار آب مورد نیاز برای استحمام و پخت و پز، گلیک مقدار نیاز سرانه‌ی آب را بین ۲۷ تا ۲۰۰ لیتر در روز پیش‌بینی کرده است.
- مالین فالکن مارک (Malin Falkenmark) دانشمند آبشناس سوئدی، سرانه‌ی حداقل ۱۰۰ لیتر آب در روز را برای تأمین نیازهای فردی و ۵ تا ۲۰ برابر مقدار یاد شده را برای برآورده ساختن نیازهای صنعتی و کشاورزی پیشنهاد کرده است. بر اساس طبقه‌بندی فالکن مارک که مورد قبول آب‌شناسان بانک جهانی و سایر سازمان‌های بین‌المللی است، کشورهایی که سرانه‌ی سالانه‌ی منابع آب آن‌ها کم‌تر از ۱۷۰۰ متر مکعب باشد، دچار تنش آبی (Water Stress) و کشورهایی که سرانه‌ی منابع آب آن‌ها کم‌تر از ۱۰۰۰ متر مکعب باشد، به عنوان کشورهای کم آب (Water Scarce) شناخته می‌شوند.
- سازمان ملل متحد (UN) شاخص کم آبی کشورها را بر معیار حجم سالانه‌ی آب تجدیدپذیر کشورها و نسبت آن با میزان تقاضا و مصرف آب قرار داده و بر این عقیده است که: "هر گاه مجموع مصرف آب یک کشور از ۴۰ درصد کل منابع آب سالانه‌ی تجدیدپذیر آن بیش‌تر باشد، آن کشور کم آب تلقی می‌شود."

3- Water Demand

4- Water Stress

5- Water Scarce

Public-Private Partnership in the Water and Wastewater Industry "Case Study of Africa, Asia and Latin America"

A.R. Nozari Poor¹, M. Ghasem Sharabiani^{2*}, P. Olad Ghaffari³

1- MSc in Public Management-Change Management, Tehran Province Water & Wastewater Company, Iran. 2- PhD Student, Management of Technology (Research & Development) and PhD in Environment, Science and Research University, Tehran Province Water & Wastewater Company, Iran.

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

Received: 07-06-2017

Accepted: 31-07-2017

مشارکت بخش عمومی- خصوصی در صنعت آب و فاضلاب "مطالعه موردی نمونه کشورهای حوزه آفریقا، آسیا و آمریکای لاتین"

علیرضا نوذری پور^۱، میترا قاسم شریانی^{۲*}، پرینسا اولاد غفاری^۳

۱- کارشناس ارشد مدیریت دولتی گرایش مدیریت تحول، پژوهشگاه مدیریت و برنامه ریزی، شرکت آب و فاضلاب استان تهران. ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری مدیریت تکنولوژی گرایش تحقیق و توسعه و دکتری محیط زیست، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، شرکت آب و فاضلاب استان تهران.

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

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۰۹

Abstract

The Public-Private partnership in the water and wastewater industry is remarkably important for developing countries. In particular, attention must be paid to fulfill the interests of both private and public sectors, this must also be reflected in the contracts. Although, increasing the efficiency and improving the quality of services is one of the important reasons for cooperation with the private sector, improving financial flows and increasing investment is the most important reason for these types of cooperation agreements. Public-private partnership in the water and wastewater industry is being designed and implemented in different parts of the world and various results have been achieved. Reviewing the implementation models of this type of partnership in different countries and analyzing their strengths and weaknesses can be important in designing a suitable model for Iran. In this research, public-private partnership models in some developing countries in Asia, Africa, and Latin America are reviewed by the survey method and appropriate recommendations are proposed for the public-private partnership in Iran.

Keywords: Public-Private partnership, Water and wastewater industry, Developing countries.

چکیده

مشارکت بخش عمومی-خصوصی در صنعت آب و فاضلاب در کشورهای در حال توسعه گزینه‌ای مورد توجه است. در مشارکت بخش عمومی- خصوصی تحقق منافع هر دو طرف عمومی و خصوصی در نتیجه نهائی پروژه‌ها بسیار حائز اهمیت است و باید در طراحی متن قراردادهای مورد توجه قرار گیرد. هر چند افزایش کارائی و بهبود کیفیت خدمات از علل مهم همکاری با بخش خصوصی است، اما بهبود جریان مالی و افزایش سرمایه‌گذاری مهمترین علت این نوع قراردادهای همکاری است. مشارکت بخش عمومی- خصوصی در صنعت آب و فاضلاب در نواحی مختلف جهان به طرق متفاوتی طراحی و اجرا می‌شود و نتایج گوناگونی نیز از آنها حاصل شده است. بررسی مدل‌های اجرای این نوع مشارکت در کشورهای مختلف و تحلیل نقاط قوت و ضعف آنها می‌تواند در طراحی مدلی مناسب برای ایران، حائز اهمیت باشد. در این پژوهش مدل‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی در برخی کشورهای در حال توسعه آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین، به شیوه مرور ادبیات بررسی شده و در نهایت راهکارهای مناسب مشارکت بخش عمومی- خصوصی برای ایران پیشنهاد گردیده است.

واژه‌های کلیدی: مشارکت بخش عمومی- خصوصی، صنعت آب و فاضلاب، کشورهای در حال توسعه.

انسانی محسوب می‌شود. دسترسی به برق مقرون به صرفه و آب آشامیدنی سالم، دو عامل مهم تعیین کننده استاندارد زندگی در جوامع به شمار می‌آیند.

• صنایع زیرساخت عامل اصلی تعیین کننده اقتصاد رقابتی هستند و کیفیت آن‌ها عامل مهمی در سرمایه‌گذاری‌های دیگر حوزه‌ها به حساب می‌آید.

• زیرساخت‌ها کلید توسعه اقتصادی و مشارکت با اقتصاد جهانی هستند (Fung و همکاران، ۲۰۱۱).

در کشورهای در حال توسعه حدود ۷۰٪ از کل سرمایه‌گذاری این بخش توسط دولت، ۲۰٪ توسط بخش خصوصی و مابقی توسط کمک‌های رسمی توسعه‌ای^۲ تأمین می‌شود. شکاف قابل توجهی بین سرمایه‌گذاری واقعی و سرمایه‌گذاری مورد نیاز در تمام کشورهای در حال توسعه و صنایع زیرساختی وجود دارد. به منظور رفع کمبودها، دولت‌های کشورهای در حال توسعه باید از تمام پتانسیل‌های تأمین مالی و سرمایه‌گذاری، از جمله مشارکت شرکت‌های فراملیتی و سرمایه‌گذاری خارجی و بخش خصوصی بهره‌مند شوند. در کشورهای جنوب صحرای آفریقا، این شکاف ممکن است به ۵۰٪ سرمایه‌گذاری مورد نیاز سالانه برسد. در این کشورها برای ایجاد تأسیسات زیرساختی جدید و تعمیر و نگهداری تأسیسات موجود به طور متوسط حدود ۴۰ میلیارد دلار در سال مورد نیاز است تا اهداف کاهش فقر در راستای اهداف توسعه‌ی هزاره، تحقق یابد. متوسط نرخ رشد اقتصادی سالانه ۷٪ و سرمایه‌گذاری سالانه ۹٪ از تولید ناخالص داخلی در زیرساخت، با بیشترین سرمایه‌گذاری در جاده‌ها و برق فرض می‌شود. با این وجود سالانه حدود ۱۶/۵ میلیارد دلار از منابع مشخص شده داخلی و خارجی تأمین می‌شود و سالانه حدود ۲۳/۵ میلیارد دلار کسری بودجه در این بخش وجود دارد. نیازهای سرمایه‌گذاری و شکاف تأمین مالی در صنایع زیرساختی منطقه آسیا و اقیانوسیه نیز بسیار بزرگ است، به ویژه هنگامی که نیازهای سرمایه‌گذاری قابل توجه چین و هند در نظر گرفته می‌شود. طبق مطالعات کمیته اقتصادی و اجتماعی آسیا و اقیانوسیه وابسته به سازمان ملل متحد^۳ در طول دوره ۲۰۰۶-۲۰۱۰، این منطقه نیاز به سرمایه‌گذاری سالانه ۶۰۸ میلیارد دلار برای توسعه زیرساخت‌ها داشت، در حالی که سرمایه‌گذاری سالانه واقعی در این سال‌ها تنها ۳۸۸ میلیارد دلار بوده است و کمبود سرمایه‌گذاری حدود ۲۲۰ میلیارد دلار محاسبه گردید (UNCTAD، ۲۰۱۵). در کشورهای آمریکای لاتین و حوزه دریای کارائیب نیز شکاف تأمین مالی در این بخش‌ها به همان اندازه بزرگ است. این منطقه در حال حاضر به طور متوسط کمتر از ۲ درصد از تولید ناخالص داخلی را صرف زیرساخت‌های سالانه‌اش می‌کند، در حالی که حدود ۳-۶٪ از تولید ناخالص داخلی را در این بخش نیاز دارد. در این منطقه در سال‌های اخیر سرمایه‌گذاری بخش عمومی در زیرساخت‌ها، بطور قابل توجهی کاهش یافته است. این امر تا حدی به دلیل تنظیم

ایجاد زیرساخت‌های با کیفیت، پیش نیاز توسعه اقتصادی است. در واقع این امر یکی از اصلی‌ترین عوامل شتاب دادن گام‌ها برای رسیدن به توسعه پایدار و دستیابی به اهداف هزاره سوم سازمان ملل متحد می‌باشد. از طرفی توسعه صنایع زیرساختی بسیار پرهزینه است و همواره شکاف معناداری بین نیازهای بخش‌های زیرساختی و میزان سرمایه‌گذاری در این بخش‌ها وجود داشته است. این درحالی است که پیش‌بینی می‌شود، نیاز کشورهای در حال توسعه به سرمایه‌گذاری در این حوزه‌ها در آینده به مراتب بیش از آن مقدار که توسط دولت‌ها، بخش خصوصی و سایر ذینفعان انجام می‌شود، خواهد بود. در نتیجه شکاف بین میزان نیاز و مقدار سرمایه‌گذاری در این بخش‌ها به طور قابل توجهی در حال افزایش است، چنانچه نیاز بخش‌های زیرساختی (انرژی، مخابرات، حمل و نقل، آب و فاضلاب) در شرق آسیا و اقیانوس آرام طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۲۰ حدود ۷۵۰ میلیارد دلار پیش‌بینی شده است. کشورهای در حال توسعه در زیرساخت‌ها با شکاف بزرگ تأمین مالی طرح‌های خود مواجه‌اند و فقدان قابلیت‌های نهادی در این کشورها از تحقق چنین سرمایه‌گذاری جلوگیری می‌کند (Marin، ۲۰۰۹). با توجه به برآوردهای بانک جهانی به طور متوسط، کشورهای در حال توسعه سالانه ۳-۴٪ از تولید ناخالص داخلی خود را در زیرساخت‌ها سرمایه‌گذاری می‌کنند، درحالی‌که نیاز به سرمایه‌گذاری در این بخش‌ها برای رسیدن به اهداف رشد اقتصادی و کاهش فقر حدود ۷-۹٪ از تولید ناخالص ملی این کشورها را می‌طلبد (UNCTAD، ۲۰۱۵). به دلیل میزان بسیار بالای سرمایه‌گذاری مورد نیاز در زیرساخت‌ها، تغییر اساسی در ایفای نقش دولت در این صنایع در سراسر جهان به وجود آمده است. دولت‌ها فضای اقتصادی صنایع و خدمات زیرساختی را برای مشارکت بیشتر بخش خصوصی از جمله شرکت‌های فراملیتی^۱ باز کرده‌اند. در کشورهای در حال توسعه علاوه بر شرکت‌های فراملیتی مجموعه‌ای ناهمگن از مؤسسات متعلق به دو گروه عمده سرمایه‌گذاران خصوصی و عمومی یا مؤسسات دولتی یا وابسته به دولت در صنایع زیرساختی فعالیت می‌کنند. تجزیه و تحلیل فعالیت‌های سرمایه‌گذاری در صنایع زیرساختی و تصمیم‌گیری درست در این خصوص مستلزم شناخت ویژگی‌های این صنایع می‌باشد. ویژگی‌های اساسی این صنایع را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- سرمایه‌گذاری در این صنایع بسیار پرهزینه و پیچیده است.
- این صنایع اغلب درگیر شبکه‌ای متنوع از تأمین‌کنندگان خدمات هستند
- اغلب ماهیت انحصارکامل یا انحصار چندجانبه دارند.
- در بسیاری از جوامع، دسترسی به محصولات و خدمات زیرساختی به عنوان یک مسأله اجتماعی و سیاسی محسوب شده و از جمله کالاهای عمومی در نظر گرفته می‌شود، به این معنا که باید برای عموم در دسترس باشد. برخی از آن‌ها مانند آب، به عنوان یک حق

مالی در بحران اقتصادی ایجاد شده و گرایش برخی از دولت‌ها به کاهش سرمایه‌گذاری و طرح‌های خصوصی‌سازی و نیز تغییر جهت مسئولیت بخش خصوصی برای تأمین مالی و مدیریت زیرساخت‌ها می‌باشد. در مقابل، سرمایه‌گذاری‌های خصوصی در زیرساخت‌ها در این منطقه افزایش یافته است، هرچند برای رفع شکاف تأمین مالی مورد نیاز کافی نیست و به طور نابرابری در میان صنایع و کشورهای منطقه توزیع شده است (UNCTAD، ۲۰۱۵). یکپارچگی منطقه‌ای در آسیا و اقیانوسیه، آفریقا و آمریکا لاتین و حوزه دریای کارائیب، اهمیت توسعه زیرساخت‌های منطقه‌ای را برجسته‌تر می‌کند و مزیت نسبی مناسبی برای توسعه همکاری‌های

۱- ویژگی‌های عمده صنعت زیرساختی آب و فاضلاب

تمام فعالیت‌های زنجیره تأمین صنعت آب (استخراج، انتقال، توزیع و عرضه) و فاضلاب (جمع‌آوری، انتقال، تصفیه و دفع پساب) درگیر صرفه‌های اقتصادی ناشی از مقیاس هستند. به همین دلیل، ارائه خدمات آب و فاضلاب به طور معمول متحمل هزینه‌های ثابت و بسیار زیاد پروژه‌های متمرکز بزرگ مقیاس است که نیاز به ورودی انرژی قابل توجهی دارند. در عین حال، گسترش خدمات، تعویض یا تعمیر و نگهداری تأسیسات موجود و انطباق آن‌ها با امنیت و هنجارهای زیست‌محیطی، نیاز به سرمایه‌گذاری‌های بزرگ و برنامه‌ریزی‌های قابل توجه دارد (Kirkpatrick و همکاران، ۲۰۰۶). زیر ساخت‌های تأمین آب و جمع‌آوری و دفع فاضلاب همگام با افزایش جمعیت جهان توسعه نیافته و این امر منجر به کمبود مزمن آب در مناطق مختلف جهان و مشکلات پیچیده جمع‌آوری و دفع فاضلاب شده است. این مشکلات عمدتاً به دلیل مسائل مدیریتی و تأمین مالی است و کمتر به عدم دسترسی به منابع مربوط می‌شوند. وخامت مسأله در اعلامیه توسعه هزاره سوم سازمان ملل متحد، که در آن در دسترس بودن آب به عنوان یک اولویت به رسمیت شناخته شده، منعکس گردیده است. حتی در کشورهای توسعه یافته، کاهش قیمت آب سالم در میان بخش‌های فقیرتر جامعه تبدیل به یک مسئله حیاتی شده است. باید به خاطر داشت که آب نه تنها برای مصرف مستقیم انسانی، بلکه برای اهداف اقتصادی در بخش کشاورزی و تولید نیز بسیار حائز اهمیت است. به طور متوسط تنها ۱۰ درصد از آب جهان برای مصارف خانگی اختصاص می‌یابد و مابقی عمدتاً در بخش کشاورزی و صنعت مصرف می‌شود (Fung و همکاران، ۲۰۱۱).

حوزه صنعت آب برای رقابت بسیار محدود است. اگر چه استخراج و عرضه خرده‌فروشی می‌تواند به صورت رقابتی باشد، اما ماهیت توزیع آب همچنان انحصاری باقی می‌ماند، زیرا هزینه‌های آن مرتبط با ایجاد شبکه برای توزیع آب است و ایجاد رقابت با ایجاد شبکه مضاعف اقتصادی نیست. علاوه بر این، عدم تمرکز به علت هزینه‌های بالا و مشکلات مرتبط با اتصال و با توجه به این واقعیت

منطقه‌ای در زیرساخت‌ها فراهم می‌کند. پیوستگی زیرساخت‌های فیزیکی برای حمایت از یکپارچگی منطقه‌ای بسیار مهم است و به نوبه خود برای تسهیل تجارت بین منطقه‌ای، تولید و سرمایه‌گذاری حائز اهمیت است. این شکل از همکاری‌های منطقه‌ای جنوب-جنوب به تقویت توسعه اقتصادی در مناطق مذکور کمک می‌کند. سرمایه‌گذاری مورد نیاز این نوع پروژه‌ها نیز قابل توجه می‌باشد، هر چند در برخی موارد فعالیت‌های زیرساختی بین منطقه‌ای می‌تواند به کاهش شکاف تأمین مالی از طریق به اشتراک‌گذاری هزینه‌های توسعه با صرفه‌های اقتصادی ناشی از مقیاس^۴ و صرفه‌های اقتصادی ناشی از دامنه کاری^۵ کمک کند (UNCTAD، ۲۰۰۸).

که بسیاری از هزینه‌های آب هنوز به توزیع، که ماهیت انحصاری دارد، مربوط می‌شود، جذاب نیست. ملاحظات مربوط به آب به عنوان یک نیاز اساسی می‌تواند به محدودیت‌های ایجاد عدم تمرکز در این حوزه اضافه شود (UNCTAD، ۲۰۱۵).

در طبقه‌بندی آی سیک^۶ تأمین آب با کد ۴۹۴ و خدمات گندزدایی با کد ۴۹۵ جزو صنایع زیرساختی طبقه‌بندی شده‌اند و سیستم‌های آبیاری با کد ۴۹۷ به عنوان صنایع وابسته مستقیم به این صنایع قرار دارند. در صنعت آب و فاضلاب بخش توزیع آب و بخش جمع‌آوری فاضلاب به عنوان بخش‌های غیر رقابتی و تولید، انتقال و تصفیه آب و تصفیه فاضلاب به عنوان بخش‌های رقابتی صنعت دسته‌بندی شده‌اند (UNCTAD، ۲۰۰۸).

۲- سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی^۷ و نقش شرکت‌های فراملیتی در توسعه صنایع زیرساختی

عوامل مؤثر بر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در زیرساخت‌ها عبارتند از:

نخست- میزان انطباق با عوامل تعیین‌کننده پروژه (میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز، درجه پیچیدگی فن‌آوری، مدت زمان پروژه و زمان انتظار مورد نیاز برای بازگشت سرمایه)

دوم- عوامل خارجی مؤثر اعم از ابعاد حقوقی، نهادی، سیاسی و اجتماعی پروژه‌های زیرساخت (به عنوان مثال، وجود مراکز قدرت مبهم و حتی متناقض در درون دولت به دلیل تقسیم اختیارات میان دولت مرکزی و نهادهای محلی یا به دلیل تفاوت ساختار قدرت بین وزارتخانه‌های دولتی)

سوم- ابعاد اقتصادی و مالی مؤثر بر سرمایه‌گذاری خارجی در کشورهای در حال توسعه، که به شرایط کلان اقتصادی این کشورها مربوط می‌شود (مانند نرخ تورم، نرخ رشد تولید ناخالص داخلی، میزان بدهی‌های خارجی و ریسک نرخ مبادله ارزی این کشورها) (صبیحه و کشتیان، ۱۳۸۸)

در جدول (۱) الزامات ورود به تعاملات سرمایه‌گذاری خارجی در صنایع زیر ساختی ارائه شده است (UNCTAD، ۲۰۱۱).

جدول ۱- اقدامات اولیه برای سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در زیر ساخت‌ها (UNCTAD, ۲۰۱۱)

مرحله	اقدامات
ایجاد پیش‌نیازهای سرمایه‌گذاری خارجی	• توسعه چارچوب‌های قانونی و مقرراتی پیش از ورود سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی • اطمینان از ظرفیت و مهارت به منظور تسهیل و تنظیم سرمایه‌گذاری خصوصی اولیه در زیرساخت‌ها • توانمندسازی نیروی کار برای ایجاد اصلاحات لازم • توسعه برنامه‌های استراتژیک یکپارچه برای شناسایی نیازهای کلیدی • رسیدگی فعالانه به انتظارات جامعه و ذینفعان
ارتقاء و تسهیل ورود سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی	• ایجاد خط سیر ارزیابی شده از پروژه‌های جذاب تجاری که می‌توانند به طور فعال ارتقاء داده شوند • ایجاد امکان شرکت در مناقصه تا حد ممکن برای تمام سرمایه‌گذاران • اطمینان از اینکه در قرارداد تمام مسائل مهم طول پروژه در نظر گرفته شود • کمک به کاهش مواجهه سرمایه‌گذاران خارجی با ریسک‌های سیاسی و قانونی
ایجاد اطمینان از اجرای کارا و اثربخش پروژه	• نظارت و پیگیری اجرای پروژه • درک و توجه دقیق به مسائل رقابتی • بازیگران خصوصی و عمومی می‌توانند در یک چارچوب رقابتی هم‌زمان وجود داشته باشند

امروزه مشارکت شرکت‌های فراملیتی‌ها در زیرساخت‌ها، به ویژه در کشورهای در حال توسعه و اقتصادهای در حال گذار، به میزان قابل توجهی افزایش یافته است و صنایع زیرساخت، سهم سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به داخل را به سرعت گسترش داده است. در طول سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۶، ارزش سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در زیرساخت‌های سراسر جهان ۳۱ برابر (تا ۷۸۶ میلیارد دلار) و در کشورهای در حال توسعه ۲۹ برابر (تا حدود ۱۹۹ میلیارد دلار) افزایش یافت و این رشد همچنان ادامه دارد. در حال حاضر، سهم زیرساخت‌ها در جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی نسبت به کل آن در سطح جهان نزدیک به ۱۰٪ می‌باشد که در مقایسه با ۲٪ سال ۱۹۹۰ رشد قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد (Fung و همکاران، ۲۰۱۱).

شرکت‌های فراملیتی به میزان قابل توجهی در پروژه‌های مشارکت بخش خصوصی در صنایع زیرساختی^۱ کشورهای در حال توسعه سرمایه‌گذاری کرده‌اند. در طول سال‌های ۱۹۹۶-۲۰۰۶، با تمرکز در آمریکای لاتین و منطقه کارائیب، این شرکت‌ها حدود ۲۴۶ میلیارد دلار در صنایع زیرساختی این کشورها سرمایه‌گذاری کردند، در صنایع زیرساختی آفریقا و آسیا نیز از ابتدای قرن بیست و یکم، مشارکت شرکت‌های فراملیتی سرعت بیشتری گرفته است (UNCTAD, ۲۰۱۱). حضور شرکت‌های فراملیتی در کشورهای در حال توسعه و اقتصادهای در حال گذار به انواع فرم‌های حقوقی، از جمله سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، سرمایه‌گذاری غیر مستقیم و فرم‌های مختلط انجام می‌شود. این شیوه‌ها به لحاظ محتوای اختصاصی و به لحاظ صنعتی و منطقه‌ای متفاوت هستند و طی زمان نیز تغییر می‌کنند. این شرکت‌ها عمدتاً روش قراردادهای مدیریت، انواع مشارکت بخش عمومی-خصوصی^۲ و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی را ترجیح می‌دهند. روش انتخاب شده برای سرمایه‌گذاری به عوامل

دیگری، از جمله سیاست‌های کشور میزبان (که ممکن است تنها اجازه روش خاصی را بدهد) و مسائل مربوط به ریسک سرمایه‌گذاری (که ممکن است مشارکت و کنسرسیوم‌ها را تشویق کند) بستگی دارد. در برخی از بخش‌های صنعتی مانند مخابرات، که ساختار بازار رقابت‌پذیر است، معمولاً سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند، اما در بخش‌های دیگر، به ویژه بخش صنعت آب، شرکت‌های فراملیتی‌ها معمولاً از طریق روش‌های مشارکت بخش عمومی-خصوصی عمل می‌کنند. همچنین فعالیت این نوع شرکت‌ها بسته به منطقه نیز متفاوت است. در دهه ۱۹۹۰ در آمریکای لاتین و حوزه دریای کارائیب، فرم سهام مشترک^۳ رایج بود، اما در دهه جدید تغییر به سمت اشکال غیر سهامی^۴ رو به افزایش بوده است. در آسیا نیز شرکت‌های فراملیتی با اشکال غیر سهامی بیشتر فعالیت می‌کنند (Cuttaree و Mandri-Perrott, ۲۰۱۱).

مزیت رقابتی شرکت‌های فراملیتی در پروژه‌های زیر ساختی نسبت به دیگر رقبا مربوط به توانمندی‌ها و مهارت‌های تخصصی این نوع شرکت‌ها در طراحی و اجرای شبکه‌ها، مهارت‌های مهندسی، دانش فنی محیط زیست، توانمندی‌های مدیریت پروژه، مهارت‌های ضمنی متخصصین که فرد به فرد منتقل شده و نانوشته‌اند، روش‌های کسب و کار تخصصی و ریسک‌پذیری مالی در برخی از صنایع و بخش‌ها مثل مخابرات است. تفاوت‌های شرکت‌های فراملیتی در این مزیت‌های رقابتی عامل کلیدی تصمیم‌گیری برای دولت‌ها محسوب می‌شوند (Mannapbekov و همکاران، ۲۰۰۷).

شاید در کل این گونه عنوان کرد که مهم‌ترین سیاست مؤثر برای تشویق سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در صنایع زیر ساختی در کشورهای در حال توسعه، حمایت از ایجاد ظرفیت و تقویت نهادی برای تنظیم قدرتمند و مستقل قوانین باشد (Kirkpatrick و همکاران، ۲۰۰۶).

۳- روش‌های مشارکت بخش خصوصی در پروژه‌های زیرساختی

همانگونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، علاوه بر فرم‌های سهام کامل یا سهام غیر مساوی مشارکت در پروژه‌ها، مشارکت می‌تواند اشکال مختلفی داشته باشد که عناصر هر دو فرم را ترکیب کند. در بیشتر موارد، این فرم‌های ترکیبی مرتبط با امتیازاتی هستند که طبق آن بخش خصوصی سهامی را حداقل برای یک دوره معین از آن خود می‌کند (عامل حقوق صاحبان سهام)^{۱۲} و خود را به فراتر از اشکال مبتنی بر مشارکت متعهد می‌دانند، که در آن تعامل صاحبان سهام محدود به زمان نیست. در مجموع، این فرم‌های مشارکت، "اعطای امتیاز"^{۱۳} نامیده می‌شوند و در قالب قراردادهای مشارکت بخش عمومی-خصوصی شکل می‌گیرند. این واژه از دهه ۱۹۹۰ برای توصیف شکلی از مشارکت بخش خصوصی^{۱۴} در تأمین مالی زیرساخت‌ها استفاده می‌شود. اگرچه تعاریف متفاوت است، اما همه بر این اصل معتقدند که مشارکت بخش عمومی-خصوصی، تدارک خدمات یا سرمایه از طریق همکاری بخش عمومی و خصوصی است. هدف از این نوع مشارکت ایجاد تعادل مناسب بین ریسک بخش خصوصی و مشوق‌ها در راستای بهترین عملکرد است. ریسک در بخش خصوصی بالاتر است و نیاز بیشتری به بازگشت سرمایه در زمان کوتاه‌تر دارند. مشارکت با بخش عمومی از طریق افزایش کارایی و مدیریت ریسک بهتر، این مشکلات را جبران می‌کند. شاید فایده اصلی مشارکت بخش عمومی-خصوصی برای مسئولین دولتی ایجاد درک ارزش پول، از طریق خدمات بهتر و ارزان‌تر در بلندمدت باشد (Mannapbekov و همکاران، ۲۰۰۷). مشارکت بخش عمومی-خصوصی با ترکیب نقاط قوت بخش خصوصی اعم از نوآوری، دانش و مهارت فنی، کارایی مدیریتی و روحیه کارآفرینی با نقش عاملین بخش عمومی از قبیل مسئولیت اجتماعی، ایجاد عدالت و پاسخگویی در قبال مسائل اجتماعی و تجمیع دانش بومی، روشی بسیار کارآمد در ارتقاء خدمات بخش‌های زیرساختی از جمله آب و فاضلاب می‌باشد (Roehrich و همکاران، ۲۰۱۴).

آنها در فرایندهای مرتبط با خدمات آب و فاضلاب، عملاً تعداد قراردادهای مشارکت‌های بخش عمومی-خصوصی در حوزه آب در تمام کشورها با سطوح درآمدی و ساختارهای مختلف نهادی، در حال گسترش است (Jensen، ۲۰۱۶).

باید تأکید شود برای موفقیت پروژه‌های زیرساختی با مشارکت بخش عمومی-خصوصی وجود محیط قانونی شفاف، توسعه یافته و منعطف، سیاست‌های پایدار که می‌توانند موجب جذب شریک از بخش خصوصی شوند و هزینه‌های بخش دولتی را کاهش دهند، ایجاد واحد مرکزی هماهنگی پروژه مشارکت بخش عمومی-خصوصی برای راهبری مسائل خاص سازمانی، ایجاد ظرفیت‌های نهادی متناسب، توسعه ظرفیت ارتباطات دولتی برای حمایت از استراتژی‌ها و ترویج آگاهی عمومی، توزیع ریسک به طور مناسب و متعادل بین بخش خصوصی و عمومی بسیار ضروری است (Mannapbekov و همکاران، ۲۰۰۷). در شکل (۲) ماتریس تصمیم‌گیری اجرای پروژه‌های زیرساختی مشارکتی نشان داده شده است:

نرخ بازگشت اقتصادی		پایین	بالا
کم	مشارکت بخش عمومی- خصوصی بدون پشتیبانی یا پشتیبانی محدود مالی دولت	نیازی به مشارکت بخش عمومی نیست	
	تأمین مالی توسط بخش عمومی یا مشارکت بخش عمومی- خصوصی با پشتیبانی مالی دولت		
متوسط			
زیاد			

شکل ۲- ماتریس تصمیم‌گیری اجرای پروژه‌های زیرساختی مشارکتی (Mannapbekov و همکاران، ۲۰۰۷)

همانگونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، در صورت بالا بودن نرخ برگشت اقتصادی^{۱۵} و مالی^{۱۶} در یک پروژه زیرساختی، مشارکت بخش عمومی-خصوصی به خوبی شکل می‌گیرد.

۴- مفهوم ریسک در مشارکت بخش عمومی-خصوصی

ریسک در یک پروژه مشارکت بخش عمومی-خصوصی واقعه، رویداد یا شرایط نامعلوم است که اگر اتفاق بیفتد تأثیر مثبت و یا منفی بر روی پروژه خواهد گذاشت. در این مفهوم جدید به ریسک به عنوان پدیده‌ای با ویژگی عدم قطعیت نگاه می‌شود که دارای دو جنبه مثبت و منفی است. جنبه مثبت ریسک را به فرصت تعبیر می‌کنند. هدف از مدیریت ریسک‌های پروژه، حداقل نمودن تأثیر ریسک‌های منفی و حداکثر نمودن بهره‌مندی از فرصت‌های پیش آمده است. ریسک در این بخش به ریسک‌های سطوح کلان، میانی و خرد دسته‌بندی می‌شود (صبیحه و کشتیان، ۱۳۸۸).

مدیریت و قرارداد اجاره	FDI پروژه‌های شامل پروژه‌های خصوصی‌سازی و زمینه‌های سبز و سرمایه‌گذاری مشوک
BOO BLO BOOT BOT BROT ROT RILOT	

شکل ۱- طیف گسترده انواع مدل‌های مشارکت شرکت‌های خصوصی در پروژه‌های زیرساختی^{۱۵} (Greg و Pillay، ۲۰۰۹)

Greg و Pillay (۲۰۰۹) مدل‌های مشارکت بخش عمومی-خصوصی را به انواع قراردادهای ساخت، مالکیت و بهره‌برداری^{۱۶}، قراردادهای ساخت، اجاره و مالکیت^{۱۷}، قراردادهای ساخت، مالکیت، بهره‌برداری و انتقال^{۱۸}، قراردادهای ساخت، بهره‌برداری و انتقال^{۱۹}، قراردادهای ساخت، بازسازی، بهره‌برداری و انتقال^{۲۰}، قرارداد بازسازی، بهره‌برداری و انتقال^{۲۱}، قرارداد بازسازی، اجاره، بهره‌برداری و انتقال^{۲۲} و قراردادهای مدیریت و اجاره تقسیم‌بندی کرده‌اند. علی‌رغم نظر برخی از متخصصین مبنی بر شکست این نوع مشارکت‌ها و مقبولیت متفاوت

• ریسک‌های سطح کلان:

خاستگاه این ریسک‌ها بخش دولتی است. این ریسک‌ها در خارج از محدوده پروژه قرار می‌گیرند. تحمل این ریسک‌ها در شرایط ناپایدار بسیار مشکل است. بخش دولتی در شرایط وجود ریسک‌های کلان جهت جذب سرمایه باید تضمین‌های کافی را در اختیار بخش خصوصی قرار دهد، در غیر این صورت بخش خصوصی رغبت چندانی برای سرمایه‌گذاری از خود نشان نخواهد داد. این ریسک‌ها در عرف بین‌الملل ریسک کشور نیز نامیده می‌شوند. نرخ این ریسک در دوره‌های مختلفی برای کشورهای گوناگون توسط مؤسسات بین‌المللی محاسبه شده و در اختیار شرکت‌ها قرار می‌گیرد. نرخ اعلام شده به صورت‌های گوناگونی فرآیند سرمایه‌گذاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

• ریسک‌های سطح میانی:

این ریسک‌ها، ریسک‌های درونی و یا ریسک‌های مخصوص پروژه نامیده می‌شوند. به شرایط خاص هر پروژه مربوط می‌شوند. به عبارت دیگر این‌گونه ریسک‌ها به درون سیستم پروژه مرتبط بوده و سرمایه‌گذار پروژه این توانایی را دارد که آن‌ها را مدیریت و کنترل نماید. خاستگاه این ریسک‌ها بیشتر از عملکرد بخش خصوصی ناشی می‌شود. این نوع ریسک‌ها دارای گستره وسیعی هستند.

• ریسک‌های سطح خرد:

ریسک‌های خرد، ریسک‌هایی هستند که از چگونگی روابط بین‌دینفعان مختلف یک پروژه ناشی می‌شوند. شامل ریسک‌هایی هستند که مربوط

به روابط و چگونگی ایجاد شراکت بین طرفین می‌شوند. این ریسک‌ها جزء ریسک‌های درونی هر پروژه به حساب می‌آیند ولی با ریسک‌های سطح میانی، متفاوت هستند. در شکل (۳) فاکتورهای مرتبط با سطوح مختلف ریسک‌ها دسته‌بندی شده‌اند. ریسک‌های سیاسی، ریسک‌های مالی، ریسک‌های سرمایه‌گذاری، ریسک‌های حقوقی، ریسک‌های درآمد و بازار، ریسک‌های فنی، ریسک‌های ساخت و ریسک‌های بهره‌برداری، فاکتورهای عمده ریسک در پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی محسوب می‌شوند (بدلیانس، ۱۳۸۱).

سطح ریسک	فاکتور ریسک
سطح کلان	ریسک‌های سیاسی
سطح کلان	ریسک‌های مالی
سطح کلان	ریسک‌های حقوقی
سطح کلان	ریسک‌های درآمد و بازار
سطح میانی	ریسک‌های سرمایه‌گذاری
سطح میانی	ریسک‌های فنی و مهندسی
سطح میانی	ریسک‌های ساختمانی
سطح میانی	ریسک‌های بهره‌برداری
سطح خرد	ریسک‌های روابط

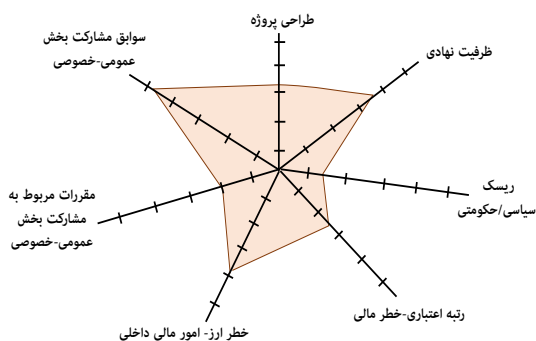
شکل ۳- فاکتورهای سطوح ریسک در پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی (صبیح و کشتیان، ۱۳۸۸)

۵- فرصت‌ها و استراتژی‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی

در مجموع مشارکت بخش عمومی- خصوصی در اجرای پروژه‌های زیرساختی موجب بهبود ارائه خدمات، بهبود اثربخشی هزینه‌ها، افزایش سرمایه‌گذاری در زیر ساخت‌های عمومی، کاهش ریسک بخش عمومی، تحویل سریع‌تر پروژه‌ها، بهبود قطعیت بودجه و استفاده بهینه از سرمایه‌ها می‌شود. در شکل‌گیری این نوع قراردادهای مشارکت استراتژی‌های متعددی دنبال می‌شود (British Columbia, ۲۰۰۳)^{۲۵}. توسعه استراتژی‌های میان‌مدت مشارکت بخش عمومی- خصوصی، تطبیق استراتژی مشارکت بخش عمومی- خصوصی با خط سیر و فضای مالی موجود، محدود کردن اندازه پروژه مشارکت بخش عمومی- خصوصی اگر شرایط مالی کافی نیست، اولویت‌دهی به پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی در مسیر موجود بر اساس نیازهای تأمین مالی و پایداری مالی، در نظر گرفتن بازسازی پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی ضعیف برعهده بخش عمومی (دولت)، در نظر گرفتن قرارداد مدیریت اگر فضای مالی محدود و خط سیر پروژه ضعیف باشد، محدودیت حمایت‌های مضاعف دولت و بسنده کردن دولت به گزینه سهم سود، از مهمترین استراتژی‌های این نوع مشارکت می‌باشند (Yamin و Sinkovics, ۲۰۰۹).

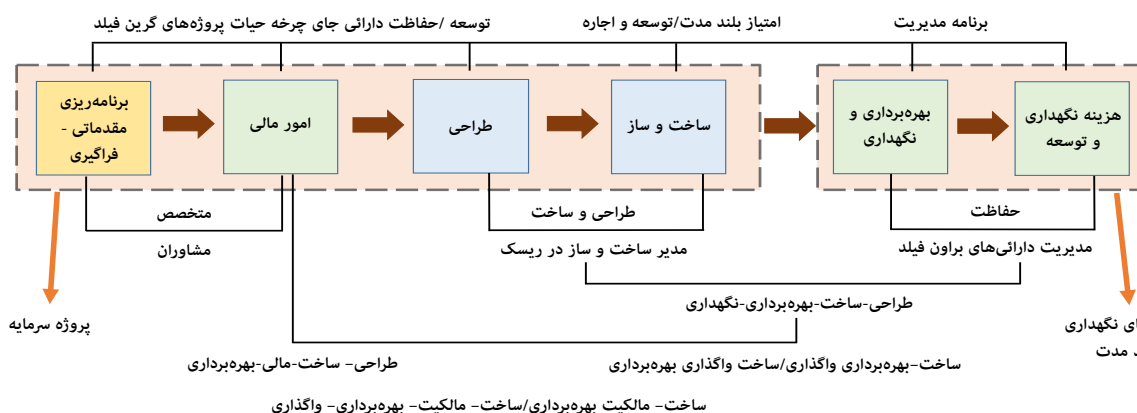
۶- طراحی مؤثر پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی

طبق شکل (۴)، هفت عامل کلیدی طراحی این نوع پروژه‌ها، سابقه مشارکت در قراردادهای بخش عمومی- خصوصی، مقررات ناظر بر مشارکت بخش عمومی- خصوصی، تأمین مالی داخلی/ریسک ارز، رتبه‌بندی اعتباری/خطر مالی، خطر سیاسی/حاکمیت، ظرفیت نهادی برای طراحی مؤثر پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی هستند، که دولت باید برای ارزیابی "قوی"، "متوسط" یا "ضعیف" بودن خود برای ورود به قراردادهای مشارکت از آن‌ها استفاده کند. کشورها می‌توانند در هر بعد خود را بهبود ببخشند و در نتیجه امتیاز کلی آن‌ها افزایش یابد، هر چند اخذ نمره بالا در تمام ابعاد دشوار است. برخی از ارزش‌های کمی، از قبیل رتبه‌بندی اعتباری، ممکن است برای تعیین ریسک مالی استفاده شود. برآورد دقیق ابعاد دیگر مشکل‌تر است. کشورهایی با برآورد ضعیف، در برخی ابعاد می‌توانند با مشوق‌های بیشتر مشارکت بخش خصوصی را ترغیب کنند، اما این راهکار نمی‌تواند تأثیر بلندمدت داشته باشد (Cuttaree و Mandri-Perrott, ۲۰۱۱). دولت‌ها قبل از تصمیم‌گیری برای اتخاذ استراتژی اصلاحات زیر ساختی با مشارکت بخش خصوصی باید یک سری پرسش‌های کلیدی را برای درک الزامات نهادی مورد نیاز مطرح کرده و پاسخ دهند. این پرسش‌ها شامل موارد زیر می‌باشد (Mannapbekov و همکاران، ۲۰۰۷):



شکل ۴- هفت عامل کلیدی برای طراحی مؤثر پروژه‌های مشارکت بخش عمومی-خصوصی (Cuttaree و Mandri-Perrott, ۲۰۱۱)

برای طراحی کارآمد پروژه‌های زیرساختی با مشارکت بخش عمومی-خصوصی، فهم دقیق فرآیند توسعه این نوع پروژه‌ها بسیار ضروری است. شکل (۵) تصویری کلی از فرآیند توسعه پروژه‌های زیرساختی با مشارکت بخش عمومی-خصوصی را نشان می‌دهد (March, ۲۰۰۷).



شکل ۵- فرآیند توسعه پروژه‌های زیرساختی با مشارکت بخش عمومی-خصوصی (March, ۲۰۰۷)

در صنعت آب سرمایه‌گذاری قابل توجهی توسط سرمایه‌گذاران خصوصی انجام نمی‌شود. از اواخر دهه ۱۹۹۰، بخش آب به سختی از ترکیب عواملی که تمایل سرمایه‌گذاران خصوصی را کاهش می‌دهند، ضربه خورده است. در اواسط دهه ۲۰۰۰، برخی از قراردادهای مشارکت بخش عمومی-خصوصی آب و فاضلاب، با مشکلات جدی، که مسائل قانونی و تعرفه‌ای مخارج مشترک همه آن‌ها بودند، راتجربه کردند. برای مثال، در بوینس آیرس، قراردادهای شهری و استانی شکست خوردند و در مانیل، واگذاری قرارداد باید مجدداً مورد مذاکره قرار می‌گرفت. سرمایه‌گذاران عمده بین‌المللی قبل از شرایط بحرانی مالی، حمایت از بخش آب و فاضلاب را کنار گذاشتند. چهار کشور برزیل، هند، روسیه و ترکیه بیشترین نسبت مشارکت بخش عمومی-خصوصی از کل سرمایه‌گذاری‌ها را در این بخش به خود اختصاص داده‌اند. این کشورها با کمک آژانس‌های دوجانبه و چندجانبه^۴ سرمایه‌گذاری قابل توجهی از بخش خصوصی جذب کرده‌اند (Cuttaree و Mandri-Perrott, ۲۰۱۱).

- آیا چارچوب‌های نهادی و قانونی برای حمایت از بهبود بخشی و به طور خاص مشارکت بخش عمومی-خصوصی وجود دارد؟ موانع برحسب وزارتخانه، ذینفعان و کاربری‌ها کدامند؟
- آیا سطح استقلال و پاسخگویی ذینفعان با تعهدات پیشنهادی مطابقت دارد؟
- آیا سطوح مربوطه دولتی آماده واگذاری یا تجدید نظر در نقش خود هستند؟
- آیا سطوح مربوطه دولتی آماده‌اند تا برخی از کنترل‌ها را درون سیاست‌های تعریف شده و پارامترهای نظارتی به شرکای بخش خصوصی واگذار کنند؟
- آیا هر یک از نهادها بودجه، کارکنان، آموزش و تجهیزات مورد نیاز برای انجام وظایف خود دارند؟
- آیا هر نهاد نقش خود را درک کرده است و می‌داند چگونه باید روش خود را برای ایفای نقشش توسعه دهد؟
- آیا ذینفعان کلیدی با توانمندی و اراده سیاسی جهت پیشبرد اصلاحات وجود دارند؟

مدل‌های سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در صنعت آب در آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین و حوزه دریای کارائیب

طبق گزارش UNCTAD بین سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۵ در پروژه‌های بخش آب و فاضلاب آفریقا سهم سرمایه‌گذاری خارجی ۴۱/۹ درصد محاسبه شده است، در این بین سهم دولت محلی ۵۵/۳ درصد و ۲/۸ درصد مابقی سهم سرمایه‌گذاران داخلی است. همچنین در آسیا سهم سرمایه‌گذاران خارجی در پروژه‌های این بخش زیر ساختی در این بازه زمانی ۲۱/۱ درصد است، دولت محلی سهمی حدود ۴۴/۸ درصد و سرمایه‌گذاران داخلی ۳۴/۱ درصد از سهام کل مشارکت را به خود اختصاص داده‌اند. در کشورهای آمریکای لاتین و حوزه دریای کارائیب، در بخش آب و فاضلاب سرمایه‌گذاران خارجی ۲۸/۸ درصد سهیم می‌باشند و سهم دولت محلی و سرمایه‌گذاران داخلی به ترتیب ۴۸/۷ و ۲۲/۴ است (UNCTAD, ۲۰۱۵).

در این میان هند چون از آسیب بحران اقتصادی جهانی در امان مانده بود، توانسته با موفقیت پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی خود را تأمین مالی کرده و به سرانجام برساند (Fung و همکاران، ۲۰۱۱).

۱- مشارکت بخش عمومی- خصوصی در بخش آب کشورهای آمریکای لاتین

مطالعات انجام شده در کشورهای آمریکای لاتین نشان‌دهنده بهبود میزان دسترسی به تسهیلات آبفا بعد از مشارکت بخش عمومی- خصوصی است. نوع قراردادهای در این پروژه‌ها عمدتاً قرارداد اجاره و اعطای امتیاز بود. همچنین قرارداد مدیریت و قرارداد خدمات نیز در این بین دیده می‌شود. هرچند همه مشترکین به یک میزان از منافع این نوع مشارکت‌ها بهره نمی‌برند، اما شواهد کافی در خصوص این نابرابری وجود ندارد. برای مثال بررسی‌های هریس^{۳۷} (۲۰۰۳) نشان می‌دهد که ۶۰ تا ۸۰٪ اتصالات جدید به شبکه آب آشامیدنی در کلمبیا با مشارکت بخش خصوصی، متعلق به خانوارهای کم درآمد است. اگر چه در کشورهای فقیر که تسهیلات آب دولتی است و قیمت‌ها بسیار پائین‌تر از سطح پوشش هزینه‌هاست، فقرا به دلیل هزینه بالای اتصال به شبکه آب، نمی‌توانند از مزایای خدمات آبرسانی منتفع شوند؛ حتی اگر استطاعت پرداخت تعرفه‌های بالاتر را نیز داشته باشند. البته باید در نظر داشت در هر صورت، خانوارهای با درآمد بالاتر امکان بیشتری برای اتصال به شبکه دارند و طبیعی است که بعد از اصلاحات شبکه و آبرسانی با مشارکت بخش خصوصی و علی‌رغم افزایش قیمت نیز تعداد مشترکین تحت پوشش افزایش می‌یابد. انواع مختلف مشارکت بخش خصوصی ممکن است تأثیر متفاوتی بر مشترکین تحت پوشش داشته باشند. یکی از مزایای خصوصی‌سازی کامل و قرارداد مشارکت بخش عمومی- خصوصی، برخلاف قراردادهای اجاره و مدیریت، این است که در این روش سرمایه خصوصی قابل توجهی جذب می‌شود. اگر هدف از ایجاد اصلاحات افزایش مشترکین تحت پوشش باشد، قراردادهای مشارکت بخش عمومی- خصوصی، گزینه بسیار خوبی به نظر می‌رسند. یکی از مواردی که در مکزیکوسیتی دیده شد و از محاسن این روش‌های مشارکت به حساب می‌آید، قانونمند کردن و ثبت اتصالات غیر قانونی است و همین امر به نوعی در آمار، افزایش اتصالات را نشان می‌دهد. هرچند که مشترکین قبل از قانونمند کردن اتصالات‌شان هم از تسهیلات آب استفاده می‌کردند، بعد از این مرحله، دسترسی به خدمات اصلاح شده بخش آب بهبود می‌یابد.

تعرفه‌ها بعد از مشارکت بخش خصوصی افزایش می‌یابد. چنانچه در شیلی نرخ آب‌بها و خدمات دفع فاضلاب بعد از ورود بخش خصوصی تا ۴۰٪ افزایش یافت. در برخی موارد قیمت‌ها در ابتدای مشارکت بخش خصوصی کاهش می‌یابد، این کاهش قیمت نمی‌تواند اثرات اصلاحات بر تغییرات قیمت در دوره زمانی متوسط را به دقت پیش‌گویی کند، زیرا اولاً قیمت‌ها اغلب بعد از ورود بخش خصوصی تعدیل می‌شوند و با عدم وجود اطلاعات، ارزیابی دقیق درباره تغییرات قیمت تسهیلات

دولتی بعد از اصلاحات در دوره زمانی متوسط، مشکل است. دوم اینکه دولت‌ها برای هرچه جذاب‌تر کردن قراردادهای قبل از شروع مذاکرات عقد قراردادهای، قیمت‌ها را بالا می‌برند. در نتیجه قیمت در زمان عقد قرارداد نمی‌تواند تأثیر مشارکت بخش خصوصی بر تعرفه‌ها را به طور دقیق نشان دهد. سوم اینکه تغییر در تعرفه‌ها بعد از مشارکت بخش خصوصی، اغلب مرتبط با دیگر تغییرات که بر هزینه مشترکین تأثیر می‌گذارند، می‌باشد، مثلاً به خاطر تغییر روش اندازه‌گیری‌ها، ساختار تعرفه بازنگری می‌شود. برای خانه‌ها به طور متفاوتی صورت حساب تهیه می‌شود و (قیمت) شارژ اتصالات تغییر می‌کند. به علاوه اتصالات غیر مجاز، قانونی می‌شوند، که این امر قیمت‌ها را برای این‌گونه مشتریان افزایش می‌دهد. چنین تغییراتی مقایسه تغییرات قیمت‌ها قبل و بعد از مشارکت بخش عمومی- خصوصی را مشکل می‌کند. مثلاً در بوینس آیرس خانوارها قبل از اصلاحات مقدار ثابتی را به عنوان تعرفه برحسب اینکه اندازه ساختمان چقدر است و آیا مسکونی یا غیر مسکونی است پرداخت می‌کردند. بعد از مشارکت بخش خصوصی ۱۱٪ از مشترکین که به عنوان غیر مسکونی هزینه پرداخت می‌کردند، مسکونی طبقه‌بندی شدند و اندازه مستغلات نیز تغییر کرد و همین امر باعث شد تعرفه‌ها برای ۲/۵ میلیون مشتری افزایش یابد.

در کنار تأثیر مشارکت بخش عمومی- خصوصی در دسترسی‌ها و سطح قیمت‌ها، این امر در کیفیت خدمات آبرسانی نیز تأثیرگذار است. در این خصوص شواهد محکمی وجود دارد که مشارکت بخش خصوصی بسیار مفید است و موجب ارتقاء کیفیت خدمات‌دهی و کیفیت آب می‌شود. یک مطالعه اقتصادسنجی دقیق در آرژانتین، درباره تأثیر مشارکت بخش خصوصی نشان می‌دهد که میزان مرگ و میر کودکان بعد از مشارکت بخش خصوصی تا ۸ درصد کاهش یافته است و این تأثیر در فقیرترین مناطق شهر بیشتر بود. در بیشتر مطالعات مشارکت بخش عمومی- خصوصی به لحاظ کیفیت فیزیکی، شیمیایی و باکتریولوژیکی آب، بهبود نشان می‌دهد. مطالعات انجام شده در برزیل نشان می‌دهد که بهبودهای ایجاد شده به نسبت کل جمعیت و نواحی فقیرنشین تحت مشارکت بخش خصوصی بیشتر از شرایط عدم این نوع مشارکت بوده است.

مطالعه‌ای که در خصوص نتایج مشارکت بخش عمومی- خصوصی در صنعت آبفا در سه شهر بولیوی، لاپاز، آل‌آلتو و کوکابامبا^{۳۸} و ۱۳ شهر آرژانتین در دهه ۹۰ انجام شده است، نشان‌دهنده بهبود خدمات آبرسانی شهری در تمامی موارد می‌باشد. در مجموع در مطالعات انجام شده دلایلی دال بر تأثیر منفی مشارکت بخش خصوصی در پروژه‌های آبفا برای اقشار کم درآمد یافت نشده است (Clarke و همکاران، ۲۰۰۹).

۲- مشارکت بخش عمومی- خصوصی در بخش آب در کشورهای آسیای-مطالعه موردی چین

در چین در اواخر دهه ۱۹۷۰ و با شروع اصلاحات اقتصادی، توسعه بخش خصوصی رسماً به شکل "سازمان‌های اقتصادی با هدف کسب

سود و با مالکیت خصوصی" آغاز گردید، اما کنترل بخش‌های عمومی مانند خدمات آب، تأمین انرژی، مدیریت مواد زائد، حمل و نقل و غیره همچنان در اختیار دولت بود. در اواسط دهه ۱۹۹۰ دولت چین روش مشارکت بخش عمومی- خصوصی را از طریق انتشار چند مقاله برای بخش‌های عمومی زیرساختی فوق‌الذکر پیشنهاد کرد و بخشنامه‌ای جهت جذب سرمایه‌گذار خارجی به روش BOT^{۳۰} ابلاغ شد. تجارب مثبت اولیه این نوع پروژه‌ها، سرمایه لازم برای توسعه زیرساخت‌های آب شهری چین را فراهم آورد، اما مشکلاتی، از جمله موضوع بازگشت سرمایه‌ی سرمایه‌گذاران، در این بین وجود داشت. بنابراین انجمن ادارات دولتی چین در سال ۲۰۰۲ جهت تصحیح این اشکالات اعلام کرد "سرمایه ثابت سرمایه‌گذاران خارجی با اصلاح متن قراردادهای خرید متقابل سهم سرمایه‌گذاران خارجی، تبدیل سرمایه‌های خارجی به وام‌های (قرض‌های) خارجی و متوقف کردن قراردادهای منتهی به ورشکستگی‌های جدی به سرمایه‌گذاران بر می‌گردد". در حال حاضر در چین برای عرضه خدمات آب و فاضلاب ۴ شکل از مشارکت بخش خصوصی وجود دارند (Zhong و همکاران، ۲۰۰۸):

- ۱- شرکت‌های فراملیتی آب مانند وئولیا و سوئز^{۳۱}
 - ۲- توسعه‌دهندگان سرمایه‌گذاری در چین مانند گروه سرمایه پکن و شرکت حفاظت از سرمایه محیط زیستی تیانجین^{۳۲}
 - ۳- شرکت‌های آب بخش خصوصی مانند گروه آب شنزن^{۳۳} و گروه فاضلاب پکن
 - ۴- شرکت‌های بزرگ مهندسی محیط زیست مانند گروه صدای پکن و شرکت مهندسی محیط زیست تونگ فانگ تسینگ هووا^{۳۴}
- در دسامبر ۲۰۰۴، به وزارت مسکن^{۳۵} اختیاراتی جهت خصوصی‌سازی بخش‌های عمومی مانند آب و فاضلاب، زائدات جامد، گاز و حمل و نقل عمومی داده شد. بر اساس مطالعات ماک^{۳۵} (۲۰۰۸) اشکال مختلفی از مشارکت بخش خصوصی در هر دو زمینه عرضه آب و تصفیه فاضلاب شناسائی گردید:

- ۱- تجاری‌سازی واحدهای عمومی به شکلی که آن‌ها از شکل واحدهای دولتی به شکل شرکت‌های مستقل تبدیل می‌شوند.
- ۲- قراردادهای مدیریت (یعنی قرارداد بهره‌برداری و نگهداری که اشاره به قراردادهایی دارد که در آن بخش خصوصی بدون تعهد به سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری از تأسیسات را در یک دوره زمانی مشخص بر عهده می‌گیرد)
- ۳- قرارداد اجاره که قراردادهای کوتاه مدتی هستند که در آن بخش خصوصی هزینه توافقی در قبال حقوق مدیریت تأسیسات به دولت پرداخت می‌کند.

۴- قراردادهای مشارکت از نوع گرین فیلد^{۳۶} مانند BOOT، BOT، TOT^{۳۷} که در این نوع قراردادهای دولت پروژه‌های جدید سرمایه‌گذاری را به شرکت‌های خصوصی می‌سپارد، طی زمان قرارداد، بخش خصوصی زیرساخت‌ها را ایجاد و مدیریت می‌کند و دولت آب را به قیمت توافقی قرارداد (که لزوماً قیمت بر مبنای تعرفه‌ها نیست)، از این شرکت‌ها

خریداری می‌کند.

۵- قراردادهای اعطای امتیاز، قراردادهای بلندمدتی هستند که بخش خصوصی مسئولیت بهره‌برداری، نگهداری و نیز سرمایه‌گذاری و خدمات را برعهده دارد.

۶- سرمایه‌گذاری مشترک بخش عمومی- خصوصی، در این روش بخش خصوصی و عمومی با یکدیگر یک موجودیت قانونی تشکیل می‌دهند و در مسئولیت‌های سرمایه‌گذاری، نگهداری، بهره‌برداری و خدمات رسانی با یکدیگر سهیم می‌شوند.

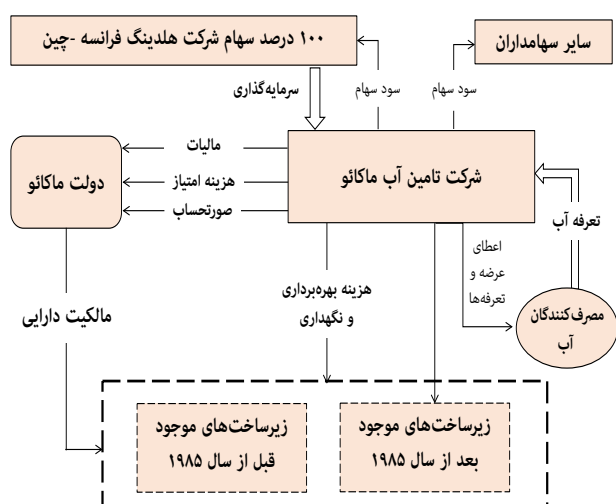
۷- فروش کامل، که املاک دولتی کاملاً به بخش خصوصی فروخته می‌شود.

در جدول (۲) مدل‌های مختلف مشارکت بخش خصوصی چین در زیرساخت‌ها نشان داده شده است.

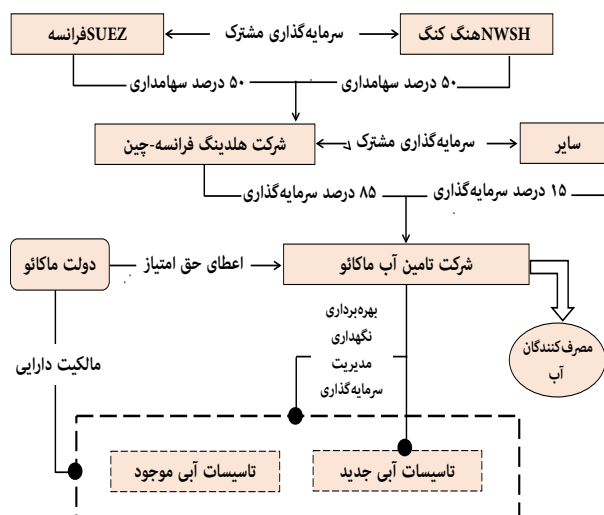
جدول ۲- مدل‌های مختلف مشارکت بخش عمومی- خصوصی در چین (Zhong و همکاران، ۲۰۰۸)

مدت بخش خصوصی	مالکیت دارایی	سرمایه گذاری	بهره‌برداری و نگهداری	مدت قرارداد
تجاری‌سازی شرکت‌ها/ تأسیسات دولتی	عمومی	عمومی	عمومی	نماین
قرارداد مدیریت	عمومی	عمومی	خصوصی	۵-۳ سال
قرارداد اجاره	عمومی	عمومی	خصوصی	۵-۸ سال
گرین فیلد (نوع ساخت- بهره‌برداری و نگهداری)	عمومی/ خصوصی	خصوصی	خصوصی	۳۰-۲۰ سال
اعطای امتیاز	عمومی	خصوصی	خصوصی	۳۰-۲۵ سال
سرمایه‌گذاری مشترک	مشترک	مشترک	مشترک	نماین
فروش یا واگذاری کامل	خصوصی	خصوصی	خصوصی	نماین

تا جولای ۲۰۰۵، ۱۵۲ پروژه تأمین آب و ۲۰۰ پروژه تصفیه فاضلاب از طریق پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی اجرا شدند. این ۱۵۲ پروژه، ۱۷ درصد از آب تولیدی چین را تأمین کردند و ۲۰۰ پروژه تصفیه فاضلاب، با ظرفیتی حدود ۳۰ میلیون مترمکعب در روز، در مجموع ۶۷٪ از کل ظرفیت تصفیه فاضلاب چین را تا سال ۲۰۰۴ شامل می‌شدند. در پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی در بخش تأمین آب، سرمایه‌گذاری مشترک بیشترین سهم را دارد (۵۱٪)، در پروژه‌های بخش تصفیه فاضلاب نیز قراردادهای گرین فیلد از نوع TOT/ BOT بیشترین سهم را دارند (۵۹٪)، خصوصی‌سازی تسهیلات دولتی در بخش تأمین آب و فاضلاب نقش مهمی ایفا می‌کند (۱۶٪ آب و ۱۳٪ فاضلاب). میزان گسترش انواع پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی به میزان تعرفه‌ها و توسعه زیرساخت‌ها بستگی دارد. در شکل‌های (۶) و (۷) فرآیند تأمین آب و جریان پولی شهر ماکائو چین، با مشارکت بخش خصوصی، نشان داده شده است (Zhong و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۷- جریان پولی در فرایند تأمین آب شهر ماکائو چین (Zhong و همکاران، ۲۰۰۸)



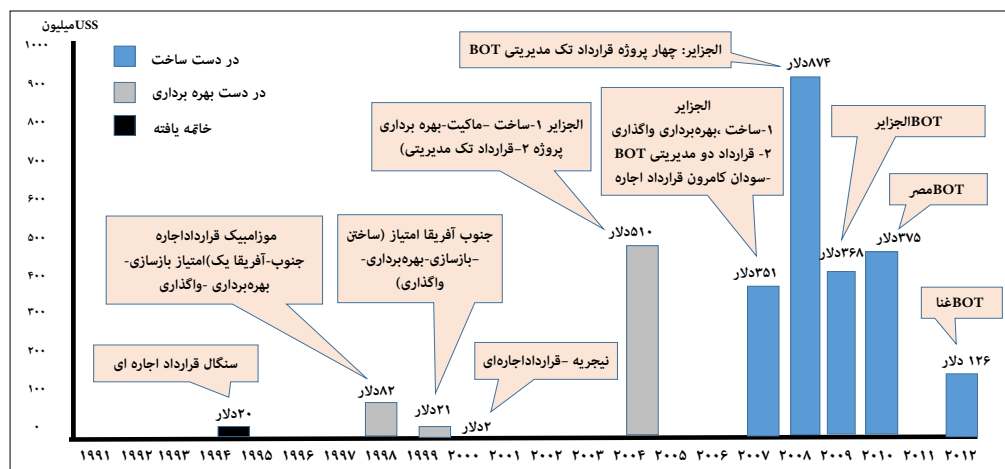
شکل ۶- فرایند تأمین آب شهر ماکائو چین (Zhong و همکاران، ۲۰۰۸)

انگیزاننده قوی نیازمندی‌های محرک رقابت و ایجاد شرایط پاسخگوئی به طرقی غیر از شرایط انحصاری هستند. در آفریقا ترکیبی از تجربیات موفق و ناموفق از اجرای پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی وجود دارد و این امر دانشی غنی در این زمینه فراهم کرده است (World Bank Group report, ۲۰۱۳).

در شکل (۸) انواع مشارکت بخش عمومی- خصوصی در حوزه آب در کشورهای آفریقایی نشان داده شده است. نوع قرارداد ساخت، بهره‌برداری و انتقال در آفریقا، مدل منتخبی است که عمده قراردادهای اخیر را شامل می‌شود.

۳- مشارکت بخش عمومی- خصوصی در بخش آب در کشورهای آفریقایی

تاریخچه مشارکت بخش عمومی- خصوصی در آفریقا در بخش آب به سال ۱۹۵۹ میلادی با اجرای موفق آب‌رسانی به ساحل عاج، که تا به امروز ادامه دارد و آب بیش از ۷ میلیون نفر را تأمین می‌کند، برمی‌گردد. از آن تاریخ تاکنون خلاقیت، تکنولوژی و واقعیت‌های سیاسی، شکل و توابع این نوع مشارکت‌ها را تغییر داده‌اند. نتایج مشارکت بخش عمومی- خصوصی در آفریقا ثابت کرده است که این نوع همکاری‌ها ابزار مهمی در بهبود عملکرد، اهرم تأمین مالی،



شکل ۸- مدل‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی در حوزه آب در کشورهای آفریقایی (World Bank Group report, ۲۰۱۳)

می‌باشد. منافع عاید بخش دولتی بیش از پر کردن شکاف منابع مالی مورد نیاز است. بهبود بهره‌وری، ارتقاء توان مدیریت، خلاقیت، صرفه‌های اقتصادی در پروژه، انتقال تکنولوژی مناسب، بهبود بهره‌برداری و کاهش هزینه‌های خدمات و نهایتاً کاهش قیمت خدمات، ایجاد اشتغال، افزایش درآمد و رشد اقتصادی و اجتماعی، توسعه آموزش، توسعه بهداشت و کاهش هزینه‌های اجتماعی از جمله افزایش سطح سلامت، حفاظت از محیط زیست و رشد پایدار منافع است که عاید بخش دولتی از این

نتیجه‌گیری

مشارکت بخش عمومی- خصوصی با ترکیب نقاط قوت بخش خصوصی اعم از نوآوری، دانش و مهارت فنی، کارایی مدیریتی و روحیه کارآفرینی با نقش عاملین دولتی از قبیل مسئولیت اجتماعی، ایجاد عدالت و پاسخگوئی در قبال مسائل اجتماعی و تجمیع دانش بومی روشی بسیار کارآمد در ارتقاء خدمات بخش‌های زیرساختی از جمله آب و فاضلاب

نوع مشارکت می‌شود. البته برای بخش خصوصی هم ایجاد یک کسب و کار مطمئن برای یک دوره طولانی و اطمینان از برگشت سرمایه و کاهش ریسک‌های اقتصادی را نوید می‌دهد.

در ایران تدوین سیاست‌های مناسب بر اساس اهداف کلان و ویژگی‌های محیطی برای جلب مشارکت بخش خصوصی در قالب قراردادهای مشارکت بخش عمومی- خصوصی ضروری است. در پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی، تعادل بین سطح تعرفه آب، سود سرمایه‌گذار و یارانه‌های دولتی باید برقرار شود. بسیاری از پروژه‌های مشارکت بخش عمومی- خصوصی به دلیل مقاومت‌های ایجاد شده در برابر افزایش قیمت خدمات آبرسانی از یکسو و تعدیل نیروی کار با ورود بخش خصوصی، از سوی دیگر شکست خورده‌اند که در ایران باید قبل از ورود به این نوع تعاملات با بخش خصوصی، برای مقابله با آن‌ها پیش‌بینی‌های لازم انجام و سناریوهای مناسب جهت مقابله در دستور کار قرار گیرند. این نوع مشکلات در کشوری مانند چین، به دلیل افزایش چشمگیر کارائی بخش‌های آبفا بعد از مشارکت بخش خصوصی، پشتیبانی ثابت دولت از سرمایه‌های زیرساختی، کاهش ریسک‌های مالی بخش خصوصی و کاهش نیاز به افزایش شدید

تعرفه‌های آب، دیده نشده است و می‌تواند منبع الگوبرداری مناسبی برای ایران باشد. رشد چشمگیر اقتصادی چین، این امکان را به دولت می‌دهد که به اقشار کم درآمد یارانه‌های خوبی اختصاص دهد و امکان پرداخت هزینه‌های خدمات آبفا را به راحتی فراهم می‌کند. انتخاب روش مناسب مشارکت بخش عمومی- خصوصی نزدیک‌ترین قرابت را با سطح تعرفه‌های موجود و شرایط بومی کشورها دارد، که باید در نظر گرفته شود. ایجاد ساختار حقوقی و قانونی مناسب برای جلب مشارکت بخش خصوصی و شناسائی راهکارهای مناسب از طریق بنچ مارکین^{۳۸} برای ایران قویاً توصیه می‌شود. لازم به تأکید است که شناسائی دقیق ریسک‌های بخش خصوصی و بخش دولتی در روش‌های مختلف مشارکت بخش عمومی- خصوصی برای جلب مشارکت بخش خصوصی در ایران بسیار حائز اهمیت است. نگهداری تعرفه‌ها در حد مقرون به صرفه و حفظ قابل قبول سطح ریسک برای بخش خصوصی از سوی دولت بسیار ضروری است. مشارکت‌های موفق بخش عمومی- خصوصی معمولاً ترکیبی از ایجاد اطمینان از تأمین منابع مالی توسط دولت و مهارت تخصصی بخش خصوصی است و موجب بهبود پایداری سیستم، تقویت مالی و افزایش کیفیت خدمات خواهند شد.

پی‌نوشت

6- ISIC (International Standard Industrial Classification)

7- FDI: Foreign Direct Investment

8- PPI: Public Participation in Infrastructure

9- PPP: Public Private Partnership

10- Equity

11- Non-Equity

12- The equity component

13- concessions

14- PSP: Private Sector Participation

15- Greenfield FDI: relating to or denoting previously undeveloped sites for commercial development or exploitation

نوع گرین فیلد سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی شرکت‌های فراملیتی با احداث تأسیسات جدید از ابتدا شرکتی جدید در کشور میزبان تأسیس می‌کند. در این نوع قراردادها هیچ امکانات قبلی برای کسب و کار جدید ایجاد شده توسط شرکت‌های چندملیتی وجود ندارد و تأسیسات شرکت از اساس توسط فراملیتی‌ها ایجاد می‌شود. Privatization FDI:

در این نوع سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی یک شرکت مستقیم (شرکت‌های فراملیتی) در کشوری دیگر سرمایه‌گذاری کرده (از طریق خرید شرکت در کشور میزبان و یا عقد قراردادهای مشارکت) و با مدیریت خود به تولید کالا و خدمات می‌پردازد. سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به دلایل بسیاری از جمله استفاده از دستمزد ارزان، امتیازات سرمایه‌گذاری ویژه از قبیل معافیت‌های مالیاتی و یا مشوق‌های تعرفه گمرکی و دسترسی به بازارهای کشور میزبان انجام می‌شود.

16- BOO :Build,own,operate

17- BLO :Build,lease,Own

18- BOOT:Build,Own,Operate,Transfer

19- BOT :Build,Operate,Transfer

20- BROT:Build,Rehabilitate,Operate,Transfer

1- TNC-Transnational Company

2- ODA: Official development assistance:

کمک‌های رسمی توسعه‌ای شامل کمک‌های رسمی توسعه‌ای دوجانبه و چندجانبه می‌شود. پرداخت کنندگان کمک‌های رسمی توسعه‌ای دوجانبه کشورهای توسعه یافته عضو کمیته کمک‌های توسعه‌ای (DAC) و کشورهای عضو کمیته عمران سازمان همکاری اقتصادی و توسعه‌ای (OECD) هستند و نهادهای مالی بین‌المللی نظیر بانک جهانی، صندوق بین‌المللی پول (IMF) بانک بین‌المللی بازسازی و توسعه (IBRD) و سازمان تأمین مالی بین‌المللی (IFC)، پرداخت کنندگان کمک‌های رسمی توسعه‌ای چندجانبه هستند. این نهادها وام‌هایی را مشروط به تعدیلات اقتصادی به کشورهای در حال توسعه پرداخت می‌کنند و علاوه بر پرداخت کمک‌های توسعه‌ای، دولت رانیز وادار به اصلاحات اقتصادی می‌کنند. بنابراین، کمک‌های رسمی توسعه‌ای در مدل‌های دوشکاف و سه شکاف، می‌تواند شکاف بین پس‌انداز-سرمایه‌گذاری، شکاف بین صادرات-واردات و شکاف بین درآمدها و مخارج دولت را پر کند و باعث رشد اقتصادی شود. همچنین کمک‌های رسمی توسعه‌ای، ممکن است صرف مخارج مصرفی یا نظامی دولت و جانشین پس‌انداز داخلی و باعث تخصیص و تشویق ناکارآمد منابع و افزایش فساد دولتی شود که در نهایت، می‌تواند اثر منفی بر رشد اقتصادی داشته باشد (بختیاری و همکاران، ۱۳۹۱).

3- ESCAP: United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific

4- Economies of Scale:

صرفه‌های اقتصادی ناشی از مقیاس عواملی هستند که باعث می‌شوند میانگین هزینه تولید با افزایش حجم تولید کاهش یابد.

5- Economies of Scope:

صرفه‌های اقتصادی ناشی از دامنه کاری عواملی هستند که باعث می‌شوند میانگین هزینه تولید با افزایش تنوع تولید کاهش یابد.

- 27- Harris
 28- Cochabamba
 29- Build-Operate-Transfer Contract
 30- VEOLIA و SUEZ
 31- Tianjin
 32- Shenzhen
 33- Tongfang Tsinghua
 34- Ministry Of Construction(MOC)
 35- MOC
 36- Greenfield
 37- BOT: Build-Operate-Transfer, BOOT: build, own, operate, transfer, TOT: transfer, operate, transfer
 ۳۸- فرآیند پیوسته و سیستماتیک ارزیابی و مقایسه محصولات، خدمات و فرآیندهای کاری یک سازمان، با پیشروهای صنعت یاد دنیا. در تعریفی دیگر، پنج مارکینگ عبارت است از جستجو برای یافتن بهترین تجربیات صنعت (یا خدمات)، برای دست یافتن به بالاترین سطح عملکرد.

PPIAF

- Mannapbekov N.; Araneta E.; Anna Birken M.; Pedersen S. Edwards S. Miranda J. and Booth K. 2007. Public-Private Partnership Handbook. Asian Development Bank (ADB), Philippines .5th.
 March.W. J. 2007. Case Studies of Transportation Public-Private Partnerships around the World; Final Report Work, Office of Policy and Governmental Affairs.
 Pillay H. K. and Hearn G.N. 2009. Public-private partnerships in ICT for education. Digital Review of Asia Pacific.
 Roehrich J. K.; LEWIS M. A. and George G. 2014. Are Public-Private Partnerships a Healthy Option? A Systematic Review. Social Science and Medicine. Research Collection Lee Kong Chian School Of Business.; http://ink.library.smu.edu.sg/lkcsb_research/4691.
 UNCTAD's research on FDI in infrastructure. 2011. Promoting investment for development: Best practices in strengthening investment in basic infrastructure in developing “; United Nations Conference; Trade and Development Board. Investment, Enterprise and Development Commission (May 2011). Third session.- Geneva. 2-6 .Item 4 of the provisional agenda.
 UNCTAD. 2008. World Investment Report (WIR) ,transnational corporation & the infrastructure challenge. United Nations conference on trade and development.
 UNCTAD. 2015. Reforming International investment governance.
 World Bank Group report. 2013. Water PPPs in Africa; Water& sanitation Program.
 Yamin Mo R. Sinkovics R. 2009. Infrastructure or foreign direct investment? An examination of the implications of MNE strategy for economic development, Journal of World Business, 44 :144-157.
 Zhong L P. J. Mol A. and Fu T. 2008. Public-Private Partnerships in China's Urban Water Sector. Environmental Management, 41:863-877.

- 21- ROT :Rehabilitate,operate,transfer
 22- RLOT: Rehabilitate,Lease,Operate,Transfer
 23- economic rate of return (ERR): Interest rate at which the cost and benefits of a project, discounted over its life, are equal. ERR differs from the financial rate of return in that it takes into account the effects of factors such as price controls, subsidies, and tax breaks to compute the actual cost the project to the economy.
 24- Financial Rate of Return (FRR): The FRR is an indicator to measure the financial return on investment of an income generation project and is used to make the investment decision.
 25- <http://www.partnershipsbc.ca/>

۲۶- در روابط بین‌المللی دنیای پیچیده امروز، بسیاری از سازمان‌های دولتی و غیردولتی برای کمک به تسهیل سیاست‌ها، تشویق فعالیت‌های تجاری، هماهنگی امور مالی و کمک به توسعه جریان فعالیت‌ها، تلاش می‌کنند. برخی از این نهادها تمرکز چند جانبه دارند، در حالی که تعداد زیادی از سازمان‌های بین‌المللی سازمان‌های دو جانبه هستند که متمرکز بر اثرات متقابل میان دو کشور می‌باشند.

منبع

- بختیاری، ص.، طیبی، س.ک. و ایزدخواستی، ح. ۱۳۹۱. الزامات کمک‌های رسمی توسعه‌ای بر رفتار مالی دولت در کشورهای منتخب در حال توسعه آسیایی، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ۱۲ (۲): ۲۳-۳۸.
 بدلیانس قلی‌کندی، گ. ۱۳۸۱. مشارکت بخش خصوصی در پروژه‌های آب و فاضلاب و برق کشور، انتشارات نورپردازان، تهران.
 صبیحه، م.ح. و کشتیبان، ی. ۱۳۸۸. شراکت بخش خصوصی - دولتی در پروژه‌های نیروگاهی: مدیریت ریسک و افزایش ارزش پول خدمات، پنجمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه، تهران.
 British Columbia. 2003. An Introduction to Public Private Partnerships, (<http://www.partnershipsbc.ca/pdf/An%20Introduction%20to%20P3%20-June03.pdf>)
 Clarkeh G., Kosec K. and Wallsten S. 2009. Has private participation in water and sewerage improved coverage? empirical evidence from Latin America. Journal of International Development. J. Int. Dev, 2: 327-361.
 Cuttaree V. and Mandri-Perrott C. 2011. Public-Private Partnerships in Europe and Central Asia : Designing Crisis-Resilient Strategies and Bankable Projects. world bank.
 Fung K-Ch.; Garcia-Herrero, A. and Ng, F. 2011. Foreign Direct Investment in Cross-Border Infrastructure Projects. Asian Development Bank Institute. ADBI Working Paper Series (April), No. 274. Asian Development Bank Institute (ADBI), Tokyo.
 Jensen O. 2016. Public-private partnerships for water in Asia: a review of two decades of experience; International Journal of Water Resources Development, 33(1): 4-30.
 Kirkpatrick C.; Parker D. and Zhang Y-F. 2006. Foreign direct investment in infrastructure in developing countries: does regulation make a difference?, Transnational Corporations(April),143-171 : (1)15.
 Marin P. 2009. Public-Private Partnerships for Urban Water Utilities.

Comparative Study of the Economic and Financial Impacts of Water and Wastewater Pricing in Japan and Iran

M. Khashaei¹, M. Davoodabadi^{2*}

1- Senior Financial Expert, National Water and Wastewater Engineering Company(NWWEC), Iran.

*(Corresponding Author Email: davoodabadi@nww.ir)

Received: 18-06-2017

Accepted: 01-08-2017

مقایسه‌ی آثار اقتصادی و مالی قیمت گذاری آب و فاضلاب ژاپن با ایران

مسعود خشایی^۱، محمد داودآبادی^{۲*}

۱ و ۲- کارشناس ارشد مالی، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: davoodabadi@nww.ir)

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۱۰

Abstract

Applying the best practices of other institutions and countries leads to a deeper management outlook. Compared with other goods, the pricing of water, which depends on the nature and the special conditions governing the sector, is more sensitive. This has led to various countries opting for different methods for setting water tariffs. Given the importance of the different methods of water pricing and their economic and financial consequences and since to date no research has been undertaken on the subject in this country, this research has tried to analyze and study the economic and financial impacts of water and wastewater pricing in Japan compared to Iran. The data in this article is extracted from translating and summarizing reports published by the Japan Water Association, field visits to several Japanese companies, and the accumulative reports of the Iranian water and wastewater industry during the time of 2012–2015. Time series, cross section analysis, and comparative studies are applied to analyze the economic and financial parameters of the Japanese and Iranian water and wastewater industry. The results indicate that the strength of the Japanese water and wastewater industry has a very high cash flow, low risks, creation of economic value-added, profitability, high efficiency, etc. due to an economic approach in pricing versus the average cost pricing approach taken in Iran.

Keywords: Strategies for economic pricing of water and wastewater, Financial and economic aspects, Iran and Japan.

چکیده

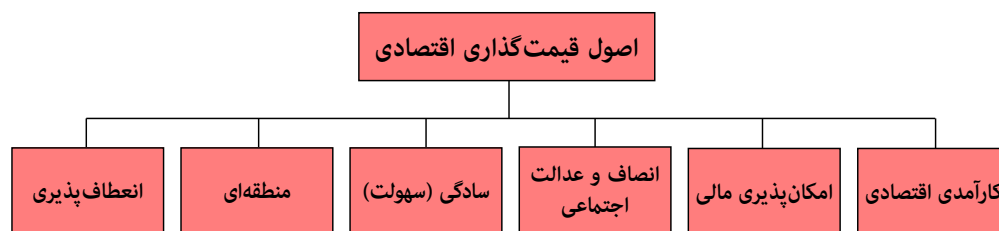
استفاده از تجربه‌های سایر مؤسسات و کشورها، سبب عمق بخشیدن به دیدگاه‌های مدیریت می‌شود. قیمت‌گذاری آب، در مقایسه با سایر کالاها متأثر از ماهیت و شرایط خاص حاکم بر این صنعت، حساسیت بیش‌تری دارد. این موضوع سبب شده کشورهای مختلف از شیوه‌های متنوعی در قیمت‌گذاری آب استفاده کنند. با توجه به اهمیت موضوع شیوه‌های قیمت‌گذاری آب و نتایج اقتصادی و مالی آن و این که تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه در کشور انجام نشده، در این پژوهش سعی شده آثار اقتصادی و مالی قیمت‌گذاری آب و فاضلاب ژاپن با ایران نقد و بررسی شود. اطلاعات این نوشتار بر اساس ترجمه و تلخیص گزارش‌های منتشره از سوی انجمن متخصصین آب ژاپن، بازدیدهای میدانی انجام شده از برخی از شرکت‌های ژاپنی و گزارش‌های تجمیعی صنعت آب و فاضلاب ایران در بازه‌ی زمانی سال‌های ۹۴-۱۳۹۱ انجام شده است. برای تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اقتصادی و مالی صنعت آب و فاضلاب ژاپن و ایران از شیوه‌های روندیابی، مقایسه‌ی مقطعی و تطبیقی استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی قدرت نقدینگی بسیار بالا، ریسک‌پذیری پایین، سودآوری مطلوب، کارآمدی بالا و... در صنعت آب و فاضلاب ژاپن به دلیل استفاده از رویکردهای اقتصادی در قیمت‌گذاری است.

واژه‌های کلیدی: راهبردهای قیمت‌گذاری اقتصادی آب و فاضلاب، مؤلفه‌های مالی و اقتصادی، ایران و ژاپن.

و اقتصادی قیمت‌گذاری هر دو کشور نقد و بررسی خواهد شد. داده‌های مورد استفاده بر اساس اطلاعات صورت‌های مالی تجمیعی صنعت آب و فاضلاب کشور و اطلاعات منتشره از سوی انجمن متخصصین آب ژاپن^۱ است. نظر به این که در کشور ژاپن تعرفه‌های هر شهر به صورت مستقل انجام می‌شود، برای نمونه عملکرد شرکت آب توکیو، یوکوهاما، کوبه و اطلاعات تجمیعی صنعت آب ژاپن انتخاب شده است. موضوعات مورد مطالعه در این پژوهش شامل مؤلفه‌های قیمت فروش، بهای تمام شده، سهم آب در سبد خانوار، قدرت نقدینگی، ریسک‌پذیری مالی، مدیریت سرمایه در گردش و منابع سرمایه‌ای است.

اصول قیمت‌گذاری اقتصادی آب

بیشتر نهادهای بین‌المللی، استفاده از هزینه متوسط به جای هزینه نهایی و مقاومت مصرف‌کنندگان همراه با هدف‌های سیاسی را از جمله دلایل غیرکارآمدی قیمت‌گذاری آب می‌دانند. بنابراین به منظور قیمت‌گذاری بهینه آب با هدف ایجاد ثروت، توسعه پایدار، مدیریت تقاضا، حفظ منابع آبی و... تمام جوانب محیطی و هزینه‌های اقتصادی باید لحاظ شود. در دوران متأثر از برخی مشکلات پیش‌روی، ارزش اقتصادی آب بسیار بالا رفته است. این امر منجر به بسط نظریه‌های قیمت‌گذاری آب مبتنی بر الگوهای اقتصادی شده است در قیمت‌گذاری آب ۶ اصل به الزام باید مراعات شود (شکل ۱) (سجادی فر و داودآبادی، ۱۳۹۵).



شکل ۱- اصول قیمت‌گذاری اقتصادی آب

- ۱- تشویق مصارف مطلوب (کنترل و کاهش تقاضای مضر).
 - ۲- حفظ منابع و رشد معقول آن برای تضمین پایداری عرضه‌ی آب.
 - ۳- تحقق درآمد مکفی برای گردش عملیات مالی.
- پایه‌ی قیمت‌گذاری در صنعت آب و فاضلاب کشور، بر مبنای بهای تمام شده‌ی کامل و نوع کاربری است و از هزینه‌ی متوسط، به جای هزینه‌ی نهایی استفاده می‌شود. در این نظام، ابتدا تمام هزینه‌های تولید، انتقال، پمپاژ، ذخیره و توزیع در نظر گرفته شده و سپس این هزینه‌ها با توجه به کاربری‌های گوناگون، محدودیت‌های قانونی و سایر ملاحظه‌ها، سرشکن شده و برای مشترکان مختلف قیمت‌های متفاوتی ارائه می‌شود (سجادی فر و داودآبادی، ۱۳۹۵).

قیمت‌ها، در شرایط رقابت کامل، از طریق عرضه و تقاضا تعیین می‌شوند و برابر بودن قیمت با هزینه نهایی، شرط کارآمدی منابع است. قیمت‌ها، تنها ابزاری برای پوشش هزینه‌ها نیستند، بلکه اگر با یک مکانیسم علمی استخراج شوند، نتیجه‌های مفید آن‌ها بیش‌تر از پوشش هزینه‌ها است و سبب تخصیص بهینه‌ی منابع می‌شود. قیمت‌گذاری آب و فاضلاب با توجه با ماهیت خاص آن، بر اساس عملکرد عامل‌های بازار شکل نمی‌گیرد و با هدف تأمین هزینه‌ها و در نظر گرفتن خصوصیات ماند عدم اعمال حقوق مالکیت فردی، منافع و هزینه‌های بین نسلی، امنیت اجتماعی، دسترسی به آب بهداشتی سالم و سیاست‌های حمایتی انجام می‌شود و ملاحظات اقتصادی، شاید کم‌ترین نقش را داشته باشند. در دو دهه‌ی گذشته بسیاری از کشورها صرف‌نظر از نوع نگرش آن‌ها در مدیریت منابع آب، در اصلاح قیمت‌های آب فعالیت‌های ارزنده‌ای انجام داده‌اند. امروزه به دلیل رشد جمعیت، افزایش سطح رفاه عمومی، کمبود منابع آبی پایدار و... نیاز بیش‌تری به ساخت تأسیسات شبکه‌های تأمین و توزیع آب احساس می‌شود و بنگاه‌های آب، باید منابع مالی آن‌ها را از طریق فروش کسب کنند. به این ترتیب، بنگاه‌های تأمین و توزیع آب به ناچار باید به سمت خودکفایی اقتصادی حرکت نمایند.

نظر به این که قیمت‌گذاری آب کشور بر اساس اطلاعات مالی و در ژاپن با رویکرد اقتصادی انجام می‌شود، در این پژوهش آثار مالی

نظام قیمت‌گذاری آب و فاضلاب کشور

- مطابق مواد ۹ و ۱۱ قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و سایر مفاد قانونی، قیمت‌گذاری آب و فاضلاب کشور توسط دولت انجام می‌شود که متکی به اقتصاد دستوری^۲ (اقتصاد دولتی) است و هدف دولت در قالب‌های ذیل قابل شناسایی است:
- جبران هزینه‌های جاری و سرمایه‌ای.
 - قیمت به عنوان یک اهرم اقتصادی در کنترل مصرف و مدیریت تقاضای آب.
 - توزیع هزینه‌های تولیدی بین مصرف‌کنندگان با هدف:

آخرین وضعیت تعرفه‌های شرکت‌های آب و فاضلاب که در سال ۱۳۹۴ تصویب شده مطابق جدول (۱) است. تعرفه‌های آب به تفکیک انواع کاربری‌ها با دیدگاه تأمین قیمت تمام شده و به صورت بلوکی تصاعدی در بخش خانگی و با نرخ‌هایی جداگانه تعیین شده‌اند (دفتر تنظیم مقررات بازار آب و برق و خصوصی سازی وزارت نیرو، ۱۳۹۴).

جدول ۱- قیمت آب در پله‌های مصرف در کشور

ص	قیمت نسبت به مازاد (مترمکعب/ریال)	میزان آب مصرفی ماهانه (مترمکعب)	رابطه (بر اساس طبقه مصرف در ماه)
شهر	۱۴۱۹	$5 \geq x > 0$	۱۴۱۹x
	۲۱۲۳	$10 \geq x > 5$	۳۵۲۰-۲۱۲۳x
	۲۸۲۷	$15 \geq x > 10$	۱۰۵۶۰-۲۸۲۷x
	۳۷۰۳	$20 \geq x > 15$	۲۳۷۰۰-۳۷۰۳x
	۵۴۰۰	$25 \geq x > 20$	۵۷۶۴۰-۵۴۰۰x
	۸۴۹۶	$30 \geq x > 25$	۱۳۵۰۴۰-۸۴۹۶x
	۱۱۵۸۰	$35 \geq x > 30$	۲۲۷۵۶۰-۱۱۵۸۰x
	۱۵۴۴۴	$40 \geq x > 35$	۳۶۲۸۰۰-۱۵۴۴۴x
	۳۳۴۶۲	$50 \geq x > 40$	۱۰۸۴۵۲۰-۳۳۴۶۲x
	۶۶۹۲۴	$50 < x$	۲۷۵۶۶۲۰-۶۶۹۲۴x
روستا	۵۷۶۰	صنعتی	
	۷۷۷۶	عمومی و دولتی	
	۲۸۸۰	آموزشی و مذهبی	
	۱۰۸۰۰	موقت	
	۹۹۷۲	تجاری	
	۱۴۴۰	سایر	

نمای از صنعت آب و فاضلاب ژاپن

سابقه‌ی احداث تأسیسات آب و فاضلاب به سبک مدرن در ژاپن به دهه‌ی ۱۸۷۰ برمی‌گردد. اولین شهر این کشور که به تأسیسات آبرسانی مدرن مجهز شد، شهر یوکوهاما در سال ۱۸۷۸ بود. بازوی عملیاتی دولت در صنعت آب و فاضلاب ژاپن، انجمن متخصصین آب ژاپن است. صنعت آب و فاضلاب ژاپن در سه سطح کلان به شرح زیر سازمان‌دهی شده است:

دولت مرکزی: دولت این کشور مدیریت حاکمیتی صنعت آب و فاضلاب ژاپن را بر عهده دارد. چهار وزارتخانه‌ی بهداشت، کار و امور رفاه اجتماعی، وزارت زمین، امور زیربنایی و حمل و نقل، وزارت محیط زیست و وزارت کار داخلی و ارتباطات، ناظر بر فعالیت‌های صنعت آب و فاضلاب ژاپن هستند.

استانداری‌ها: مطابق تقسیمات کشوری، در ژاپن ۴۶ ایالت وجود

دارد. در سطح کلان، مدیریت صنعت آب و فاضلاب این کشور توسط ۲۳ شرکت با ساختار آب منطقه‌ای^۲ (مدیریت منطقه‌ای) و تعداد شرکت مستقل تأمین و توزیع آب^۳ انجام می‌شود.

شهرداری‌ها: در ژاپن ۱۷۵۴ شهر وجود دارد که ۱۲۴۸ شهر آن هر یک دارای یک شرکت تأمین و توزیع آب هستند. در این کشور تأمین و توزیع آب روستاها بر عهده‌ی دهیاری‌ها با استقلال کامل کسب و کار انجام می‌شود. به لحاظ ساختاری و تشکیلاتی، سه نوع شرکت آب در این کشور سازمان‌دهی شده است:

- **شرکت‌های آب منطقه‌ای:** سازمان‌دهی شرکت‌های آب منطقه‌ای به گونه‌ای است که فعالیت، مالکیت و بهره‌برداری از منابع آبی و تصفیه‌ی آب در اختیار یک شرکت مستقل است. این نوع از شرکت‌ها پس از تصفیه و انتقال، آب را به شرکت‌های آب شهری به قیمت تجاری (بهای تمام شده‌ی تولید با احتساب سود متعارف) می‌فروشند.

- **شرکت‌های توزیع آب شهری:** شرکت‌های توزیع آب، هیچ گونه نقشی در تأمین، تصفیه و حتی انتقال آب به مراکز جمعیتی ندارند و آب تصفیه شده را از شرکت‌های آب منطقه‌ای به نرخ اقتصادی خریداری و توزیع می‌کنند. شرکت‌های فوق در واقع، فقط مالک شبکه‌های توزیع، ایستگاه‌های پمپاژ، مخازن ذخیره‌ی آب و... هستند.

- **شرکت‌های تأمین و توزیع شهری:** در این نوع از سازمان‌دهی، مالکیت و بهره‌برداری از تمام منابع آبی (سد، چاه، آبگیر، خطوط انتقال و...) در اختیار یک شرکت است. این شرکت‌ها مسئولیت تأمین، تصفیه و توزیع آب را بر عهده دارند و با هماهنگی و پشتیبانی شهرداری‌ها تأسیس شده‌اند (داودآبادی، ۱۳۹۵).

قیمت‌گذاری آب و فاضلاب ژاپن^۴

قیمت‌گذاری آب و فاضلاب در این کشور برای هر شهر به صورت مستقل انجام می‌شود و دولت و سایر نهادهای ناظر، فقط نقش نظارت و کنترل بر قیمت‌ها را دارند. قیمت‌گذاری آب این کشور به صورت تصاعدی صعودی بلوکی (مانند ایران) است به نحوی که برای هر بلوک قیمت متفاوتی وجود دارد. مهم‌ترین راهبرد این قیمت‌گذاری در وهله‌ی نخست تشویق مدیریت بهینه‌ی مصرف و کسب درآمد مکفی است. این نوع راهبرد قیمت‌گذاری به دلایل زیر استفاده می‌شود:

- وجود منابع آبی متفاوت و امکان قابلیت دسترسی به منابع آب در هر منطقه.

- سطح کیفیت آب، نحوه‌ی تصفیه و توزیع.

- هزینه‌های حقوق و دستمزد.

- مساحت و اندازه‌ی منطقه‌ی جغرافیایی شرکت.

- سطح عمومی هزینه‌های تعمیرات و نگهداشت.

برای نمونه در ادامه تعرفه‌های آب و فاضلاب شهرهای توکیو، کوبه و یوکوهامای ژاپن ارائه خواهد شد (داودآبادی، ۱۳۹۵).

۱- شرکت آب و فاضلاب توکیو

در تعرفه‌های آب و فاضلاب توکیو (جدول ۲) که از اول ژانویه سال ۲۰۰۵ ابلاغ شده، برای هر نوع قطر انشعاب قیمت‌های متفاوتی وجود دارد. مطابق این جدول، مشترکان تا سقف ۵ مترمکعب در ماه از پرداخت آب بها معاف می‌باشند. هم‌چنین به صورت حساب‌ها، مالیات بر ارزش افزوده تعلق می‌گیرد. در بخش فاضلاب برای کاربری‌های غیرخانگی مشترکانی که کم‌تر از ۸ مترمکعب در ماه مصرف دارند بایستی ۲۸۰ ین به ازای هر مترمکعب پرداخت نمایند. مشترکان غیرخانگی برای مصارف بیش از ۹ مترمکعب در ماه بایستی به ازای هر مترمکعب، ۳۵ ین پرداخت نمایند. تعرفه‌های فاضلاب این شرکت از اول ژولای ۱۹۹۸ ابلاغ شده و تاکنون تغییری نداشته است (JWWA، ۲۰۱۵). عدم تغییر قیمت‌های این شرکت به دلیل شرایط اقتصادی مطلوب این کشور می‌باشد، به طوری که طی چند سال اخیر، نرخ تورم این کشور به تقریب صفر بوده است.

۲- شرکت آب کوبه^۶

در شهر کوبه صورتحساب‌های مصرف آب و خدمات فاضلاب مشترکان، هر دو ماه یکبار قرائت و صادر می‌شود. سطح قیمت آب و فاضلاب به گونه‌ای است که پوشش دهنده تمام هزینه‌های جاری و بخشی از منابع سرمایه‌ای است. روش قیمت‌گذاری آب در کوبه از نوع قیمت‌گذاری چند بخشی تصاعدی صعودی است. جدول (۳) تعرفه‌های آب و فاضلاب شرکت آب و فاضلاب کوبه را نشان می‌دهد. قیمت‌گذاری آب و فاضلاب در شهر کوبه به گونه‌ای است که تا ۲۰ مترمکعب در ماه یک قیمت ثابت دارد (آب ۱۹۰۰ ین و فاضلاب ۱۰۱۵ ین). برای مصرف‌های بیش از ۲۰ مترمکعب در ماه به صورت بلوکی افزایش خواهد داشت (JWWA، ۲۰۱۵).

جدول ۲- تعرفه‌های آب و فاضلاب در شرکت آب توکیو (JWWA، ۲۰۱۵)

عنوان	طبقات مصرف (مترمکعب)	قیمت (ین)
آ. انشعاب‌های ۲۵ و ۳۰ میلی‌متر خانگی	کم‌تر از ۵ مترمکعب	۰
	[۱۰-۶]	۲۲
	[۲۰-۱۱]	۱۲۸
	[۳۰-۲۱]	۱۶۳
	[۵۰-۳۱]	۲۰۲
	[۱۰۰-۵۱]	۲۱۳
	[۲۰۰-۱۰۱]	۲۹۸
	[۱۰۰۰-۲۰۱]	۳۷۲
	بیش‌تر از ۱۰۰۰ مترمکعب	۴۲۴
ب. غیر خانگی	کم‌تر از ۵ مترمکعب	۰
	[۱۰-۶]	۲۲
	بیش‌تر از ۱۰۰۰ مترمکعب	۱۰۹
ج. فاضلاب	کم‌تر از ۸ مترمکعب	۵۶۰
	[۲۰-۹]	۱۱۰
	[۳۰-۲۱]	۱۴۰
	[۵۰-۳۱]	۱۷۰
	[۱۰۰-۵۱]	۲۰۰
	[۲۰۰-۱۰۱]	۲۳۰
	[۵۰۰-۲۰۱]	۲۷۰
	[۱۰۰۰-۵۰۱]	۳۱۰
	بیش‌تر از ۱۰۰۰ مترمکعب	۳۴۵
	کم‌تر از ۸ مترمکعب	۲۸۰
د. فاضلاب	بیش‌تر از ۹ مترمکعب	۳۵

جدول ۳- تعرفه‌های آب و فاضلاب شرکت آب کوبه (JWWA، ۲۰۱۵)

عنوان	طبقات (مترمکعب)	قیمت (ین)
آ. خانگی و عمومی	<۲۰	۱۹۰۰
	[۴۰-۲۱]	۱۵۶/۶۰
	[۶۰-۴۱]	۱۶۷/۴۰
	[۲۰۰-۶۱]	۲۳۲/۲۰
	>۲۰۱	۲۷۰/۰۰
ب. تجاری، صنعتی و دولتی	<۲۰	۱۹۰۰
	[۶۰-۲۱]	۱۹۴/۴۰
	[۱۲۰-۶۱]	۲۴۸/۴۰
	[۲۰۰-۱۲۱]	۲۸۶/۲۰
	[۶۰۰-۲۰۱]	۳۱۳/۲۰
	[۲۰۰۰-۶۰۱]	۳۵۶/۴۰
	>۲۰۰۰	۳۸۸/۸۰
ج. فاضلاب	<۲۰	۱۰۱۵
	مازاد طبقات مصرف	
	[۶۰-۲۱]	۱۰۵/۸۴
	[۱۰۰-۶۱]	۱۳۸/۲۴
	[۲۰۰-۱۰۱]	۱۶۴/۱۶
	[۴۰۰-۲۰۱]	۱۹۷/۶۴
	[۱۰۰۰-۴۰۱]	۲۳۲/۲۰
	[۲۰۰۰-۱۰۰۱]	۲۸۴/۴۰
	[۴۰۰۰-۲۰۰۱]	۲۶۴/۶۰
	>۴۰۰۱	۲۸۰/۸۰

۳- شرکت یوکوهاما^۷

ساختار قیمت گذاری این شرکت به صورت بلوکی چند بخشی است. مصرف مشترکین در هر ماه قرائت، ولی صورتحساب هر دو ماه یکبار صادر می گردد. آخرین تعرفه های این شرکت که از اول آوریل ۲۰۰۱ ابلاغ شده در جدول (۴) آمده است. توضیحات زیر در خصوص تعرفه های شرکت آب و فاضلاب شهر یوکوهاما متصور است:

• در بخش آب تا ۸ مترمکعب در ماه قیمت به طور ثابت ۷۹۰ ین و فاضلاب ۶۳ ین ثابت است.

- مصرف آب تا سقف ۱۰۰ مترمکعب در ماه در دو بخش خانگی و غیرخانگی یکسان است.
- الگوی مصرف ۲۰ مترمکعب در ماه لحاظ شده است.
- در بخش تعرفه های غیرخانگی آب برای مصارف بیش از ۱۰۰ مترمکعب در ماه دارای بلوک های مشخصی است.
- تعرفه های فاضلاب در بخش خانگی و غیرخانگی یکسان است و تفاوتی با یکدیگر ندارند.
- بلوک های مصرفی هر یک از طبقه ها در تعرفه های آب و فاضلاب دارای فاصله ی طبقاتی یکسانی نیستند (JWWA، ۲۰۱۵).

جدول ۴- تعرفه های آب و فاضلاب شرکت یوکوهاما (JWWA، ۲۰۱۵)

فاضلاب				آب			
عنوان	طبقات مصرف (مترمکعب)	قیمت (ین)	رابطه	عنوان	طبقات مصرف (مترمکعب)	قیمت (ین)	رابطه
شماره ۱	[۸-۰]	-	۶۳۰	شماره ۱	[۸-۰]	-	۷۹۰
	[۱۰-۹]	۲۰	۴۷۰+۲۰x		[۱۰-۹]	۴۳	۴۴۶+۴۳x
	[۲۰-۱۱]	۱۱۸	۵۱۰-۱۱۸x		[۲۰-۱۱]	۱۵۸	۷۰۴-۱۵۸x
	[۳۰-۲۱]	۱۷۳	۱۶۱۰-۱۷۳x		[۳۰-۲۱]	۲۲۶	۲۰۶۴-۲۲۶x
	[۵۰-۳۱]	۲۳۴	۳۴۴۰-۲۳۴x		[۵۰-۳۱]	۲۶۹	۳۳۵۴-۲۶۹x
	[۱۰۰-۵۱]	۲۶۴	۴۹۴۰-۲۶۴x		[۱۰۰-۵۱]	۲۹۳	۴۵۵۴-۲۹۳x
	[۲۰۰-۱۰۱]	۲۹۹	۸۴۴۰-۲۹۹x		>۱۰۱	۳۲۰	۷۲۵۴-۳۲۰x
شماره ۲	[۵۰۰-۲۰۱]	۳۴۱	۱۶۸۴۰-۳۴۱x	شماره ۲	[۳۰۰-۱۰۱]	۳۲۰	۷۲۵۴-۳۲۰x
	[۱۰۰۰-۵۰۱]	۳۸۹	۴۰۸۴۰-۳۸۹x		[۱۰۰۰-۳۰۰]	۲۶۹	۲۱۹۵۴-۲۶۹x
	[۲۰۰۰-۱۰۰۰]	۴۱۶	۶۷۸۴۰-۴۱۶x		>۱۰۰۱	۴۰۹	۶۱۹۵۴-۴۰۹x
	>۲۰۰۱	۴۷۲	۱۷۹۸۴۰-۴۷۲x				

شهروند ژاپنی در سال ۲۰۱۳ معادل ۰/۷۹ درصد گزارش شده و این در حالی است که در همان سال متوسط هزینه ی هر خانوار ۲۹۳ هزار ین در ماه بوده است که نشان می دهد، سهم آب در سبد خانوارهای ژاپنی به تقریب ۱/۳ برابر کشور است (جدول ۵) (داودآبادی، ۱۳۹۵).

جدول ۵- مقایسه ی سهم آب در سبد هر خانوار ژاپنی (JWWA، ۲۰۱۵)

سال	سهم آب در سبد خانوار		درآمد سالانه (ین)
	درصد	مبلغ (ین)	
۲۰۰۰	۰/۸۲	۲۶۲۶	۳۲۱۳۳۲
۲۰۰۵	۰/۸۶	۲۶۱۶	۳۰۳۳۱۰
۲۰۱۰	۰/۸۴	۲۴۵۹	۲۹۲۵۳۷
۲۰۱۳	۰/۷۹	۲۳۳۹	۲۹۳۱۹۳

مقایسه ی برخی مؤلفه های مالی اقتصادی

در ادامه، مقایسه ی برخی از مؤلفه های اقتصادی و مالی صنعت آب و فاضلاب کشور با ژاپن بررسی خواهد شد.

۱- سهم آب در سبد خانوار

مقایسه ی سهم آب در سبد خانوار یکی از بحث های اقتصاد آب است. در پایان سال ۱۳۹۴ سهم آب در سبد هر خانوار شهری کشور ۰/۵۹ درصد بوده است. سهم آب در مقایسه با سایر کالاهای خدمات عمومی (برق ۱/۲۷ درصد، گاز ۱/۲۵ درصد و مخابرات ۲/۵۱) و سایر کالاهای دیگر نشان دهنده ی ارزان بودن آب در سبد خانوارهای ایرانی است (سجادی فر و داودآبادی، ۱۳۹۵). سهم آب در سبد خانوار هر

۲- قیمت تمام شده آب

بهای تمام شده آب، شامل مجموع هزینه‌ها از نقطه‌ی استحصال تا مبادی حق استفاده‌ی مشترک است. جدول (۶) اجزای بهای تمام شده‌ی آب و فاضلاب کشور را در سال ۱۳۹۴ نشان می‌دهد (دفتر نظارت مالی، بودجه و مجامع عمومی، ۱۳۹۵). مطابق جدول (۶)، بیش‌ترین سهم هزینه‌ها به ترتیب به چهار عامل استهلاک، نیروی کار، خدمات قراردادی، نگهداشت و تعمیرات اختصاص دارد (قانون پاره‌تو) و سایر هزینه‌ها سهم قابل ملاحظه‌ای

ندارند. نتیجه این که حدود ۸۰ درصد از اجزای قیمت تمام شده متأثر از قوانین و مقررات فرابخشی است که کاهش آن بسیار مشکل خواهد بود و فقط در بستر راهبردهای بهره‌وری امکان‌پذیر خواهد بود. در سال ۲۰۱۳ قیمت تمام شده‌ی هر مترمکعب آب فروش رفته در ژاپن ۱۹۹ ین، گزارش شده است. این در حالی است که قیمت فروش یک بطری آب ۹۰۰ میلی‌لیتری در ژاپن بین ۱۷۵ الی ۱۸۵ ین می‌باشد. جدول (۷) اجزای بهای تمام شده‌ی هر مترمکعب آب فروش رفته را در بازه‌ی زمانی ۱۹۷۵ الی ۲۰۱۳ نشان می‌دهد (JWWA، ۲۰۱۵).

جدول ۶- بهای تمام شده‌ی هر مترمکعب آب و فاضلاب کشور در سال ۱۳۹۴ (دفتر نظارت مالی، بودجه و مجامع عمومی، ۱۳۹۵)

عنوان	آب		فاضلاب	
	مبلغ (ریال)	درصد	مبلغ (ریال)	درصد
هزینه‌ی رسمی و قراردادی	۲۵۱۸	۲۸	۱۵۹۳	۲۰
نیروی کار	۷۴۹	۹	۶۰۴	۸
آب خام و حق نظارت	۵۱۷	۶		
مواد مصرفی	۳۲۱	۴	۵۳	۱
مواد مصرفی	۶۹	۱	۱۹	۲
استهلاک	۳۴۵۱	۴۰	۴۰۱۶	۵۱
بهره‌برداری	۸۰۰	۹	۸۱۲	۱۰
سایر	۲۸۰	۳	۶۵۷	۸
جمع	۸۷۰۵	۱۰۰	۷۷۵۴	۱۰۰

جدول ۷- اجزای بهای تمام شده‌ی یک مترمکعب آب در ژاپن (ارقام: ین^۱) (JWWA، ۲۰۱۵)

سال	دستمزد	استهلاک	بهره‌ی وام	هزینه‌ی فروش	سایر	جمع
۱۹۸۰	۲۹/۴۲	۱۵/۷۵	۷۲/۹۲	۱۳/۴۳	۳۲/۳۴	۱۱۸/۸۶
۱۹۹۵	۳۲/۲۷	۲۱/۴۷	۳۳/۰۰	۱۸/۵۰	۴۰/۳۹	۱۴۵/۶۳
۱۹۹۰	۳۴/۰۹	۲۵/۰۳	۳۰/۲۰	۲۰/۸۶	۴۲/۴۸	۱۵۲/۶۶
۱۹۹۵	۳۶/۴۳	۳۲/۱۱	۳۱/۲۸	۲۵/۷۵	۵۰/۷۸	۱۷۶/۳۵
۲۰۰۰	۳۵/۱۲	۴۱/۰۹	۲۸/۵۹	۲۸/۲۴	۴۹/۲۳	۱۸۲/۲۷
۲۰۰۵	۳۰/۹۰	۴۶/۳۳	۲۲/۳۴	۳۰/۸۹	۴۹/۲۸	۱۷۹/۷۴
۲۰۱۰	۲۵/۹۱	۵۰/۶۴	۱۳/۸۴	۳۰/۱۳	۵۲/۲۰	۱۷۲/۶۵
۲۰۱۳	۳۲/۲۹	۵۳/۸۳	۱۱/۷۰	۳۰/۰۱	۵۷/۸۴	۱۷۶/۶۷

نکته‌های برجسته‌ی زیر برای قیمت تمام شده‌ی آب ژاپن حائز اهمیت است:

• بیش‌ترین سهم هزینه بعد از سایر هزینه‌ها (سال ۲۰۱۳) به استهلاک اختصاص دارد و از این لحاظ مانند کشور ایران است. این وضعیت به سرمایه‌بر بودن صنعت آب و فاضلاب اشاره دارد. دلیل اصلی افزایش سهم این هزینه، سرمایه‌گذاری گسترده‌ی در صنعت آب و فاضلاب مطابق برنامه‌های دولت است.

• سهم هزینه‌ی حقوق و دستمزد بعد از استهلاک قرار دارد و به تقریب نزدیک به ارقام کشور است. در این کشور استفاده از سامانه‌های تله متریکی طی چند دهه‌ی اخیر بسیار گسترش یافته است که این شیوه سبب کاهش اتکا به نیروی انسانی شده است. برای نمونه تعداد پرسنل شرکت آب و فاضلاب توکیو در سال ۲۰۱۴ با جمعیتی بالغ بر ۱۲/۸ میلیون نفر و ۶/۹ میلیون فقره مشترک، ۴۰۰۳ نفر گزارش شده است.

• هزینه‌های فروش که مربوط به ارائه‌ی خدمات مشترکین است، شامل هزینه‌های قرائت کنتور، نشت‌یابی خطوط انتقال و شبکه‌های توزیع، آزمایشات کنترل کیفی و ایمن‌سازی شبکه‌های توزیع آب در مقابل زلزله است.

• هزینه‌های مالی (بهره‌ی وام‌ها) در ژاپن در سطح بسیار بالایی قرار دارد و به این دلیل است که بخشی از منابع سرمایه‌گذاری از طریق دریافت اعتبارات از بانک‌ها و مؤسسات دولتی تأمین می‌شود. این موضوع یکی به دلیل شرایط اقتصادی مطلوب این کشور و سطح پایین نرخ بهره‌ی وام‌ها است و دیگر این که سطح تعرفه‌های آب و فاضلاب در سطح بالایی است، بنابر این شرکت‌های آب این کشور از قدرت نقدینگی زیادی برخوردارند و توانایی بازپرداخت اقساط و بهره‌های وام‌های بانکی را در موعد مقرر دارند (JWWA، ۲۰۱۵).

۳- قیمت فروش آب

در صنعت آب و فاضلاب کشور، قیمت‌گذاری توسط دولت انجام می‌شود و رویکردهای بنگاه‌داری اقتصادی در آن کمتر لحاظ شده است. به رغم پیش‌بینی قیمت‌گذاری واقعی، سیاست‌های دولت منجر به بنگاه‌داری غیراقتصادی شده است. جدول (۸) قیمت فروش یک مترمکعب آب در بخش شهری را نشان می‌دهد. هم چنین برای شناسایی وضعیت سطح عمومی قیمت‌های آب از اطلاعات قیمت تمام شده، استفاده شده است. جدول (۸) نشان می‌دهد که سطح قیمت‌ها در مقایسه با بهای تمام شده در سطح بسیار پایینی است و این خود منجر به تحمیل زیان به صنعت آب و فاضلاب کشور شده است (دفتر نظارت مالی، بودجه و مجامع عمومی، ۱۳۹۵).

جدول ۸- قیمت فروش یک مترمکعب آب در کشور طی سال‌های ۹۴-۱۳۸۵ (ارقام ریال) (دفتر نظارت مالی، بودجه و مجامع عمومی، ۱۳۹۵)

سال	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	۱۳۹۱	۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۸۸	۱۳۸۷	۱۳۸۶	۱۳۸۵
فروش	۴۲۵۴	۳۹۳۸	۳۵۱۷	۲۹۴۳	۲۶۰۶	۱۳۱۳	۱۰۱۶	۹۵۲	۸۸۵	۶۵۰
هزینه	۸۷۰۵	۷۹۸۱	۶۹۲۰	۶۲۹۱	۶۰۵۷	۲۲۵۲	۲۰۸۷	۱۸۸۸	۱۵۸۳	۱۱۶۳
زیان	(۴۴۵۳)	(۴۰۴۳)	(۳۴۰۳)	(۳۳۴۸)	(۳۴۵۱)	(۹۳۹)	(۱۰۷۱)	(۹۳۶)	(۶۹۸)	(۵۱۳)

جدول ۹- مقایسه‌ی قیمت فروش و هزینه‌ی هر مترمکعب آب در شرکت آب توکیو (ارقام: ین) (JWWA، ۲۰۱۵)

سال	فروش	هزینه	سود (زیان)
۱۹۹۷	۲۱۸/۳۷	۲۱۱/۲۳	۷/۱۴
۱۹۹۸	۲۱۸/۷۲	۲۱۸/۶۷	۰/۰۵
۱۹۹۹	۲۱۸/۵۲	۲۱۶/۵۲	۲
۲۰۰۰	۲۱۷/۹۷	۲۱۸/۶۱	(۰/۶۴)
۲۰۰۲	۲۱۷/۲۴	۲۱۷/۸۰	(۰/۵۶)
۲۰۰۲	۲۱۶/۰۹	۲۱۷/۰۰	۲/۰۹
۲۰۰۳	۲۱۴/۹۵	۲۱۵/۱۰	(۰/۱۵)
۲۰۰۴	۲۱۴/۹۷	۲۱۶/۲۴	(۱/۲۷)
۲۰۰۷	۲۰۵/۸۱	۲۰۹/۴۶	(۳/۶)
۲۰۰۸	۲۰۴/۷۲	۲۰۸/۵۱	(۳/۷۹)
۲۰۰۹	۲۰۲/۷۲	۲۰۶/۸۵	(۴/۱۳)
۲۰۱۰	۱۹۸/۸۳	۲۰۶/۸۰	(۷/۸۷)
۲۰۱۱	۲۰۵/۸۹	۲۰۵/۳۰	(۰/۵۹)
۲۰۱۲	۲۰۳/۳۴	۲۰۵/۸۳	(۲/۴۹)
۲۰۱۳	۲۰۳/۵۱	۲۰۶/۰۲	(۲/۵۱)
۲۰۱۴	۲۰۹/۸۵	۲۰۸/۶۸	(۱/۱۷)

در جدول (۹) برای نمونه قیمت فروش و بهای تمام شده‌ی هر مترمکعب آب در شرکت آب توکیو ارائه شده است. مطابق این جدول، با توجه به این که شرکت فوق، دولتی است، اما دارای سود معقولی بوده و سطح عمومی قیمت‌ها به گونه‌ای است که پوشش دهنده‌ی هزینه‌ها است. این موضوع نشان می‌دهد که قیمت فروش آب در سطح بالایی (اقتصادی) قرار دارد. بر پایه‌ی این جدول، سود (زیان) تا قبل از سال ۲۰۰۷ دستخوش تغییرات ثابتی بوده است. بعد از سال ۲۰۰۷ قیمت تمام شده تغییرات کمی داشته، اما قیمت فروش تغییرات محسوسی داشته که بیش‌تر به روند کاهش مصرف آب به دلیل نرخ رشد منفی^۹ جمعیت مربوط می‌باشد. استقلال مالی در حد پوشش هزینه‌ها جزء راهبردهای صنعت آب کشور ژاپن است. نکته‌ی قابل توجه این که نوسات بسیار اندک هزینه‌ها می‌تواند به دلیل ثبات اقتصادی حاکم بر ژاپن باشد (عدم تورم). بر پایه‌ی گزارشات صندوق بین‌المللی پول، ژاپن جزء کشورهای بسیار باثبات اقتصادی جهان محسوب می‌شود، به طوری که در سال‌های گذشته نرخ تورم در این کشور صفر و در مواقعی نیز منفی بوده است (JWWA، ۲۰۱۵). همچنین ژاپن سرزمین مدیریت بهره‌وری، کارآمدی و کنترل کیفیت است، به طوری که بسیاری از تئوری‌ها و مدل‌های بهره‌وری و کنترل کیفیت در این کشور ابداع شده است (کایزن، موجودی صفر و...). به نظر می‌رسد یکی از عامل‌های مهم در نقدینگی و سطح سودآوری شرکت‌های آب ژاپنی مربوط به این موضوع باشد.

۴- شاخص پوشش هزینه‌ها

نسبت فروش به بهای تمام شده (شاخص پوشش هزینه‌ها) معیار مناسبی برای ارزیابی سطح قیمت‌ها و هزینه‌ها است. در سال ۱۳۹۴ قیمت فروش آب فقط قادر به پوشش ۴۹/۱ درصد از بهای تمام شده (بخش خانگی ۳۵ درصد و غیرخانگی ۹۶ درصد) و ۲۳/۱ درصد فاضلاب است. برای مقایسه‌ی پوشش زیان در ژاپن

از اطلاعات شرکت آب توکیو مطابق جدول (۱۰) استفاده شده است. مطابق این جدول، مشاهده می‌شود که شاخص پوشش هزینه‌ها در این شرکت بسیار مطلوب است، به طوری که در بیش‌تر سال‌ها این شاخص در حدود ۱۰۰ درصد بوده است. این موضوع نشان می‌دهد که قیمت‌ها در سطح بسیار بالایی قرار دارد (JWWA، ۲۰۱۵).

جدول ۱۰- مقایسه شاخص پوشش هزینه‌ها در شرکت آب و فاضلاب توکیو طی سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۱۳ (JWWA، ۲۰۱۵)

سال	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲
هزینه (ین)	۹۷/۲۱۴	۵۴/۲۱۱	۷۴/۲۰۹	۸۱/۲۰۵	۷۲/۲۰۴	۷۲/۲۰۲	۸۳/۱۹۸	۸۹/۲۰۵	۳۴/۲۰۳
فروش (ین)	۲۴/۲۱۶	۲۳/۲۱۰	۵۳/۲۰۹	۴۶/۲۰۹	۵۱/۲۰۸	۸۵/۲۰۶	۸۲/۲۰۶	۳/۲۰۵	۳/۲۰۵
شاخص (درصد)	۶/۱۰۰	۴/۹۹	۹/۹۹	۸/۱۰۱	۹/۱۰۱	۰/۱۰۲	۰/۱۰۴	۷/۹۹	۰/۱۰۱

۵- شاخص‌های نقدینگی

برای شناسایی نقدینگی از سه شاخص نسبت جاری، نسبت آنی و سرمایه در گردش استفاده خواهد شد. در صنعت آب و فاضلاب کشور در سال مالی ۱۳۹۴ نسبت جاری ۷۲/۳ درصد گزارش شده که نشان از فقر نقدینگی دارد. با این حال مقایسه‌ی دارایی‌های جاری و بدهی‌های جاری نشان از ریسک‌پذیری مدیریت در تأمین نقدینگی است. نسبت آنی صنعت آب و فاضلاب کشور ۷۱/۴ درصد گزارش شده که مصادیق نسبت جاری برای این شاخص نیز یکسان است. مبلغ سرمایه در گردش (۸۲۷۳- میلیارد ریال) نیز از مصادیق بارز کمبود نقدینگی است (دفتر نظارت مالی، بودجه و مجامع عمومی، ۱۳۹۵).

برای نقدینگی کشور ژاپن برای نمونه از عناصر ترازنامه‌ی شرکت آب توکیو استفاده شده است. شاخص نسبت جاری ۲۱۳/۵ درصد، نسبت آنی ۲۰۴/۴ درصد و سرمایه در گردش ۱۲/۶۴۲ میلیون ین برای سال مالی ۲۰۱۴ گزارش شده است و نشان از قدرت نقدینگی بسیار بالا و هم چنین ریسک اندک مدیریت دارد.

قیمت‌گذاری اقتصادی و نسبت بسیار زیاد وصول مطالبات از مشتریان از دلایل بسیار مهم قدرت نقدینگی شرکت‌های ژاپنی است. از نشانه‌های ضعف قدرت نقدینگی، استفاده‌ی سازمان‌ها از منابع سرمایه‌ای (کاهش در سرمایه در گردش عملیات مستمر) یا دریافت وام و اعتبارات (رسوب بدهی‌های بلند مدت) است (JWWA، ۲۰۱۵).

کاهش سرمایه در گردش عملیات مستمر در بلندمدت سبب افت سرمایه‌گذاری و در نهایت افت شدید خدمات به مشتریان و انحراف از رسالت سازمانی است. از سویی دریافت وام و اعتبارات نیز در بلندمدت در صورت عدم افزایش یا بهبود در جریان خالص وجوه نقد ناشی از فعالیت‌های عملیاتی به دلیل ایجاد تعهد در بازپرداخت اقساط و بهره، سبب تشدید فقر نقدینگی می‌شود. در سال ۱۳۹۴ مجموع سرمایه در گردش عملیات مستمر در صنعت آب و فاضلاب کشور ۴۵۸۹- میلیارد ریال و در شرکت آب توکیو ۱۰۱۶ میلیون ین گزارش شده است (JWWA، ۲۰۱۵).

بحث، تحلیل و جمع‌بندی

امروزه در دوره‌ی سوم مدیریت اقتصادی آب به سر می‌بریم، دوره‌ای که اهمیت آب از کالایی اقتصادی به کالایی راهبردی تبدیل شده است. در این مرحله، کشورها به سطح حداکثر تنظیم جریان آب و توسعه‌ی منابع نزدیک می‌شوند و کمیابی آب خود نمایی کرده و هزینه‌های تأمین آن به سرعت افزایش می‌یابد. دولت‌ها علاوه بر مدیریت عرضه، برای کنترل تقاضا و استفاده‌ی اقتصادی‌تر از آب حرکت می‌کنند. بنابراین یکی از ابزارهای گذر از بحران‌های آب، نگاه اقتصادی به آن است. این موضوع برای کشورهایی که از منابع آبی کم و غیرمستمر برخوردارند، می‌بایست جز مسائل دست اول باشد.

اقتصاد آب به قدری اهمیت دارد که در یکی از چهار توصیه‌ی

مطرح شده در کنفرانس جهانی آب در سال ۱۹۹۲ دویلین (کنفرانس آب و محیط‌زیست در قرن ۲۱)، آب به عنوان کالایی اقتصادی در تمام مصارف آن، شناخته شده است. بنابراین در شرایط کنونی حاکم بر بیش‌تر کشورها و به دلایلی که پیش‌تر به آن‌ها اشاره شد، آب به یک کالای اقتصادی مبدل شده است. بر پایه‌ی مطالبی که در پیش‌تر پیرامون آن‌ها بحث شد و همچنین مقایسه‌ی برخی از مؤلفه‌های مالی و اقتصادی دو کشور ایران و ژاپن می‌توان موارد زیر را مد نظر قرار داد:

۱. ساختار قیمت‌گذاری آب در ژاپن نشان می‌دهد که اصول اقتصاد قیمت آب رعایت شده است. ساختار قیمت آب این کشور، گواه نتایج زیر است:
- تخصیص هزینه‌های تولید و توزیع و تضمین درجه‌ی معقولی از ثبات قیمت.

• قیمت‌ها در حدی است که تأمین‌کننده‌ی نیازهای مالی و تأمین بخشی از منابع سرمایه‌ای است.

• نظام قیمت‌گذاری ساده که اندازه‌گیری مصرف و تهیه‌ی صورتحساب را برای مشترک تسهیل می‌نماید.

• قیمت، به عنوان یک ابزار در راستای مدیریت تقاضا برای کنترل و کاهش مصرف آب.

۲. در ژاپن دولت هیچ نوع منابع مالی را برای کسری زیان یا تأمین نقدینگی (پرداخت‌های انتقالی) به شرکت‌های آب و فاضلاب پرداخت نمی‌کند. کمک‌های بلاعوض دولت فقط در صورت وقوع بحران‌های طبیعی است. هم‌چنین کمک‌های دولت برای تأمین نقدینگی و سرمایه در گردش از طریق وام‌های بلندمدت با بهره‌های بسیار کم (۱ الی ۴ درصد) است.

۳. به پیشنهاد مرکز تحقیقات آب سازمان ملل، قیمت‌های آب بایستی پوشش‌دهنده‌ی مجموع هزینه‌های بهره‌برداری و به صورت منطقه‌ای باشد. وضعیت تعرفه‌های آب شرکت‌های ژاپنی به وضوح نشان‌دهنده‌ی پوشش کامل هزینه‌ها و به صورت مستقل برای هر شهر تدوین شده است.

۴. در صنعت آب و فاضلاب مصرف و تولید همزمان است، اما صدور صورتحساب پس از مصرف دوره‌ای است، بنابر این قیمت در لحظه‌ی تقابل عرضه و تقاضا در تصمیم‌گیری مصرف‌کننده مؤثر نیست. این موضوع و بسیاری از موارد دیگر سبب شده تا در صنعت آب و فاضلاب برخی از مشترکان از پرداخت صورتحساب‌های آب مصرفی خود امتناع ورزند. گزارش‌ها نشان می‌دهد در صنعت آب و فاضلاب کشور از مجموع دارایی‌های جاری صنعت، ۳۱ درصد به مطالبات مشترکین اختصاص دارد. در ژاپن این شاخص برای سال ۲۰۱۵ بالغ بر ۲/۳ درصد بوده است. از دلایل پایین بودن مطالبات مشترکان در ژاپن استفاده از اهرم‌های قانونی و فرهنگ‌سازی است.

۵. نیاز به سرمایه‌گذاری کلان از مشخصه‌های بارز صنعت آب و فاضلاب است و از آن جایی که بیش‌تر طرح‌های توسعه و عرضه‌ی آب دارای بازدهی صعودی نسبت به مقیاس^۱ و شرایط انحصار طبیعی هستند، واحدهای خصوصی تمایلی به سرمایه‌گذاری در این صنعت را ندارند. بنابر این دولت‌ها در بیش‌تر کشورها از شیوه‌های متعددی برای سرمایه‌گذاری در صنعت آب و فاضلاب استفاده می‌کنند. در کشور ژاپن با توجه به این که سطح عمومی تعرفه‌ها زیاد است، بخشی از سرمایه‌گذاری‌ها از محل درآمدهای عملیاتی تأمین می‌شود. بیش‌تر سرمایه‌گذاری‌های شرکت‌های آب و فاضلاب کشور ژاپن از طریق وام‌ها و اعتبارات انتفاعی یا فروش اوراق مشارکت و اوراق قرضه با توجه به وجود بسترهای قانونی در این کشور انجام می‌شود. برای نمونه شرکت آب توکیو در سال ۲۰۱۳ مبلغ ۲۱۴ میلیون ین اوراق مشارکت با سود تضمین شده، فروخته است.

۶. در ژاپن سازمان‌دهی صنعت آب و فاضلاب از طریق تشکیل شرکت‌های منطقه‌ای به منظور افزایش ظرفیت‌های سرمایه‌گذاری،

کارآمدی، اثربخشی و افزایش پوشش مشترکین و خدمات انجام شده است.

در ادامه برخی از نکات برجسته در خصوص فعالیت‌هایی که در صنعت آب و فاضلاب ژاپن انجام شده و منجر به بهبود فرصت‌های اقتصادی شده، ارائه خواهد شد:

• **تولید برق توسط هیدروژنراتور:** یکی از دستاوردهای نوین شرکت‌های آب و فاضلاب ژاپن تولید برق با استفاده از شیوه‌های فتو ولتائیک^{۱۱} (پنل‌های خورشیدی) و هیدروژنراتور^{۱۲} است. تأمین و توزیع آب و جمع‌آوری و تصفیه‌ی فاضلاب مستلزم انرژی الکتریسته‌ی بسیار فراوانی است. تولید برق در تصفیه‌خانه‌ها یا خطوط انتقال می‌تواند بخشی از نیاز برق را تأمین نماید که این خود سبب کاهش هزینه‌ها می‌شود.

• **مدیریت آب بدون درآمد:** نشت آب همواره یکی از بدیهیات سامانه‌های آبرسانی است که به جز هدررفت آب، تبعات مالی و اقتصادی فراوانی دارد. مدیریت هدررفت آب یکی از راهبردهای شرکت‌های آب و فاضلاب ژاپن است. در این کشور در سال ۱۹۷۰ فقط ۷۸ درصد آب ورودی به شبکه‌ها مصرف می‌شد و ۲۸ درصد آن از بین می‌رفت. میزان هدر رفت آب ژاپن در سال ۲۰۱۳ به ۷ درصد رسیده است و راهبرد شرکت‌های آب ژاپنی کنترل و کاهش آن به پنج درصد برای شرکت‌های بزرگ و دو درصد برای شرکت‌های کوچک است.

• **استفاده گسترده از سامانه‌های کنترل مرکزی:** استفاده از سامانه‌های تله متری برای کنترل فرآیند عملیات تأمین و توزیع آب و تصفیه‌ی فاضلاب، یکی از ویژگی‌های صنعت آب و فاضلاب این کشور است که در نهایت منجر به نتیجه‌های زیر می‌شود:

- کاهش شدید نیاز به نیروی انسانی در راهبری و نگهداری تأسیسات و تجهیزات.

- کاهش هزینه‌های برق (به خصوص ایستگاه‌های پمپاژ).

- افزایش کارآمدی و اثربخشی فرآیند تولید و افزایش کیفیت محصولات و ارائه‌ی خدمات.

- کنترل کارکرد به موقع الکتروپمپ‌ها و سایر تأسیسات الکترونیکی و کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری.

• **توجه به مدیریت بهره‌وری:** افزایش و بهبود بهره‌وری منجر به ارزش افزوده و بهبود فرآیندهای عملیاتی می‌شود. فعالیت‌های زیر در شرکت‌های آب و فاضلاب ژاپن در راستای بهبود بهره‌وری انجام شده است.

- استفاده از ضایعات و سایر محصولات فرعی از فرآیند عملیات جاری. مانند استفاده از گاز متان حاصل از مخازن هضم لجن برای تولید انرژی برق برای استفاده در تأسیسات تصفیه‌خانه یا فروش به شهرداری‌ها.

- ساخت و تکمیل تأسیسات و تجهیزات با استفاده از مواد با کیفیت و استاندارد.

- افزایش بهره‌وری نیروی کار از طریق ارتقای مستمر دانش فنی و تخصصی

- استقرار سیستم‌های تعمیرات و نگهداری پیش‌گیرانه.

- اصلاح ساختار و تشکیلات سازمانی و نیروی انسانی.

- استفاده از مدیریت فن‌آوری اطلاعات برای توسعه‌ی مدیریت بخشی

• **استقرار عدم تمرکز مدیریت:** یکی از موضوعاتی که در سرلوحه‌ی فرآیند عملیات سازمان‌های بزرگ که به لحاظ ماهیت با بازار هدف^{۱۳} و در حیطه جغرافیایی وسیعی فعالیت دارند، تمرکز یا عدم‌تمرکز در نظام‌های مدیریتی است. از آن جایی که فعالیت شرکت‌های آب و فاضلاب منطقه‌ای است، نظام‌های مدیریتی غیرمتمرکز نقش به‌سزایی برای بهبود عملکرد، برنامه‌ریزی و کنترل، مطابق موارد زیر دارند:

- افزایش کیفیت و کمیت خدمات و ارتقای کمی و کیفی برنامه‌ها.

- بهبود فعالیت‌ها و ایجاد فضایی برای رشد و توسعه.

- کاهش سرپرستی سازمان مرکزی و در نتیجه صرفه‌جویی در هزینه‌ها.

پی‌نوشت

- ۱- فعالیت‌های انجمن متخصصین آب ژاپن (Japan Water Works Association-JWWA) توسعه‌ی مدیریت عرضه‌ی آب و استفاده‌ی بهینه از لوازم و تأسیسات، ایجاد ارتباط بین توسعه‌ی مدیریت عرضه‌ی آب با افزایش و بهبود در کیفیت، تحقیقات و توسعه‌ی تکنولوژی ساخت تأسیسات است.
- 2- Command Economy
- 3- Bulk Water Supply
- 4- Waterworks Bureau
- ۵- در کشور ژاپن مانند کشورهای عضو اتحادیه‌ی اروپا، وجوهی بابت حق برخورداری استفاده از تأسیسات و تجهیزات آب (حق انشعاب) از مشترکان دریافت نمی‌شود.
- 6- Kobe City Waterworks Bureau
- 7- Yokohama Water Supply Bureau (YWSB)
- ۸- نرخ واحد ۱۰۰ ین در تاریخ تهیه‌ی این گزارش (اردیبهشت ۱۳۹۶) معادل ۳۲۱۰ ریال توسط بانک مرکزی اعلام شده است (<http://www.cbi.ir>).
- ۹- یکی از مشکلات دولت ژاپن، رشد منفی (۰/۰۹ درصد) جمعیت است. طی دو دهه‌ی گذشته، جمعیت ژاپن در حال کاهش بوده، به طوری که جمعیت این کشور در سال ۲۰۶۰ به ۹۰ میلیون نفر و در سال ۲۱۱۰ به ۶۵ میلیون نفر خواهد رسید.
- 10- Increasing Return to Scale
- 11- Photovoltaic
- 12- Hydro Power Generation
- 13- Target Market

منابع

- استفاده مطلوب از امکانات و استعدادهای تخصصی.

- ایجاد انگیزه و اتکای به امکانات، ظرفیت‌ها، نیروها و منابع به منظور ایجاد پویایی و تحرک بیش‌تر در سطح تخصصی.

- واکنش سریع به تغییرات، جلب همکاری ذی‌نفعان و دستیابی به برنامه‌ها با همکاری شهرداری‌ها و شوراهای محلی.

• **فروش تکنولوژی و همکاری پایدار با سایر کشورها:** فروش تکنولوژی و همکاری پایدار در اجرای برخی از پروژه‌های برون‌مرزی، یکی از نقاط قوت شرکت‌های آب و فاضلاب ژاپنی محسوب می‌شود. این موضوع می‌تواند بر نقدینگی و کسب سود از یک طرف و تبادل دانش سازمانی تأثیر بسزایی داشته باشد. افزودن خدمات به محصولات، ایجاد خدمات پس از فروش، تمرکز بر نوآوری و کیفیت و فروش تکنولوژی به سایر کشورها برای کسب سود از فعالیت‌های غیرتولیدی و حاشیه‌ای است. برای مثال، شرکت آب یوکوهاما، با کشورهای هند، اندونزی، فلیپین (پروژه‌ی اسکادا)، جزایر سلیمان، فلسطین و عربستان، پروژه‌های مشترکی دارد.

داودآبادی، م. ۱۳۹۵. نیم‌نگاهی به دوره‌ی آموزشی مدیریت بحران در صنعت آب و فاضلاب ژاپن. پروژه‌ی ظرفیت‌سازی مدیران بهره‌برداری صنعت آب و فاضلاب. همکاری مشترک شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و مرکز همکاری خاورمیانه‌ی ژاپن (JCCME).

سجادی‌فر، ح. و داودآبادی، م. ۱۳۹۵. اقتصاد آب شهری- کاربرد تئوری‌ها، نظریه‌ها و سیاست‌گذاری‌های اقتصادی در صنعت آب و فاضلاب. انتشارات نویسنده، اراک، ایران.

دفتر تنظیم مقررات بازار آب و برق و خصوصی‌سازی. ۱۳۹۴. ابلاغ مصوبه‌ی وزیر در خصوص تعرفه‌های آب و خدمات دفع فاضلاب شهری و روستایی و شرایط عمومی آن. وزارت نیرو.

دفتر نظارت مالی، بودجه و مجامع عمومی. ۱۳۹۵. گزارش نتایج عمل (شرکت‌های آب و فاضلاب شهری). روایت شانزدهم. شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

دفتر نظارت مالی، بودجه و مجامع عمومی. ۱۳۹۵. گزارش ارزیابی عملکرد مالی صنعت آب و فاضلاب، روایت ۲۲. شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

Japan Water Works Association (JWWA). 2015. Water Supply in Japan. Tokyo, Japan. (<http://www.jwwa.or.jp/english/index.html>).

Study of Refinement of Groundwaters of Viral Contaminants Using Clay Column in a Laboratory Model

M. Esghaei^{1*}, A.h. Khodayari²

1- Associate Professor, Department of Virology, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. 2- M.Sc., Department of Civil, Islamic Azad university of Tabriz, Tabriz, Iran.

*(Corresponding Author Email: maryam.esghaei@gmail.com)

Received: 16-12-2015

Accepted: 12-04-2017

بررسی پالایش آب‌های زیرزمینی از آلاینده‌های ویروسی با استفاده از ستون خاک رس در مدل آزمایشگاهی

مریم اسقائی^{۱*}، امیرحسین خدایاری^۲

۱- دانشیار گروه ویروس‌شناسی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران. ۲- دانش‌آموخته کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران خاک، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۳

Abstract

Groundwater and aquifers are the major sources of drinking water in Iran. Water pollution prevention plays a key role in the public health. They have the potential to become contaminated with pathogenic microorganisms from wastewater and leaking sewage pipes. The transport of viruses in absorbent media as a filter has been a subject of great interest in recent years. We studied the transport of rotavirus, used as surrogate pathogenic viruses, through the clay mixed with three various alkaline solutions; Sodium hydroxide, calcium carbonate and aluminum hydroxide. TCID₅₀ method (50% Tissue Culture Infective Dose) was used for Virus titration the electrical conductivity and pH parameters were also investigated. The experimental data were fitted with a transport model to determine the adsorption parameters. Using soil filters at a given time and under certain chemical conditions significantly reduced titration of viruses. At alkaline pH and higher ionic strength, rotavirus was retained significantly by attachment to the solid-water interfaces due to electrostatic interactions. A high initial removal can be ascribed to Calcareous clay column. To conclude, pH and ionic strength seem to be the major factors determining attachment of the virus to the soil grains. It is recommended to use Calcareous clay column to improve wells for reducing pathogenic viruses in water.

Keywords: Groundwater, Viral contaminants, Clay, Rotavirus.

چکیده

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع اصلی آب آشامیدنی در ایران هستند و جلوگیری از آلودگی آنها نقش مهمی در سلامت و بهداشت عمومی دارد. این منابع بواسطه نشت فاضلاب‌ها همواره در معرض آلودگی با آلاینده‌های میکروبی به ویژه ویروس‌های بیماری‌زا قرار دارند. در سال‌های اخیر، مدلسازی صافی‌های جاذب ویروس به عنوان یک موضوع مورد علاقه محققین مطرح است. در این تحقیق روتاویروس^۲ به عنوان یک نمونه از ویروس‌های بیماری‌زا بررسی شد و عبور ویروس از خاک رس آمیخته با سه محلول قلیایی سدیم هیدروکسید، کربنات کلسیم و آلومینیوم هیدروکسید، جداگانه مورد مطالعه قرار گرفت. عیار ویروس با محاسبه آسیب‌دیدگی پنجاه درصد سلول‌ها اندازه‌گیری شد و هدایت الکتریکی و pH نیز برای تعیین پارامترهای جذب بررسی گردید. یافته‌ها نشان داد که استفاده از صافی‌های خاک در تابعی از زمان و شرایط شیمیایی بطور معنی‌داری سبب کاهش عیارسنجی^۳ ویروس‌ها می‌گردد. نگهداشت ویروس در pH قلیایی و قدرت یونی بالاتر مطلوب بوده و بیشترین حذف ویروس به ستون خاک رس-کربنات کلسیم نسبت داده شد. براساس نتایج این بررسی کاربرد صافی‌های خاک رسی-آهکی در بهسازی چاه‌های آب و حذف یا کاهش ویروس‌های بیماری‌زای موجود در فاضلاب مؤثر و قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، آلودگی‌های ویروسی، خاک رس، روتاویروس.

حضور این ویروس‌ها در فاضلاب نشان‌دهنده قابل انتقال بودن این ویروس‌ها از طریق آب می‌باشد (عمویی و یحیی‌پور، ۱۳۸۵). برای پیش‌بینی دقیق انتقال آلاینده‌های ویروسی در خاک و تعیین خطر آلودگی منابع آب، مدل‌هایی لازم است که بتوانند وضعیت انتقال، نگهداشت و غیرفعال شدن این آلاینده‌ها را با تخمینی مناسب برآورد کنند. گام نخست در مدل‌سازی انتقال ویروس در خاک، شناسایی سازوکارها و فاکتورهای موثر بر جذب و انتقال آن در خاک است. در گام بعدی بایستی این سازوکارها و فاکتورها به صورت کمی بیان شوند. شایان ذکر است که ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک و همچنین بار ویروس، بر جذب و انتقال آن در خاک موثرند (Torkzaban و همکاران، ۲۰۰۶).

اندازه عوامل بیماری‌زا نقش مهمی را در انتقال آنها در خاک بر عهده دارد. در بین انواع میکروارگانیسم‌های قابل انتقال در خاک مطالعه حرکت و چگونگی حرکت ویروس‌ها در خاک به دلیل اندازه کوچک‌تر آنها با مشکلات بیشتری همراه است (Doran و Zeiss، ۲۰۰۰). از آنجا که در صنعت تصفیه آب و فاضلاب کاربرد صافی یا صافی‌های شنی - خاکی به عنوان اولین مرحله تصفیه متعارف بوده و در سامانه‌های تصفیه مورد استفاده قرار می‌گیرند، انگیزه ساخت ستون‌های شنی یا خاکی در حول محور چاه‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی جهت جذب ناخالصی‌های معلق و آلاینده‌های میکروبی همواره مد نظر محققین بوده است (قلی‌پور و علامتیان، ۱۳۹۴). از طرفی در این صافی‌ها با عبور مایع از درون بستر، مواد معلق و ذرات ریز در بین خلل و فرج بستر باقی می‌مانند و آب زلال خارج می‌گردد (Sobsey و همکاران، ۱۹۸۰). در ساختن صافی مهم‌ترین قسمت، انتخاب ماده جاذب است. در مطالعه حاضر این ماده جاذب بایستی برای حذف ویروس‌های بیماری‌زای موجود در فاضلاب واکنش‌پذیر باشد. این مطالعه به منظور طراحی مقدماتی مدل‌سازی صافی‌های شنی-خاکی برای حذف یا کاهش ویروس‌های بیماری‌زا از فاضلاب‌ها در قالب یک پروژه آزمایشگاهی انجام گرفته است.

ویروس‌شناسی دانشگاه علوم پزشکی ایران انتخاب گردید. ویژگی برجسته این ویروس‌ها فاقد پوشش بودن و اندازه حدود ۸۰ الی ۱۰۰ نانومتری آنها می‌باشد (Fuchs، ۲۰۱۵). دودمان سلولی BSC-1 (بانک سلولی انستیتو پاستور، تهران، ایران) برای تکثیر روتاویروس استفاده گردید. به این ترتیب که ابتدا سلول‌ها را در محیط کشت DMEM^۱ حاوی ۱۰٪ سرم جنین گاوی پاساژ داده، پس از گذشت ۲۴ ساعت و پرشدن کامل سطح فلاسک، تک لایه سلولی مناسب برای تلقیح ویروس آماده گردید.

انتقال میکروارگانیسم‌های عامل بیماری‌زا^۲ به آب‌های زیرزمینی از مسائل بسیار مهم زیست‌محیطی است که می‌تواند در سطحی وسیع سبب شیوع بیماری شود (مهرآوران و اسماعیلی، ۱۳۹۳). امروزه استفاده از کودهای دامی و فاضلاب‌ها در زمین‌های کشاورزی به منظور افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی آن، افزایش یافته است ولی نکته حائز اهمیت این است که کاربرد نادرست آنها باعث آلودگی و کاهش کیفیت آب سطحی و زیرزمینی شده و در نتیجه سلامت عمومی و زیست‌محیطی را به خطر انداخته است (جوانی و همکاران، ۱۳۹۴). معمول‌ترین شکل بیماری وابسته به آب، بویژه آن شکلی که سبب آسیب بیشتری در مقیاس جهانی می‌گردد، شامل بیماری‌هایی است که با آب آلوده به ادرار و مدفوع انسانی، منتقل می‌شوند (Melnick و همکاران، ۱۹۸۷). از عمده‌ترین بیماری‌های این دسته حصبه، وبا، هپاتیت‌های مسری، اسهال ویروسی و غیره هستند (Kocwa-Haluch و Zalewska، ۲۰۰۲) که بروز آنها بطور همزمان، بین افرادی که از یک منبع آب استفاده کرده‌اند، مشخص می‌شود (WHO، ۲۰۱۱). روتاویروس‌ها بعنوان یکی از عوامل بیماری‌زای مهم ایجادکننده بیماری‌های اسهالی بشمار می‌روند و جزء خانواده رتوویروسه^۳ طبقه‌بندی می‌شوند (Bridger و Pocock، ۱۹۸۶). در کشورهای در حال توسعه، روتاویروس‌های موجود در میان ویروس‌های قابل انتقال از طریق آب عامل بیشترین تلفات شناخته‌شده حاصل از التهابات معده و روده هستند. سویه‌های متعددی از روتاویروس‌ها در جهان پراکنده‌اند و عامل اسهال‌های شدید حاصل از آب در کودکان و بزرگسالان به شمار می‌آیند. ویروس‌ها در آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی فاضلاب‌های تیمار شده، رسوبات فاضلاب و همچنین در آب‌های آشامیدنی شناسایی شده‌اند. لازم به ذکر است که میزان دفع روتاویروس‌ها از افراد بیمار بسیار زیاد است؛ هر چند که در زمان ورود به آب و فاضلاب بسیار رقیق می‌شوند و غلظت آن‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین

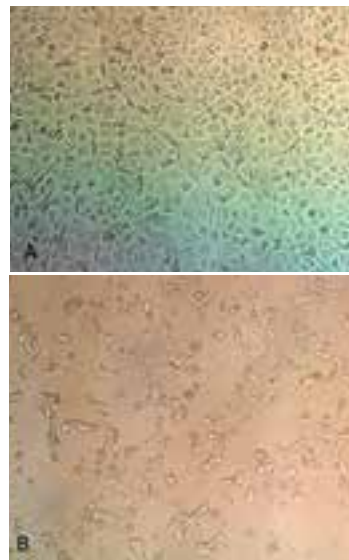
روش بررسی

• ویروس و سلول

از آنجا که طبق گزارشات مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری‌های ایالات متحده (CDC)^۴ روتاویروس به عنوان شاخص آلودگی ویروسی آب چاه‌ها به شمار می‌آید، در این پژوهش، روتاویروس به عنوان مدل شاخص آلودگی‌های ویروسی آب مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از سویه SA11^۵ استفاده شد که از بانک ویروس موجود در دانشکده

• تلقیح روتاویروس به سلول BSC-1 و تکثیر ویروس

سویه روتاویروس SA11 به کشت تک لایه سلول‌های BSC-1 تلقیح گردید، فلاسک در انکوباتور^{۱۱} ۳۷°C به مدت یک ساعت قرار داده شد تا مراحل اتصال ویروس انجام پذیرد و ۴۸ ساعت بعد، اثر آسیب سلولی (CPE)^{۱۱} روتاویروس ظاهر گردید.



شکل ۱ - رده سلولی BSC-1 قبل از تلقیح ویروس (A). آسیب سلولی ناشی از تکثیر روتاویروس (B).

• تهیه سوسپانسیون ویروس و سنجش عیار آن به روش TCID₅₀^{۱۲}

بعد از تلقیح روتاویروس و مشاهده آسیب سلولی، با استفاده از یک پاروی سلولی^{۱۳} سلول‌ها را از فلاسک کشت سلول جدا کرده و در بافر محلول نمکی فسفات استریل سوسپانسه گردید. مقدار ویروس در واحد میلی‌لیتر که توان ایجاد اثرات مرگ سلولی را در ۵۰٪ از سلول‌های تلقیح شده داشته باشد، TCID₅₀ می‌گویند که در این مطالعه با استفاده از روش تیتراسیون رید-مانچ (Reed و Muench، ۱۹۸۳) تعیین گردید. برای انجام دادن این تست از میکروپلیت‌های ۹۶ خانه‌ای استریل استفاده شد؛ به این ترتیب که در هر چاهک میکروپلیت، مقدار ۱۰۰ میکرولیتر سوسپانسیون (حاوی ۱۰ هزار سلول در محیط کشت DMEM و ۱۰٪ سرم گاوی) افزوده شد و پس از ۴۸ ساعت نگهداری در انکوباتور، تک لایه سلولی تشکیل شد. سپس هر چاهک با محیط تازه شستشو داده شد و از رقت‌های ۱۰^{-۴} تا ۱۰^{-۷} ویروس استفاده گردید؛ بطوری که برای هر رقت ویروسی ۴ چاهک در نظر گرفته شد. پس از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در انکوباتور ۳۷°C علائم

سیتوپاتوژنیک در چاهک‌ها بررسی و یادداشت شد. سپس با استفاده از فرمول تیتراسیون رید-مانچ تیترو ویروس محاسبه گردید.

• آماده‌کردن ستون‌های خاک رس به عنوان مدل صافی

ریشه لغوی رس در لاتین Clay می‌باشد. ذرات خاک رس معمولاً با اندازه کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر تعریف می‌شوند. نمونه خاک استفاده شده در این آزمایش از نوعی رس به نام ایلیت یا مونت موریونیت (شرکت لیکا - ساوه، ایران) تهیه گردید. از آنجا که لازم است برای ساخت صافی، میزان مواد جاذب در سرتاسر صافی یکسان باشد، از لوله‌های پلی‌اتیلن به ارتفاع یکسان استفاده شد. این لوله‌های پلی‌اتیلن ۱۲ عدد به ارتفاع ۱۰ و قطر ۲ سانتی‌متر انتخاب شده بودند که هر کدام به ارتفاع ۱ سانتی‌متر با خاک رس پر شدند. سپس در انتهای هر لوله سه سوراخ با فواصل منظم و مساوی به منظور خروج یکنواخت زه آب ایجاد شد.

• اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی خاک

ابتدا مقدار ۲ گرم از نمونه خاک در یک بشر کوچک وزن شد، سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید و مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه به آرامی هم زده شد. سپس با استفاده از الکترودهای دستگاه pH متر میزان pH هر نمونه اندازه‌گیری گردید. از طرفی هدف از اندازه‌گیری EC تعیین مقدار یون‌های موجود در محلول خاک و اثرات نمک‌ها بر ساختار خاک می‌باشد. هدایت الکتریکی (EC)^{۱۴} خاک نماینده میزان املاح موجود در محلول خاک می‌باشد (Torkzaban و همکاران، ۲۰۰۶). هدایت الکتریکی توسط دستگاه هدایت‌سنج^{۱۵} بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر (μS/cm) اندازه‌گیری شد. محلول سوسپانسیون تهیه شده در مرحله قبل صاف گشت و هدایت الکتریکی محلول شفاف اندازه‌گیری شد.

به هر کدام از لوله‌های پلی‌اتیلن حاوی خاک رس تهیه شده در مرحله قبل، بصورت دسته‌بندی ۳ تایی، ۳ میلی‌لیتر از محلول یک مولار مواد قلیایی سدیم هیدروکسید، کربنات کلسیم و آلومینیوم هیدروکسید اضافه گردید. کنترل نیز حاوی ستون خاک رس بدون هر گونه محلول قلیائی اضافی بود. یک روز پس از اضافه نمودن املاح قلیایی و خشک شدن سطح ستون‌های خاک، به میزان ۵ میلی‌لیتر از سوسپانسیون ویروسی با تیترو معین ۵/۲-۱۰ اضافه گردید. زه آب حاصل شده بعد از ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در لوله‌های جداگانه جمع‌آوری شد. سپس هر لوله، جداگانه برای اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی و تیترو ویروس مورد بررسی قرار گرفت.

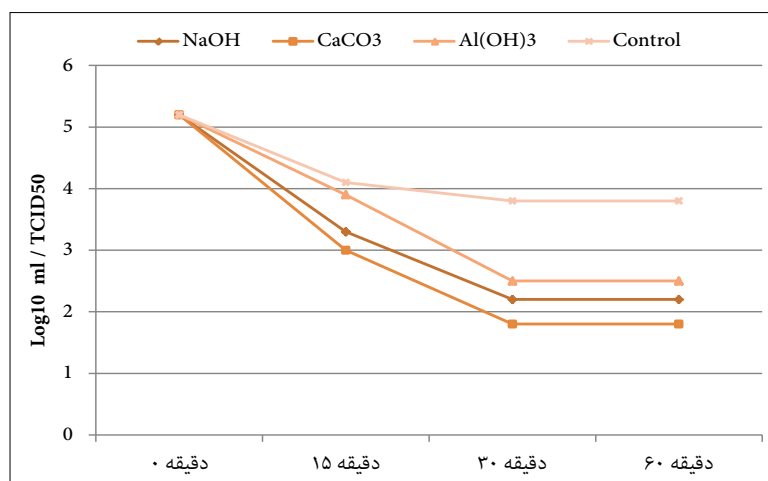
یافته‌ها

میانگین مقدار تیترو ویروس در سه ستون خاکی مورد نظر در جدول (۱) آمده است. نتایج این آزمایش نشان داد با افزایش مقدار قدرت یونی، تیترو ویروس کاهش و بنابراین مقدار جذب ویروس افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش جذب ویروس با افزایش درجه قلیائی بودن را می‌توان در بار مناسب این کانی برای جذب

ویروس جستجو کرد. البته در فرآیند جذب، ابتدا تیترو ویروس در فاز مایع با گذر زمان کاهش یافت، اما پس از مدتی کوتاه به یک مقدار ثابت رسید. پس از محاسبه تیترو ویروس در زه‌آب‌های جمع‌آوری شده در زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه به روش تیتراسیون TCID₅₀ مشاهده گردید پس از ۳۰ دقیقه، تغییرات ثابت شد، به عبارتی زمان رسیدن به تعادل ۳۰ دقیقه بدست آمد (شکل ۲).

جدول ۱- میانگین تغییرات تیترو ویروس پس از عبور از ستون‌های خاک

زه‌آب جمع‌آوری شده				تیترو اولیه		میانگین تیترو ویروس زه‌آب‌ها در زمان جمع‌آوری	
سری ستون‌های				تیمار شده با		ml / TCID ₅₀ Log10	
Triuplicate				محلول قلیایی			
				۰ دقیقه		۱۵ دقیقه	
				۳۰ دقیقه		۶۰ دقیقه	
شماره ۱				NaOH		۲/۲	
شماره ۲				CaCO ₃		۱/۸	
شماره ۳				Al(OH) ₃		۲/۵	
کنترل				-		۳/۸	



شکل ۲- تغییرات تیترو ویروس پس از عبور از ستون‌های خاک در تابع زمان

کلیه عملیات آماری در نرم‌افزار SPSS ۱۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و سطح معنی‌داری آزمون‌ها $P > 0.05$ در نظر گرفته شد. متغیر تیمار^{۱۶} با محلول قلیایی به عنوان فاکتور بین گروهی و متغیر زمان به عنوان فاکتور داخل گروهی تعریف شدند. آزمون Mauchly برای واریانس‌ها را نشان داد و بنابراین با فرض واریانس‌های همسان از آنالیز Repeated measures

استفاده کردیم. سپس آزمون‌های تعقیبی Post Hoc Tests و Tukey's HSD تمام تریتمان‌ها را با هم و با کنترل مقایسه نموده و خروجی آنالیزها تفاوت‌های معنی‌داری را در داخل هر گروه تریتمان شده و همچنین بین گروه‌ها نشان داد و معنی‌دار بودن این اختلاف در مورد ستون خاک رسی-آهکی (CaCO₃) از سایر تریتمان‌ها بیشتر بود.

ترکیبات قلیایی در خاک می‌تواند از طرق مختلف بر جذب و انتقال ویروس در آن تأثیرگذار باشد. رسوب نمک‌های قلیا در منافذ خاک باعث افزایش قدرت یونی و سبب افزایش جذب ویروس‌ها به ذرات خاک می‌شود. انتقال ویروس ضروری است (Torkzaban و همکاران، ۲۰۰۶). کانی‌های رس که دارای بار منفی بیشتری هستند توانایی کمتری برای جذب عوامل بیماری‌زا دارند (Hassanizadeh و Schijven، ۲۰۰۲). غلظت املاح با تأثیر بر فشرده شدن لایه‌های خاک سبب افزایش جذب سطحی عوامل بیماری‌زا به خصوص ویروس‌ها می‌شود (Laloui Fauriel، ۲۰۱۲). کاتیون‌های چند ظرفیتی هم به عنوان پلی بین ذره خاک و میکروارگانیسم‌ها عمل کرده و باعث کاهش حرکت عوامل بیماری‌زا در خاک می‌شوند (El-Senousy و همکاران، ۲۰۱۴). علاوه بر این کاتیون‌های چند ظرفیتی باعث گردآوری و تجمع ذرات میکروارگانیسم‌ها به یکدیگر شده و باعث محبوس شدن آنها در بین فضاهای خالی و ذرات خاک می‌گردند (Coleman و Ragland، ۱۹۶۰). با توجه به مطالعات قبلی (Lin و Coleman، ۱۹۶۰) به عنوان مثال استفاده کلرید آلومینیوم به غلظت ۰/۱ میلی‌مول در زه آب باعث جلوگیری از نفوذ ویروس‌ها به عمق بیش از ۴۰ سانتی‌متری می‌شود (Hassanizadeh و Schijven، ۲۰۰۰). استفاده از فسفات‌های کلسیم و سولفات آهن نیز آثار مشابهی را به دنبال دارد. دانشمندان انتقال این ویروس‌ها را در ستون‌های شن که ذرات آن دارای پوشش اکسید آلومینیوم بودند، مطالعه کردند. نتایج Lin و Coleman (۱۹۶۰) نشان داد که ۳۴ درصد ویروس‌های MS به شکل برگشت‌ناپذیر جذب یا غیرفعال شدند. اصولاً جذب پرتون باعث تغییر تعادل

یونیزاسیون و در نتیجه تغییر pH خاک می‌گردد (Tufenkji، ۲۰۰۷). نتایج پژوهش ما نیز نشان داد که با افزایش مقدار کاتیون‌ها مقدار جذب افزایش می‌یابد. از آنجا که کاتیون دارای بار موافق برای جذب ویروس می‌باشد، لذا ویژگی جذب سریع و پالایش ویروس را می‌توان به کربنات کلسیم خاک‌های قلیایی مورد مطالعه نسبت داد.

هدف اصلی این پژوهش مطالعه کمی نقش ترکیبات قلیایی بر جذب ویروس‌ها در خاک و تعیین مدل برآوردکننده پالایش ویروس در صافی خاکی بود. نتایج آزمایش جذب ویروس با استفاده از تیتراسیون نشان داد که کاربرد صافی خاک باعث افزایش معنی‌دار جذب ویروس در زه آب خروجی می‌شود که در اینجا سازوکارهای احتمالی همچون جذب، رسوب و تبادل یونی زه آب حاصله مطرح است. در نهایت می‌توان گفت که کاربرد صافی‌های خاک رسی-آهکی در حذف یا کاهش ویروس‌های بیماری‌زای موجود در فاضلاب مؤثر و قابل توصیه می‌باشد. پیشنهاد می‌گردد جهت بهسازی دهانه چاه و محافظت چاه یا چشمه از ورود آب‌های سطحی آلوده، در مناطق نزدیک به فاضلاب‌های دفعی موجودات زنده، اطراف دیواره‌های چاه را با خاک رس کوبیده و تیمار شده با مواد قلیایی به ویژه آهک، به قطر چند میلی‌متر بپوشانند تا از نفوذ آلاینده‌های ویروسی به داخل آنها جلوگیری شود.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از کارکنان گروه ویروس‌شناسی در دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی ایران و گروه مهندسی عمران خاک در دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز به دلیل حمایت‌های علمی و آزمایشگاهی کمال امتنان را دارند.

پی‌نوشت

8- Simian Rotavirus

9- Dulbecco's Modified Eagle Medium

10- incubator

11- Cytopathic effect

12- 50% Tissue Culture Infective Dose

13- cell scraper

14- Electric Conductivity

15- Conductometer

16- treatment

1- Filter

2- Rotavirus

3- Titration

4- Pathogen

5- Reoviridae

6- strains of viruses

7- Centers for Disease Control and Prevention

- human rotavirus in sewage and water. Polish J Environ Stud, 11: 751-755.
- Lin C. and Coleman N.T. 1960 .The measurement of exchangeable aluminum in soils and clays. Soil Science Society of America Journal, 24(6): 444-446.
- Melnick J.L., Gerba C.P. and Wallis C. 1978. Viruses in water. Bulletin of the World Health Organization, 56(4): 499.
- Ragland J.L. and Coleman N.T. 1960. The hydrolysis of aluminum salts in clay and soil systems. Soil Science Society of America Journal, 24(6): 457-460.
- Reed L.J. and Muench H. 1938 .A simple method of estimating fifty per cent endpoints. American journal of epidemiology, 27(3): 493-497.
- Schijven J.F. and Hassanizadeh. S.M. 2002 .Virus removal by soil passage at field scale and groundwater protection of sandy aquifers. Water science and technology, 46(3): 123-130.
- Schijven J.F. and Hassanizadeh S.M. 2000. Removal of viruses by soil passage: Overview of modeling, processes, and parameters. Critical reviews in environmental science and technology, 30(1): 49-127.
- Sobsey M.D. Dean C.H., Knuckles M.E. and Wagner R.A. 1980 .Interactions and survival of enteric viruses in soil materials. Applied and Environmental Microbiology, 40(1): 92-101.
- Torkzaban, S., Hassanizadeh S.M., Schijven J.F., de Bruin H.A.M., de Roda Husman A.M. 2006. Virus transport in saturated and unsaturated sand columns. Vadose Zone Journal, 5(3): 877-885.
- Tufenkji N. 2007. Modeling microbial transport in porous media: Traditional approaches and recent developments. Advances in Water Resources, 30(6): 1455-1469.
- WHO. 2011. Guidelines for drinking Water quality.
- مهرآوران، ب. و اسماعیلی، ک. ۱۳۹۳. رویکرد جدید در کاهش طعم و بو از آب سدکارده با استفاده از سامانه‌ی ترکیبی فراصوت، سوپرهواده و جذب سطحی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه‌ی آب شماره‌ی ۱ مشهد). آب و توسعه پایدار، ۲۸-۲۳: (۲)۱.
- قلی‌پور، ا. و علامتیان، ا. ۱۳۹۴. بررسی اثر تغییرات درجه حرارت و زبری کانال بر کیفیت فاضلاب تصفیه‌خانه پرکنندآباد مشهد با استفاده از مدل‌سازی عددی. آب و توسعه پایدار، ۲۸-۵۱: (۲)۱.
- جوانی، ح.ر.، لیاقت، ع.، حسن اقلی، ع.ر. و نادری درباغشاهی، م. ۱۳۹۴. استفاده از تصفیه زمینی در کاهش برخی از ترکیبات پساب شهری با استفاده از ستون خاک. پژوهش آب ایران، ۱۴۷-۱۳۷: (۲)۹.
- عمویی، ع. و یحیی‌پور، یوسف. ۱۳۸۵. ترجمه: پاتوزن‌های فاضلاب. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی بابل.
- Bridger J.C. and Pocock D.H. 1986 .Variation in virulence of bovine rotaviruses. Journal of hygiene, 96(2): 257-264.
- Doran J.W. and Zeiss M.R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. Applied Soil Ecology, 15(1): 3-11.
- El-Senousy W.M., Gamal A.O. and Melegy A.A. 2014. Survival of Adenovirus, Rotavirus, Hepatitis A Virus, Pathogenic Bacteria and Bacterial Indicators in Ground Water. World Applied Sciences Journal, 29(3): 337-348.
- Fauriel S., and Laloui L. 2012. A bio-chemo-hydro-mechanical model for microbially induced calcite precipitation in soils. Computers and Geotechnics, 46: 104-120.
- Fuchs G.J. 2015. Re-CYCLing Rotavirus. Journal of pediatric gastroenterology and nutrition, 60(1): 1.
- Kocwa-Haluch R and Zalewska B. 2002. Presence of

Successful Salicornia Seed Production using Saline Water

M. Salehi^{1*}, F. Dehghany², N.Gh. Ebrahimi³

1, 2- Ph.D in Agronomy & Ph.D in Soil science, Assistant professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. 3- Ph.D in Water management, Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

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

Received: 23-05-2016

Accepted: 24-11-2016

تجربه موفق تکثیر بذر سالیکورنیا با منابع آب شور

معصومه صالحی^۱، فرهاد دهقانی^۲، نادرقلی ابراهیمی^۳

۱ و ۲- به ترتیب دکتری زراعت و دکتری خاکشناسی، استادیار پژوهش مرکز ملی تحقیقات شوری یزد، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد. ۳- دکتری مهندسی منابع آب و دانشیار پژوهشی سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۰۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۰۴

Abstract

Human activities caused global warming and climate change and threaten agricultural production. The decline in water quality and quantity are the main constraints to food security, occupation, as well as the cause for social problems. Biosaline agriculture is one of the methods for agricultural production using saline soil and water. One of the chains of Biosaline agriculture is plant production with saline water. In this method of agriculture halophytes cultivation under a saline condition with optimum irrigation and soil management is considered. For the development of halophyte plants, seed production is the main input. Amongst halophyte species, Salicornia is considered for the development of the coastal area in the north and south of Iran. This is because of its extractable oil and high seed production using sea water. The objective of this paper is the orientation of experts for seed production, agronomic requirements, and the growth stages requirements of two Salicornia species. Salicornia bigelovii and S. persica produced 1.9 and 1.5 ton ha⁻¹ of seeds, respectively in Yazd, Iran. To achieve the maximum yield, the sowing date is very important because of the photoperiod sensitivity during the flowering stage. Irrigation and fertilizer requirement supply are also important during this sensitive growing stage.

Keywords: Halophytes, Seed production, Agronomic management.

چکیده

گرمایش جهانی و تغییر اقلیم به دلیل فرایندهای انسانی و طبیعی از عوامل موثر بر تولیدات کشاورزی در جهان می باشد. کمبود کیفیت و کمیت منابع آب تهدیدی جدی بر امنیت غذایی و اشتغال بوده و به دنبال آن موجب مشکلات اجتماعی است. شورورزی (کشاورزی شورزیست) یک روش استفاده از منابع آب و خاک شور در کشاورزی است و یکی از حلقه های شورورزی تولید گیاهان با منابع آب شور می باشد. در این روش سیستم های کشت و کار در محیط های شور با استفاده از پتانسیل گیاهان شورزیست برای رشد در شرایط شور و نیز بهبود روش های مدیریتی آب و خاک مدنظر است. به منظور ایجاد بستر توسعه کشت گیاهان شورزیست تولید بذر مهمترین نهاده می باشد. در بین گیاهان شورزیست سالیکورنیا به دلیل تولید بالا با آب دریا و روغن قابل استخراج به منظور توسعه نوار ساحلی جنوب و شمال کشور مورد توجه قرار گرفته است. این مقاله با هدف آشنایی کارشناسان با نحوه تکثیر گیاه، نیازهای زراعی و آشنایی با روند رشدی دو گونه سالیکورنیا تدوین شده است. میزان تولید گیاه در شرایط اقلیم یزد با مدیریت مناسب گونه سالیکورنیا بیگلوی ۱/۹ تن در هکتار و گونه پرسیکا ۱/۵ تن در هکتار بود. به منظور رسیدن به حداکثر عملکرد با توجه به حساسیت گیاه به طول روز باید تاریخ کاشت گیاه در زمان مناسب با توجه به فتوپریود منطقه انجام شده و همچنین نیاز آبی و کودی گیاه در مراحل حساس رشدی گیاه تأمین شود.

واژه های کلیدی: شورزیست، تولید بذر، مدیریت زراعی.

درصد نمک می‌باشند. روغن سالیکورنیا دارای ۷۵ درصد لینولئیک^۱ و لینولنیک^۲ می‌باشد. تاکنون کشورهای مکزیک، هند، اریتره، عربستان سعودی و امارات بطور موفقیت‌آمیزی کشت سالیکورنیا را انجام داده‌اند (Zak و Stuchlík, ۲۰۰۲).

از بین ۱۵ گونه سالیکورنیا در جهان هفت گونه آن در ایران وجود دارد. رویشگاه‌های این گیاه در ایران شامل استان‌های فارس، سمنان، گرگان، خوزستان، بوشهر، هرمزگان، یزد، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اصفهان، قم و تهران می‌باشد. بخشی از این گیاه در رودخانه زاینده‌رود، تالاب گاوخونی، استان فارس و حاشیه خلیج فارس می‌روید. با وجود اینکه ایران یکی از رویشگاه‌های اصلی این گیاه با پراکنش بالا است، مطالعات انجام شده در این باره در کشور ما بسیار محدود می‌باشد.

اخیراً این گیاه برای توسعه نوار ساحلی جنوب و کشت در نواحی ساحلی دریای خزر مورد توجه قرار گرفته است. سه دلیل عمده موجب شده است که سالیکورنیا به عنوان یک گیاه روغنی مورد توجه قرار گیرد:

۱- پتانسیل تولید بالا با آب دریا

۲- روغن قابل استخراج قابل مقایسه با روغن گلرنگ

۳- عملکرد مشابه با سویا با آب شیرین.

از آنجایی که بذر مهمترین نهاده توسعه کشت بوده و با توجه به قیمت بالای بذر و کیفیت پایین بذر وارداتی سالیکورنیا، این بذر در مزرعه تکثیری بذر سالیکورنیای مرکز ملی تحقیقات شوری یزد کشت شد. این مقاله با هدف انتقال تجربه نحوه تکثیر بذر به محققان و کارشناسان و آشنایی با نیازهای زراعی و گونه‌های آن تدوین شده است.

درصد جوانه‌زنی آنها با آب شیرین بسیار بیشتر می‌باشد (Singh و همکاران، ۲۰۱۴). بهترین دما برای جوانه زنی دانه‌ها ۲۵ درجه سانتیگراد در روز و ۵ درجه سانتیگراد در شب می‌باشد (Glenn و همکاران، ۱۹۹۹).



شکل ۱- شکل ظاهری بوته (a) و بذر (b) سالیکورنیا بیگلوی

کشاورزی شورزیست عبارت است از بهره‌برداری از منابع آب و خاک شور برای تولید محصولات زراعی و باغی اعم از شورزی و غیرشورزیست. در بین منابع عمده مناطق بیابانی آب شور عمدتاً به این دلیل که شوری چنین آبی برای تولید گیاه بسیار بالا در نظر گرفته شده است، کمتر از همه مورد استفاده واقع شده است. شورزیست‌ها گیاهانی هستند که قادرند چرخه زندگی خود را در اراضی شور کامل کنند. حدود ۱۱/۱ درصد از فلور گیاهی جهان را شورزیست‌های مقاوم به شوری تشکیل می‌دهند. شورزیست‌ها را می‌توان به عنوان علوفه، چوب، گیاهان دارویی و روغنی، گیاهان پوششی و زینتی، زهکشی زیستی، زیست پالایی، به عنوان مواد شوینده، در رنگ‌رزی و دباغی، به عنوان بادشکن، تثبیت بوم‌نظام، تولید سوخت زیستی استفاده کرد. بنابراین گیاهان مقاوم به شوری نقش مهمی در توسعه کشاورزی شورزیست دارند. کشاورزی شورزیست موجب کاهش فشار بر منابع محدود آب شیرین می‌شود. آب‌های لب شور، آب زهکش و آب دریا را می‌توان برای تولید گیاهان سودمند مقاوم به شوری استفاده کرد (کافی و همکاران، ۱۳۹۰).

در بین گیاهان هالوفیت سالیکورنیا به منظور تولید روغن، علوفه دام و سبزی خوراکی با استفاده از آب دریا مورد توجه قرار گرفته است. سالیکورنیا گیاهی شورزی، آبدار و یکساله از خانواده Chenopodiaceae می‌باشد. رویشگاه طبیعی این گیاه نمک‌زارها، سواحل دریا، باتلاق‌ها و مرداب‌های شور اروپا، جنوب آسیا، شمال آمریکا و جنوب آفریقا است (Singh و همکاران، ۲۰۱۴). بذر سالیکورنیا دارای ۳۰ درصد روغن و ۳۵ درصد پروتئین و کمتر از ۳

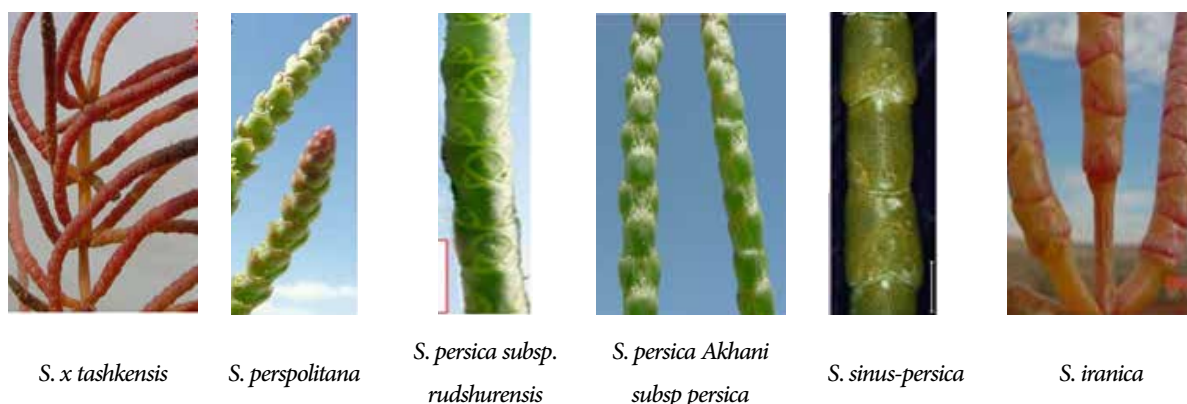
گیاه‌شناسی

سالیکورنیا از خانواده کنوبودیاسه^۲ و طایفه Salicornioideae است. جنین در دانه حلقوی و یا نعل اسبی است و گل‌ها کامل، گل آذین سنبله و ساقه بند بند و مفصل‌دار است. جنس‌های مختلف طایفه سالیکورنیا از نظر میزان فرورفتگی گل در ضخامت محور گل آذین و میزان آلبومین دانه، کرکدار یا بدون کرک بودن دانه، یکساله و چند ساله بودن متمایز از هم می‌باشند. سالیکورنیا بیگلوی (*S. bigelovii*) در نواحی ساحلی آمریکای شمالی و مرکزی رشد می‌کند. بذر این گیاه در طبیعت در شهریور ماه ریزش می‌یابد و تا فروردین در مرحله گیاهچه‌ای باقی می‌ماند. با گرم شدن هوا شروع به رشد می‌کند و ساقه گل دهنده در خرداد ظاهر می‌شود. این گونه دارای مسیر فتوسنتزی C4 می‌باشد (Weeks, ۱۹۸۶). بذر این گیاه بدون پوشینه و سیاه رنگ است (شکل ۱).

وزن تقریبی دانه‌های تولید شده در گیاه حدود یک میلی گرم بوده و دانه‌ها می‌توانند به طور مستقیم با آب دریا جوانه بزنند ولی

مطالعات شناسایی سالیکورنیا در ایران نشان داد که گونه سالیکورنیا ایران با *S. europaea* متفاوت است (Akhami, ۲۰۰۳). شش گونه سالیکورنیا در مرکز و جنوب ایران شناسایی شده‌اند (Akhami, ۲۰۰۸) (شکل ۲). برخی خصوصیات مهم این گونه‌ها در جدول (۱) آمده است. بیشتر گونه‌های *S. iranica* که قادرند شرایط خشک را تحمل کنند در مرکز ایران پراکنده شده‌اند و گونه *S. persica* که شرایط باتلاقی و بسیار شور را نیاز دارد در جنوب و مرکز پراکنده شده است. مسیر فتوسنتزی گونه‌های سالیکورنیا ایران C3 می‌باشد. از آنجایی که شناسایی گونه‌ها با نمونه خشک

امکان‌پذیر نیست، عکس‌های رنگی بهترین کلید شناسایی این گونه‌ها می‌باشد (Akhami, ۲۰۰۸) (شکل ۲). با توجه به تنوعی که در سالیکورنیا ایران موجود است می‌توان برای شرایط اقلیمی مختلف و مصارف مختلف از گونه مناسب برای بهره‌برداری از منابع آب شور استفاده کرد. از آنجایی که تشخیص اختلاف ظاهری بین گونه‌های مختلف و اختلاط آنها در مزرعه بذری ضروری است خصوصیات مورفولوژیک و فنولوژیک آنها باید در یک محیط یکسان بررسی شود. این کار در مزرعه تحقیقات شوری صدوق یزد نیز انجام شده است.



شکل ۲- تنوع موجود در سالیکورنیاهای ایران (Akhami, ۲۰۰۸)

جدول ۱- برخی خصوصیات گونه‌های سالیکورنیا ایران (Akhami, ۲۰۰۸)

گونه	ارتفاع (cm)	خصوصیات مهم
<i>S. iranica</i>	۲۰-۶۰	گونه تتراپلوئید است. بیشتر در مرکز (زاینده رود) و جنوب ایران مشاهده می‌شود و همراه با <i>S. persica</i> می‌باشند. نسبت به سایر گونه‌ها شرایط خشک را می‌پسندد. دارای فرم ایستاده است.
<i>S. sinus-persica</i>	۲۵-۵۵	گونه دیپلوئید، یکساله و به ندرت دوساله است. بیشتر در خوزستان، بوشهر (برازجان به سمت کنار تخته) و حاشیه خلیج فارس مشاهده می‌شود. این گیاه در سایه درخت تماریکس، در حاشیه رودخانه لب شور در بوشهر، در نواحی ساحلی خلیج فارس و عسلویه و همچنین همراه با <i>Juncus rigidus</i> مشاهده می‌شود.
<i>S. persica Akhami subsp. persica</i>	۶۰-۱۰۰	این گیاه دارای کنوبی حدود ۸۰ سانتی‌متر می‌باشد. در کنوبی بسته گیاه بصورت ایستاده و در صورتی که تک بوته باشد ساقه خمیده می‌شود. این گونه نسبت به بقیه شرایط بسیار شور و باتلاقی را می‌تواند تحمل کند. بیشتر در استان‌های اصفهان، فارس و یزد مشاهده می‌شود.
<i>S. persica subsp. rudshurensis</i>	پرشاخه و فرم خمیده	این گونه پرشاخه با فرم رشد خمیده و دارای سنبله‌های ظریف است. این گونه بیشتر در استان تهران یافت می‌شود.
<i>S. perspolitana</i>	کاملاً خوابیده	یکساله و بطور کامل خوابیده بر روی زمین و دارای قطر ۵۰-۶۰ سانتی‌متر، ساقه‌ها حتی در مراحل اولیه رشد نیز خمیده می‌شوند. این گونه قادر است در خاک‌های بسیار شور اطراف دریاچه شور بختگان و تشک در استان فارس رشد کند. این گیاه در بین گونه‌های سالیکورنیا در زمان گلدهی بسیار منحصر به فرد است. به دلیل از بین رفتن زیستگاه این گیاه و چرای بیش از حد، این گونه در معرض خطر انقراض می‌باشد. این گونه در بین جمعیت‌های <i>S. iranica</i> و <i>S. persica</i> مشاهده می‌شود و به نظر می‌رسد از هیبریداسیون بین این دو گونه ایجاد شده باشد و بدلیل تریپلوئید بودن بیشتر بذور قوه نامیه ندارند.
<i>S. x tashkensis</i>	۳۰-۷۰	دریاچه تشک و در خاک‌های بسیار شور مشاهده می‌شود.

• کیفیت دانه و مصارف سالیکورنیا

درصد روغن و پروتئین سالیکورنیا و سایر شوزریست‌ها قابل مقایسه با گیاهان زراعی روغنی می‌باشد. کیفیت روغن سالیکورنیا مشابه با گلرنگ است. سالیکورنیا برای مصارف مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ به عنوان سبزی هنگامی که سبز برداشت می‌شود، استخراج روغن برای مصرف خوراکی، سوخت زیستی و مصارف آرایشی، استفاده از کاه در تغذیه دام و استفاده از بذور در تغذیه طیور. Abouheif و همکاران (۲۰۰۰) در رژیم غذایی برای بزه‌های جوان و قوچ از ساقه سالیکورنیا به میزان ۳۰٪ از کل علوفه و ۵۰ تا ۶۰٪ از علوفه حجیم استفاده کردند

عملیات زراعی مناسب تکثیر بذر سالیکورنیا

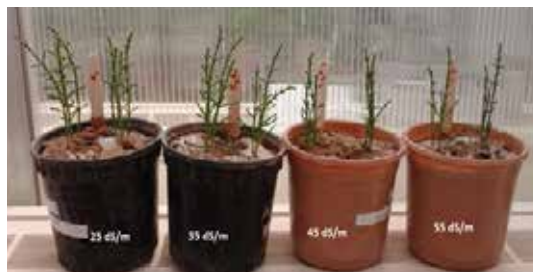
- نحوه تهیه نشا

برای تهیه نشا از سینی نشا و بستر ضایعات ریشه شیرین بیان (یا کوکوپیت)، پرلیت و ورمی کمپوست با نسبت ۶۵، ۱۵ و ۲۰ درصد استفاده شود و بعد از خیس کردن بستر سینی‌ها پر و بذر روی سینی‌ها ریخته (میزان بذر مصرفی به قوه نامیه بذور بستگی دارد) و یک لایه نازک از بستر خشک روی بذور پوشانده شده و بعد از کشت آبیاری شروع شود. سیستم مه پاش در گلخانه به سبزیکنواخت و سریع و جلوگیری از خشک شدن سطح بستر کمک زیادی می‌کند. دمای مناسب گلخانه برای رشد نشاها بین ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد است. بذور بسته به قوه نامیه‌شان، حداقل بعد از یک هفته سبز می‌شوند. بعد از اینکه گیاهچه مستقر شد هفته‌ای دوبار محلول غذایی ۲۰۰ ppm حاوی کود ۲۰-۲۰-۲۰ و ۱۵ ppm عناصر میکرو برای رشد بهتر نشاها استفاده شود. برای جلوگیری از گلدهی نشاها در گلخانه باید طول روز لازم تأمین گردد. بذور سالیکورنیا پرسیکا در طول روز ۱۲ ساعت و بیگلولی در طول روز ۱۳ تا ۱۴ ساعت بسته به مبدأ رویش به گل می‌روند. این طول روز برای سالیکورنیا عرض‌های شمالی طولانی‌تر است و واکنش این گیاه به طول روز بصورت کمی بوده و در طول روز مشخص گلدهی آغاز می‌شود. نشانه مهم شروع گلدهی کوتاه شدن طول میانگره انتهایی می‌باشد. در صورتی که طول روز به طور مصنوعی در گلخانه تأمین می‌شود باید حداقل ۱۳/۵-۱۵ ساعت طول روز را برای جلوگیری از گلدهی تأمین کرد. با توجه به اینکه این زمان برای گونه‌های مختلف متفاوت است، برای اطمینان از عدم گلدهی طول روز ۱۵ ساعت مناسب است (Ventura و همکاران، ۲۰۱۱). زمان انتقال به مزرعه را باید طوری تنظیم کرد که در طول روز مناسب گلدهی قرار نگیرد. نشاها بعد از ۴۰ روز آماده انتقال به مزرعه می‌باشند. به منظور کشت نشایی در استان یزد بذور گونه پرسیکا و بیگلولی در ۲۵ اسفند زمانی که طول روز ۱۲ ساعت بود کشت شدند و زمان انتقال نشا (۵ اردیبهشت) طول روز به ۱۳ ساعت رسید. کشت مستقیم بذر سالیکورنیا ۱۵ اسفند انجام شد. گونه پرسیکا کشت شده در مزرعه مرکز ملی تحقیقات شوری گونه *S. persica Akhani subsp persica* بود.

و بیان داشتند که بر میزان تولید آنها تأثیر سوء نداشته است. بذور سالیکورنیا جایگزینی مناسب برای ذرت و سویا در جیره جوجه‌ها و در جیره غذایی ماهی‌ها می‌باشد (Masters و همکاران، ۲۰۰۷). در مرغ‌هایی که با سویا در جیره غذایی تغذیه شده بودند و آنهایی که با سالیکورنیا تغذیه شده بودند اختلاف معنی‌داری در میزان افزایش وزن آنها وجود نداشت. در صورتی که میزان سالیکورنیا در جیره به ۱۰٪ افزایش یابد میزان رشد به دلیل وجود ساپونین محدود می‌شود. اضافه کردن ۱٪ کلسترول به جیره غذایی موجب کاهش اثر ساپونین می‌شود (Glenn و همکاران، ۱۹۹۹).

- نحوه انتقال نشا

به منظور انتقال نشا به مزرعه، کرت‌ها بصورت جوی و پشته آماده و آبیاری اولیه انجام شده و بوته در داغ آب کشت می‌شود. کشت در پایین‌تر و یا بالاتر از داغ آب موجب از بین رفتن نشا می‌گردد. فاصله خطوط ۳۰ و فاصله بوته ۲۰ سانتی متر مناسب است. برای مزارع تکثیر بذری بهتر است فاصله بوته‌ها بیشتر در نظر گرفته شود تا همزمانی رسیدگی افزایش یابد؛ بویژه در گونه پرسیکا به دلیل فرم خوابیده در انتهای فصل رشد تراکم بالا موجب عدم رسیدگی در سنبله‌های زیرین و ریزش سنبله‌های بالایی می‌گردد. در صورتی که نشاهای مناسبی تهیه شده باشد می‌توان مستقیم با آب شور تا ۵۵ dS/m آبیاری کرد (شکل ۳). بعد از انتقال بسته به دمای هوای روزانه هر روز یا یک روز در میان آبیاری انجام می‌شود تا زمانی که نشا شروع به رشد کند. برای مزارع بذری سالیکورنیا شوری آب ۲۵-۱۵ dS/m توصیه می‌شود.



شکل ۳- انتقال نشاهای سالیکورنیا بیگلولی به شوری ۲۵ تا ۵۵ دسی زیمنس بر متر (ترکیب آب خلیج فارس) (یک ماه بعد از انتقال)

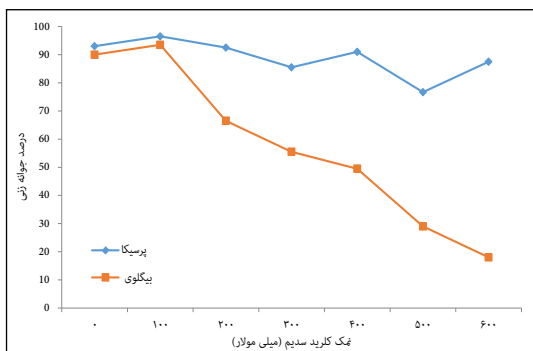
در گونه بیگلولی افزایش شوری آب آبیاری تا شوری ۴۵ dS/m باعث کاهش ارتفاع و وزن خشک گیاه شده و در گونه پرسیکا افزایش شوری آب آبیاری در ارتفاع بوته اثر نداشته ولی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک شده است (شکل ۴). سازگاری نشا به شوری قبل از انتقال نسبت به حالت بدون سازگاری بر ارتفاع و وزن خشک اثر مثبت نداشته است تا جاییکه سازگاری با آب شور ۱۰ دسی زیمنس بر متر موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته و وزن خشک با افزایش شوری آب آبیاری شده است. البته در صورت سازگاری با شوری ۲۵ dS/m

نگه داشته شود. به منظور جلوگیری از حمله حشرات لازم است از طعمه مسموم تهیه شده با سم سون استفاده شود. به منظور رسیدن به تراکم مناسب در هر هکتار ۱۰ کیلوگرم بذر با قوه نامیه بالای ۹۰ درصد نیاز است. از آنجایی که با افزایش شوری میزان جوانه زنی و سبز شدن کاهش می‌یابد، به ازای افزایش هر واحد شوری باید بذر بیشتری استفاده شود.

- واکنش جوانه زنی سالیکورنیا به سطوح مختلف شوری

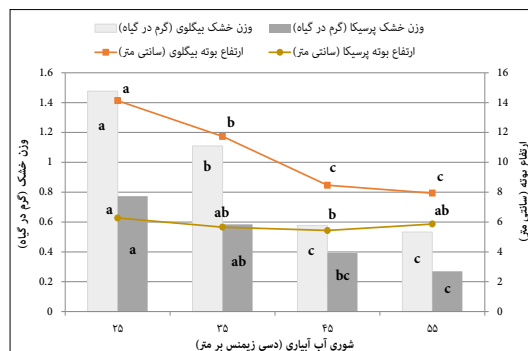
به منظور بررسی واکنش جوانه زنی بذور تولیدی آزمایشی در مرکز ملی تحقیقات شوری و در شرایط کنترل شده انجام شد. نتایج نشان داد که جوانه زنی بذور تولید شده با روش استاندارد (کشت روی کاغذ صافی و دمای ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد) و بدون هیچ پیش تیماری، در طول ۱۵ روز قوه نامیه بالای ۹۰ درصد داشتند. گونه پرسیکا تحمل بیشتری به شوری در مرحله جوانه زنی نشان داد. بعد از شوری ds/m ۱۰، جوانه زنی به ازای افزایش هر واحد شوری در گونه پرسیکا و بیگلوی به ترتیب با شیب ۲ و ۱۳ درصد کاهش یافت. در شوری ۵۰۰ میلی مولار (ds/m ۵۰) حدود ۳۰ درصد بذور گونه بیگلوی و ۹۰ درصد گونه پرسیکا جوانه زدند. گونه پرسیکا نسبت به بیگلوی درصد و سرعت جوانه زنی بیشتری در شرایط شور داشت (شکل ۶).

در جدول (۲) تأثیر شوری بر جوانه زنی سایر گونه‌های سالیکورنیا و تأثیر آن بر شاخص‌های جوانه زنی براساس مطالعات صالحی و همکاران (۱۳۹۵) ارائه شده است. بررسی اثر شوری بر توده‌های مختلف سالیکورنیا نشان داد که توده یروپین و پرسیکا قادرند تا شوری ۶۰۰ میلی‌مولار بیش از ۸۰ درصد جوانه زنی داشته باشند (جدول ۲). در حالی که در توده بیگلوی و بوشهر جوانه زنی بعد از شوری ds/m ۱۰ کاهش یافت و در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار کمتر از ۱۰ درصد بذور جوانه زدند. بذور دو توده ارومیه و گلستان قوه نامیه پایینی داشتند و تنها ۴۰ درصد بذور با آب شیرین جوانه زدند. در شوری ۶۰۰ میلی‌مولار جوانه زنی توده‌های بوشهر، ارومیه، گلستان، یروپین، پرسیکا و بیگلوی به ترتیب ۹۰، ۹۴، ۳۰، ۱۰ و ۸۰ درصد کاهش یافت (صالحی و همکاران، ۱۳۹۵).

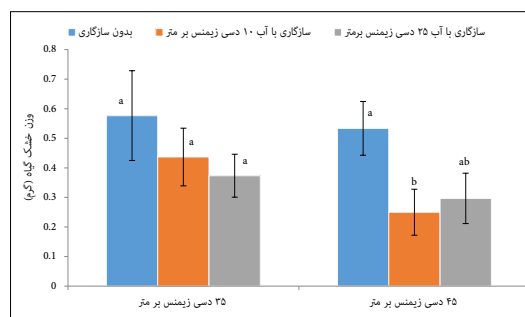


شکل ۶- واکنش جوانه زنی بذور دو گونه سالیکورنیا (تولید شده در مرکز ملی تحقیقات شوری) به شوری کلرید سدیم (میلی مولار)

قبل از انتقال نشاء، ارتفاع بوته بعد از انتقال با آبیاری با آب شور $45 ds/m$ نسبت به آب $35 ds/m$ افزایش یافته است ولی اختلاف با بدون سازگاری معنی‌دار نبوده است (شکل ۵). معنی‌داری در هر سطح شوری آب آبیاری به روش برش دهی فیزیکی در برنامه SAS انجام شده است.



شکل ۴- تأثیر شوری آب آبیاری یک ماه بعد از انتقال نشاء بر ارتفاع (سانتی متر) و وزن خشک بوته (گرم) در دو گونه سالیکورنیا



شکل ۵- تأثیر سازگاری نشاء بیگلوی با آب شور قبل از انتقال به مزرعه بر وزن خشک و ارتفاع گیاه بعد از یک ماه آبیاری با آب شور در مزرعه

- کشت مستقیم بذر در مزرعه

به منظور کشت مستقیم بذور در خاک، بعد از آماده سازی خاک و تسطیح مناسب، کرت‌ها آبیاری شده تا سطح خاک سفت شود. سپس خطی به عمق یک سانتیمتر کشیده و بذر را بصورت خطی ریخته و روی آن با کود دامی پودر شده و یا ماسه بادی پوشانده می‌شود. استقرار کامل گونه پرسیکا حدود ۱۰ روز و بیگلوی ۲۰ روز با آب شور ds/m ۱۵ طول می‌کشد. بهترین تاریخ کاشت بذر در استان یزد اواسط اسفند ماه می‌باشد. تا زمان استقرار کامل گیاه باید سطح خاک مرطوب

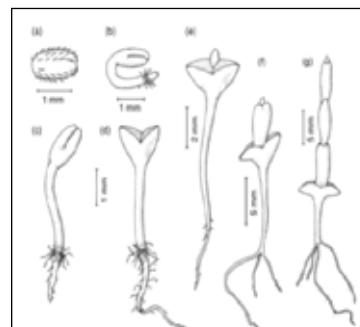
جدول ۲- اثر متقابل شوری کلرید سدیم (میلی مولار) و توده‌های مختلف سالیکورنیا بر درصد جوانه‌زنی (حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌ها است) (صالحی و همکاران، ۱۳۹۵)

توده	شوری (میلی‌مولار کلرید سدیم)					
	۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰
بوشهر	۹۴ a	۸۱b	۸۵b	۷۵ b	۴۳b	۴۰ b
ارومیه	۴۹ b	۴۹c	۳۱d	۴۱ c	۳۱b	۱۴ c
گلستان	۴۴ b	۳۳c	۴۴d	۴۷ c	۴۰b	۴۱ b
پروین	۹۹ a	۱۰۰a	۱۰۰a	۱۰۰ a	۹۶a	۹۰ a
پسیکا	۹۳ a	۹۶ab	۹۲ab	۸۵ ab	۹۱a	۷۵ a
بیگلوی	۹۰ a	۹۳ab	۶۶c	۵۵ c	۴۹b	۲۹ b
						۶۰۰
						۱۰ de
						۳ e
						۳۱ c
						۱۰۰ a
						۸۷ b
						۱۸ d

آشنایی با مراحل رشدی سالیکورنیا

آشنایی با مراحل فنولوژیک گیاه برای سبزشدن و استقرار مناسب، تأمین نیازهای گیاه و در نهایت تولید عملکرد اقتصادی بسیار مهم می‌باشد.

- مرحله گیاهچه‌ای: جوانه زنی و رشد اولیه سالیکورنیا در مزرعه بویژه گونه بیگلوی، بسیار کند است. در حدود ۲۰ روز تا یک ماه وقت لازم است تا گیاه به خوبی مستقر شود. شکل (۷) مراحل جوانه زنی و شروع رشد اولیه را به خوبی به تصویر کشیده است (Davy و همکاران، ۲۰۰۱).



شکل ۷- مرحله جوانه زنی و رشد گیاهچه سالیکورنیا (Davy و همکاران، ۲۰۰۱)

- مرحله شاخه‌دهی: بعد از مستقر شدن گیاه تولید شاخه‌های جانبی آغاز می‌شود و وارد فاز رشدی سریع می‌گردد. با وارد شدن گیاه به این مرحله باید نیاز کودی گیاه تأمین شود (شکل ۸).



شکل ۸- مرحله شاخه‌دهی سالیکورنیا

- شروع مرحله زایشی و تشکیل سنبله: با کوتاه شدن میانگره‌های انتهایی، گیاه وارد مرحله زایشی می‌شود (شکل ۹). ورود به این مرحله در سالیکورنیا به طول روز بستگی دارد؛ البته این حساسیت در گونه‌های مختلف بسیار متفاوت است. مرحله زایشی چهار فاز دارد که فاز یک مرحله زایشی کوتاه شدن میانگره‌ها، فاز دوم تشکیل مادگی، فاز سوم تشکیل گرده (خروج گرده از سنبله) و فاز چهارم تشکیل بذرمی‌باشد.



شکل ۹- شروع فاز زایشی سالیکورنیا

- مرحله گرده‌افشانی: با ظهور گرده در سنبله‌های بارور، گیاه وارد مرحله گرده‌افشانی شده است. در این مرحله نیز باید کود و آب مورد نیاز گیاه تأمین شود. گرده‌افشانی گونه‌های بیگلوی در استان یزد در طول روز ۱۴-۱۳/۵ ساعت، گونه *S. persica Akhani subsp persica* در طول روز ۱۲/۵ ساعت و گونه *S. sinus-persica* در طول روز ۱۲ ساعت اتفاق افتاد، که نشان‌دهنده تفاوت در واکنش به طول روز گونه‌ها می‌باشد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- مرحله گرده‌افشانی سالیکورنیا

- **مرحله تشکیل دانه:** معمولاً همزمان با گرده افشانی تشکیل دانه نیز آغاز می‌شود. ممکن است در یک بوته هم گرده افشانی و هم تشکیل دانه مشاهده شود. در این مرحله کوددهی قطع می‌شود ولی آبیاری ادامه می‌یابد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- تشکیل دانه سالیکورنیا

- **شروع تغییر رنگ برگ:** شروع تغییر رنگ در هر دو گونه در اواسط مهر تا آبان بسته به گونه مشاهده می‌شود. رنگ بوته‌های گونه پرسیکا زرد شد ولی در گونه بیگلوی ابتدا بوته‌ها قرمز و سپس زرد شدند؛ البته این تغییر رنگ در تمامی بوته‌ها یکسان نبود (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- شروع تغییر رنگ بوته دو گونه سالیکورنیا بیگلوی (a) و پرسیکا (b)

رسیدگی فیزیولوژیک موجب بهبود همزمانی رسیدگی گردیده ولی بر قوه نامیه بذور تولیدی تأثیر نداشت (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- رسیدگی فیزیولوژیک دو گونه سالیکورنیا بیگلوی (a) و پرسیکا (b)

• میزان تحمل به تنش سرما

سالیکورنیا مناسب فصل گرم است و دمای زیر صفر را نمی‌تواند تحمل کند. در تاریخ کاشت تأخیری در مزارع تحقیقاتی صدوق یزد دمای ۴/۵- درجه سانتی‌گراد در طول شب موجب تنش یخ زدگی در سالیکورنیا شد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- یخ زدگی سالیکورنیا - مزرعه تحقیقات شوری صدوق یزد

• آفات و بیماری‌ها

مهمترین آفت که در مزرعه مشاهده شد آبدوزک بود که با طعمه مسموم قابل کنترل است. همزمان با خشبی شدن نوعی موریه نیز به ریشه گیاه خسارت وارد نمود و آثار خسارت با خشکیدگی اندام هوایی ظاهر شد. قارچ عامل بیماری *Botrytis cinerea* نیز در مکزیگ گزارش شده است (Rueda Puente و همکاران، ۲۰۱۴) ولی در یزد بیماری مشاهده نشد.

- **رسیدگی فیزیولوژیک:** با قهوه‌ای شدن بوته‌ها رسیدگی فیزیولوژیک اتفاق می‌افتد. بهتر است برداشت سالیکورنیا پرسیکا زودتر انجام شود زیرا بذور رسیده شدیداً ریزش دارد. به منظور بهبود همزمانی رسیدگی از سم پاراکوات استفاده شد. استفاده از این سم در مرحله

• نیاز آبی و آبشویی

یکی از مهمترین موانع توسعه کشت این گیاه نیاز آبی بالای آن است. عمق توسعه ریشه تا ۳۵ سانتی متر می باشد ولی بیشترین تراکم ریشه گونه بیگلوی در عمق ۷/۵ سانتی متری است و ریشه های عمق ۳۵ سانتی متری بسیار باریک هستند (۱۹۸۶، Weeks). به همین دلیل گیاه نیاز دارد تا رطوبت سطح خاک در حد ظرفیت زراعی حفظ شود. در خاک شنی عملکرد اپتیمم از آبیاری روزانه بدست می آید (Glenn و همکاران، ۱۹۹۱). حداکثر تراکم ریشه گونه پرسیکا *S. persica* *Akhani subsp persica* بیشتر از گونه بیگویی بود.

Glenn و همکاران (۱۹۹۱ و ۱۹۹۷) در زمینه نیاز آبی سالیکورنیا آزمایشاتی را انجام دادند که نتایج آنها نشان داد ۳ متر آب در طول چرخه رشد گیاه و برای کنترل شوری و تولید بهینه کافی است. این مقدار آب برابر با ۱۸۰ درصد تبخیر و تعرق از تشتک تبخیر می باشد. از این مقدار آب ۲ متر برای تبخیر و تعرق و یک متر برای نیاز آبشویی استفاده شده است. آبیاری بیش از حد موجب افزایش هزینه پمپاژ آب و ایجاد حجم بالایی از آب زهکش و شسته شدن عناصر غذایی می گردد. روش های مختلفی برای کاهش نیاز آبی گیاه می توان استفاده کرد که با آن بتوان رطوبت خاک را در حد ظرفیت زراعی نگه داشت؛ مانند آبیاری قطره ای و یا سامانه دوار مرکزی، رشد گیاه در خاک های سنگین تر و با قابلیت نگهداری آب بیشتر و استفاده از آب های لب شور به منظور کاهش نیاز آبشویی گیاه، کشت گیاه در ماه های خنک تر و استفاده از پساب مزارع میگو (Glenn و همکاران، ۱۹۹۵). البته در سیستم های آبیاری تحت فشار نیاز آبشویی گیاه باید تأمین شود. در طول دوره رشد گیاه بعد از انتقال نشا در استان یزد میزان تبخیر از تشتک تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک گیاه ۲۱۳۶ میلی متر است که با در نظر گرفتن نیاز آبی ۱۸۰ درصد تبخیر (که در منابع ذکر شده است) و ۲۰ درصد نیاز آبشویی، سالیکورنیا ۴۶۱۳ میلی متر آب برای رسیدن به حداکثر تولید نیاز دارد. در صورت آبیاری با آب دریا لازم است تا نیاز آبشویی به ۳۰ درصد افزایش یابد.

• نیاز کودی

این گیاه به کودهای منبع آمونیومی و نیتراتی واکنش متفاوتی نشان می دهد (Kudo و Fujiyama، ۲۰۱۰) و توصیه می شود از کودهای نیترات آمونیوم و یا سولفات آمونیوم استفاده شود. معمولاً کوددهی ۳۰ روز بعد از نشاکاری آغاز می شود. Shahid و همکاران (۲۰۱۳) روزانه ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود کامل استفاده کردند. در مزرعه تکثیری هر هفته یکبار ۵۰ کیلوگرم کود نیترات آمونیوم و یا سولفات آمونیوم استفاده شد. میزان کود مصرفی به مرحله رشدی و گونه بستگی دارد.

• میزان تولید

میزان تولید دانه سالیکورنیا بیگلوی برای اولین بار در سال ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۸ در مکزیک با آب دریا بین ۱/۳ تا ۲/۴ تن در هکتار (با متوسط ۲ تن در هکتار) گزارش شد که مشابه با تولید دانه سویا در شرایط غیر شور بوده و کیفیت روغن تولیدی نیز مشابه با گلرنگ بود (Glenn و همکاران، ۱۹۹۱). عملکرد سالیکورنیا بیگلوی و سالیکورنیا پرسیکا در مزرعه تکثیری مرکز ملی تحقیقات شوری که با آب $ds/m15$ آبیاری شده بودند، در دوره رشد ۲۱۵ روز به ترتیب ۱/۹ و ۱/۵ تن در هکتار بدست آمد. در طول دوره رشد ۱۴۰ روز بعد از کاشت میزان زیست توده ی تر گونه پرسیکا *S. persica* *Akhani subsp persica* و بیگلوی با آب $ds/m15$ به ترتیب ۳۲ و ۱۵ تن در هکتار بود که حدود ۱۰ درصد آن را ماده خشک تشکیل می دهد. Glenn و همکاران (۱۹۹۹) میزان تولید زیست توده گونه بیگلوی آبیاری شده با آب دریا را در دوره رشد ۲۰۰ روز، ۱۲/۷ تا ۲۴/۶ تن در هکتار گزارش نمودند (جدول ۳). البته عملکرد گزارش شده در نقاط مختلف دنیا تحت تأثیر اقلیم، گونه، منبع آب شور و تاریخ کاشت است. مهمترین مشکل برداشت مکانیزه سالیکورنیا ریزش بذور می باشد و میزان زیادی از بذور در حین برداشت از دست می رود.

جدول ۳- میزان تولید زیست توده و بذر سالیکورنیا در نقاط مختلف دنیا

کشور	گونه	منبع آب شور	عملکرد دانه (تن در هکتار)	زیست توده (تن ماده ی تر در هکتار)	تاریخ کاشت	منبع
مکزیک	<i>S. bigelovii</i>	آب دریا	۱/۳-۲/۴	۱۲/۷-۲۴/۶ (۲۰۰ روز بعد از کشت)	آذر	Glenn و همکاران، ۱۹۹۷
یزد	<i>S. bigelovii</i>	آب زیرزمینی	۱/۹	۱۵ (۱۴۰ روز بعد از کشت)	۲۰-۵ اسفند	صالحی و همکاران (اطلاعات منتشر نشده)
	<i>S. Akhani persica</i>	(۱۴-۱۷ ds/m)	۱/۵	۳۲ (۱۴۰ روز بعد از کشت)		
دبی	<i>S. bigelovii</i>	آب دریا	۱/۵	-	۲۴-۱۰ مهر	Lyra و همکاران، ۲۰۱۶
		آب زیرزمینی (۲۵ ds/m)	۲	-		

مکزیک از سال ۲۰۰۵ کشاورزی با آب دریا را آغاز کرده است. این پروژه به منظور حل مشکل آلودگی زیست محیطی حاصل از پرورش میگو در مکزیک در سطح ۳۰۰ هکتار کشت درختان حرا و سالیکورنیا اجرا شد. حوضچه‌های پرورش میگو در دنیا ۱/۲ میلیون هکتار است و به سرعت در حال افزایش می‌باشد. در سونارا در منطقه نزدیک به ساحل ۱۵۰۰ هکتار مزرعه میگو وجود دارد. ایجاد مزارع سالیکورنیا و حرا موجب کاهش اثرات زیست محیطی پرورش میگو شد.

اجرای پروژه استفاده از آب دریا در اریتره موجب اشتغال ۸۰۰ نفر، ۱۰۰ هکتار کشت سالیکورنیا و ۱۰۰ هکتار کشت جنگل حرا و ۶۰ هکتار تالاب (که زیستگاه مناسب برای ۲۰۰ گونه جدید ایجاد کرد) شد. هر هفته یک تن میگو به کشورهای اروپا و خاورمیانه صادر شده و همچنین موجب جلوگیری از بازگشت آب حاوی مواد غذایی به دریا و اثرات زیست محیطی آن شد. کشاورزان با پساب حاصل از

جمع‌بندی و پیشنهادات

با توجه به کلیه محاسن این گیاه برای وارد شدن به چرخه تولید با آب‌های بسیار شور نیاز است تا به برخی از مشکلات مربوط به توسعه کشت آن نیز توجه شده و راهکاری اندیشیده شود.

۱- مهمترین مانع نیاز آبی و آبشویی بالای سالیکورنیاست که موجب شسته شدن فسفات و نیترات و افزایش جمعیت جلبک در سواحل می‌شود (Yu و Bailis, ۲۰۱۲) از طرفی هزینه پمپاژ نیز افزایش می‌یابد. بنابراین سیستم آبیاری و زهکشی مناسب برای کاهش اثرات زیست محیطی باید بکار رود. باید به منظور کاهش اثرات زیست محیطی توسعه کشت سالیکورنیا در چرخه شورورزی مدنظر قرار گیرد و به منظور جلوگیری از اثرات زیست محیطی، زهکش مزارع سالیکورنیا برای تولید سایر محصولات زنجیره شورورزی استفاده شوند.

۲- بذور بسیار ریز گیاه و عدم همزمانی رسیدگی بذور مانع دیگری برای برداشت مکانیزه است. در هنگام برداشت برخی بذور ریزش دارد و برخی بذور هنوز نارس هستند که این مشکل در سالیکورنیا پرسیکا بسیار بیشتر از بیگلوی بود. همین عامل موجب افزایش مشکلات برداشت مکانیزه گیاه در سطح وسیع می‌شود. نیاز است برروی ماشین آلات مناسب و به نژادی به منظور بهبود همزمانی رسیدگی گیاه کار شود.

۳- زمان گلدهی سالیکورنیا بیگلوی توسط فتوپریود کنترل می‌شود (Ventura و همکاران، ۲۰۱۱) و گرده افشانی نیز به دمای بالای ۵۰ درجه حساس می‌باشد. البته میزان حساسیت به فتوپریود در توده‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است (Sagi و Ventura).

حوضچه‌های پرورش میگو علوفه، سوخت، ماهی و نمک تولید نمودند. با کلیه محاسنی که در اینجا ذکر شد ولی این دو پروژه در اریتره و مکزیک متوقف گردید. در مکزیک به دلیل سیاست‌گذاری دولت و در اریتره علاوه بر سیاست دولت، آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از آبشویی نیترات پروژه موفق نبود (Yu و Bailis, ۲۰۱۲). در عربستان، صدها هکتار از اراضی ساحلی با استفاده از سامانه‌های دوار مرکزی به کشت سالیکورنیا اختصاص یافت؛ در حالی که این سامانه‌ها در مقابل شوری بسیار بالای آب دریا دچار آسیب دیدگی شدند. در بهترین شرایط، عملکرد سالیکورنیا ۲-۲/۵ تن در هکتار است. بدیهی است با این عملکرد، چنین سامانه‌های پرهزینه، حتی برای محصولات زراعی رایج و پرمصرفی مانند ذرت نیز مقرون به صرفه نیست (خورسندی و همکاران، ۱۳۸۹). به همین منظور قبل از شروع توسعه کشت این گیاه لازم است به هیدرولوژی محلی، عملیات آبیاری مناسب، پایداری زیست محیطی و مسائل اجتماعی و سیاسی توجه شود (Yu و Bailis, ۲۰۱۲).

۲۰۱۳). توده‌هایی که در عرض‌های بالا قرار دارند در طول روز طولانی‌تری وارد فاز گلدهی می‌شوند. بهترین راهکار برای حل این مشکل آزمون تاریخ کاشت برای گونه‌های مختلف می‌باشد. در بین دو گونه مورد بررسی گونه پرسیکا حساسیت بیشتری به فتوپریود داشت.

۴- بذور ریز سالیکورنیا باید بسیار سطحی کشت شوند تا بتوانند سبز یکنواختی داشته باشند؛ اما از مشکلات کشت سطحی جابه‌جا شدن بذور با آب، حمله مورچه و سایر حشرات و عدم یکنواختی سبز است. در صورتی که این گیاه به توسعه در سطح وسیع رسید باید بذور پوشش دار شده تولید شود و یا ماشین‌آلات مناسب کشت آن ساخته شود که بر روی بذور یک لایه نازک از کود دامی الک شده و یا ماسه بریزد و یا بذور با پوششی غیر از خاک پوشانده شوند تا سبز یکنواخت داشته باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاران مرکز ملی تحقیقات شوری آقایان حسن زارع، ولی سلطانی، علی‌اکبر زکی‌زاده و سید جلیل هاشمی نسب که در مراحل اجرایی کار همکاری نمودند قدردانی می‌گردد.

پی‌نوشت

- 1- Linoleic
- 2- Linolinic
- 3- chenopodiacea

- Glenn E.P., O'LEARY J.W., Watson M.C., Thompson T.L. and Kuehl R.O. 1991. *Salicornia bigelovii* Torr: an oilseed halophyte for seawater irrigation. *Science*, 251: 1065-1067.
- Kudo N. and Fujiyama H. 2010. Responses of halophyte *Salicornia bigelovii* to different forms of nitrogen source. *Pedosphere*, 20: 311-317.
- Masters D.G., Benes S.E. and Norman H.C. 2007. Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agriculture, ecosystems & environment*, 119: 234-248.
- Lyra D.A., Ismail Sh., Butt Kh.B. and Brown J. 2016. Evaluating the growth performance of eleven '*Salicornia bigelovii*' populations under full strength seawater irrigation using multivariate analyses. *Australian Journal of Crop Science*, 10(10): 1429.
- Rueda Puente E.O., Hernandez Montiel L.G., Holguin Peña J., Murillo Amador B. and Rivas Santoyo F.J. 2014. First Report of *Botrytis cinerea* Pers. on *Salicornia bigelovii* Torr. in North-West México. *Journal of Phytopathology*, 162: 513-515.
- Shahid M., Jaradat A.A. and Rao N.K. 2013. Use of Marginal Water for *Salicornia bigelovii* Torr. Planting in the United Arab Emirates. *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation*. Springer, 451-462.
- Singh D., Buhmann A.K., Flowers T.J., Seal C.E., Papenbrock J. 2014. *Salicornia* as a crop plant in temperate regions: Selection of genetically characterized ecotypes and optimization of their cultivation conditions. *AoB plants*, 6: plu071. 1-20.
- Stuchlík M., Zak S. 2002. Vegetable lipids as components of functional foods. *Biomedical papers-Palacky University in Olomouc*, 146: 3-10.
- Ventura Y., Sagi M. 2013. Halophyte crop cultivation: the case for *Salicornia* and *Sarcocornia*. *Environmental and Experimental Botany*, 92: 144-153.
- Ventura Y., Wuddineh W.A., Shpigel M., Samocha T.M., Klim B.C., Cohen S., Shemer Z., Santos R., Sagi M. 2011. Effects of day length on flowering and yield production of *Salicornia* and *Sarcocornia* species. *Scientia Horticulturae* 130: 510-516.
- Weeks J.R. 1986. The growth and water relations of a coastal halophyte, *Salicornia bigelovii*. Ph.D Dissertation of Arizona University.
- خوهرسندی، ف.، وزیر، ز. و عزیزی، ع.ا. ۱۳۸۹. شورورزی، استفاده پایدار از منابع آب و خاک شور در کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۳۲۰ ص.
- کافی، م.، صالحی، م. و عشقی زاده، ح.م. ۱۳۹۰. کشاورزی شورزیست: راهبردهای مدیریت گیاه، آب و خاک. دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۸۰ ص.
- صالحی، م.، ذاکر تولایی، ف. و عسگری، د. ۱۳۹۵. واکنش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه توده‌های مختلف سالیکورنیای بومی و غیربومی به تنش شوری. دومین کنگره بین‌المللی و چهاردهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. گیلان- رشت.
- Abouheif M., Al-Saiady M., Kraidees M., Eldin A.T. and Metwally H. 2000. Influence of inclusion of *salicornia* biomass in diets for rams on digestion and mineral balance. *Asian Australian Journal of Animal Science*, 13: 967-973.
- Akhani H. 2003. *Salicornia persica* Akhani (Chenopodiaceae), a remarkable new species from central Iran. *Linzer Biologische Beitrage* 35: 607-612.
- Akhani H. 2008. Taxonomic revision of the genus *Salicornia* L.(Chenopodiaceae) in Central and Southern Iran. *Pakistan Journal of Botany*, 40:1635-1655.
- Bailis R. and Yu E. 2012. Environmental and social implications of integrated seawater agriculture systems producing *Salicornia bigelovii* for biofuel. *Biofuels*, 3:555-574.
- Davy A.J., Bishop G.F. and Costa C.S.B. 2001. *Salicornia* L.(*Salicornia pusilla* J. Woods, *S. ramosissima* J. Woods, *S. europaea* L., *S. obscura* PW Ball & Tutin, *S. nitens* PW Ball & Tutin, *S. fragilis* PW Ball & Tutin and *S. dolichostachya* Moss). *Journal of Ecology*, 89: 681-707.
- Glenn E., Hicks N., Riley J. and Swingle S. 1995. Seawater irrigation of halophytes for animal feed. In R. Choukr-Alah, C. V. Malcolm & A. Hamdy (Eds.), *Halophytes and biosaline agriculture* (pp. 221-234). New York: Marcel Dekker Inc.
- Glenn E., Miyamoto S., Moore D., Brown J.J., Thompson T.L. and Brown P. 1997. Water requirements for cultivating *Salicornia bigelovii* Torr. with seawater on sand in a coastal desert environment. *Journal of Arid Environments*, 36: 711-730.
- Glenn E.P., Brown J.J. and Blumwald E. 1999. Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Critical reviews in plant sciences*, 18: 227-255.

A Review of Methods for Assessing Incipient Motion of Sediments and the Factors Affecting it

Sh. Esmailzade¹, K. Esmaili^{2*}

1,2- PhD student of Water Engineering- water structures & Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

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

Received: 20-04-2016

Accepted: 12-04-2017

مروری بر روش‌های ارائه شده در تعیین آستانه حرکت ذرات رسوب و عوامل موثر بر آن

شهرام اسماعیل‌زاده^۱، کاظم اسماعیلی^{۲*}

۱-۲ به ترتیب دانشجوی دکتری مهندسی آب-سازه های آبی و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۳

Abstract

In erodible channels, a series of hydrodynamic forces are applied on the sediments in the waterways. With the increasing flow rate, the hydrodynamic forces also increase gradually. If hydrodynamic forces go beyond the critical value, the sediment particles begin to move. The onset of the sediment movement is commonly called "Incipient Motion", and the circumstances in which the particles move is referred to as the "Threshold or Critical Condition". The Shields Diagram seems to be the starting point for all research done in the field of sediment transport. Although some efforts were made before the Shields approach, they were mostly based on empirical formulae and did not have much use in practical applications. Many studies were conducted by Shields and the resulting diagram provided by Shields was used widely in practical issues. In spite of the widespread application of Shields Diagram, some studies indicate limitations on its use. One of the problems in the Shields Diagram is that shear stress and shear velocity are considered as independent variables, while these two variables are dependent. Moreover, it does not explicitly specified which method is used to determine the critical shear stress. The effect of the bed slope on the incipient motion is still not clear and researchers have achieved quite different results in this regard.

Keywords: Shields Diagram, Incipient motion, Sediment, Erosion.

چکیده

در آبراهه‌های فرسایش‌پذیر مجموعه‌ای از نیروهای هیدرودینامیکی به ذرات رسوب موجود در بستر آبراهه وارد می‌شوند. با افزایش سرعت جریان، مقدار این نیروها نیز بتدریج افزایش می‌یابد. چنانچه نیروهای هیدرودینامیکی از یک مقدار بحرانی بیشتر شوند، ذرات رسوب شروع به حرکت می‌کنند. شروع حرکت ذرات رسوبی را اصطلاحاً آستانه حرکت^۱ و شرایطی که در آن ذرات در آستانه حرکت قرار می‌گیرند را شرایط آستانه یا بحرانی^۲ گویند. به نظر می‌رسد که نمودار شیلدز نقطه مرجع تمامی تحقیقات انجام شده در زمینه انتقال رسوب باشد. هرچند تلاش‌های اندکی نیز قبل از شیلدز صورت گرفته بود اما عمدتاً بر مبنای فرمول‌های تجربی بودند و قابلیت چندان در کاربردهای عملی نداشتند. مطالعات زیادی در ادامه تحقیقات شیلدز انجام شد و نمودار ارائه شده توسط شیلدز بطور وسیعی در مسائل عملی نیز بکار گرفته شد. علیرغم این کاربرد وسیع، برخی مطالعات حاکی از محدودیت‌هایی در استفاده از نمودار شیلدز است. به همین دلیل، مطالعات زیادی برای بهبود و اصلاح نمودار شیلدز توسط محققین مختلف صورت گرفت. از جمله مشکلات در نمودار شیلدز آن است که تنش برشی و سرعت برشی به صورت متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده‌اند در حالی که این دو متغیر مستقل نیستند و به یکدیگر وابسته‌اند یا اینکه به صراحت مشخص نکرده است که از کدام روش برای تعیین تنش برشی بحرانی استفاده کرده است. هنوز نمی‌توان راجع به اثر شیب بستر بر آستانه حرکت به قطعیت صحبت کرد و در این زمینه محققان نتایج کاملاً متفاوتی بدست آورده‌اند. در این تحقیق به بررسی جامعی از تحقیقات صورت گرفته در زمینه آستانه حرکت ذرات رسوبی با تأکید بر نمودار شیلدز و شناسایی محدودیت‌های آن پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: نمودار شیلدز، شروع حرکت ذرات، رسوب، فرسایش.

نیروی برکشنده بحرانی نبوده‌اند. از طرفی بایستی نقش نیروی رانش نیز در نظر گرفته شود.

سرعت بحرانی^۴ جریان آب که می‌تواند به دو صورت سرعت متوسط جریان و یا سرعت در نزدیکی کف تعریف شود، عبارت از مقدار سرعتی است که می‌تواند منجر به حرکت یک ذره با اندازه مشخص شود. با وجود تحقیقات زیاد انجام شده در زمینه سرعت بحرانی، انتقادات بسیاری به این روش وارد است. بطور مثال اغلب این تحقیقات به اندازه ذره و محل اندازه‌گیری سرعت کف اشاره‌ای نکرده‌اند و این سوال تاکنون توسط محققین پاسخ داده نشده است که چه ارتباط متقابلی بین سرعت متوسط بحرانی (U_m) و سرعت بحرانی در نزدیکی کف (u_m) وجود دارد؟ اینگونه سوالات باعث گردید تا محققین به دنبال پارامترهای مناسب‌تر از قبیل تنش برشی بستر برای تشخیص آستانه حرکت ذرات رسوبی باشند.

• تعریف آستانه حرکت

تعاریف مختلفی از سوی محققین برای آستانه حرکت ارائه شده است که آنها را می‌توان به چند دسته تقسیم‌بندی کرد (جدول ۱ تا ۴).

برخی محققین نظیر Einstein (۱۹۵۰)، Velikanov (۱۹۵۵)، Yalin (۱۹۶۳) و Ling (۱۹۹۵) نیروی برکشنده را تنها عامل شروع حرکت ذرات دانسته‌اند. هر چند که به نظر می‌رسد نیروی برکشنده نقش انکارناپذیری در شروع حرکت ذرات داشته باشد اما تاکنون درک مناسبی از چگونگی تاثیر نیروی برکشنده بر آستانه حرکت ذرات رسوبی حاصل نشده است و محدود کارهای آزمایشگاهی انجام شده قادر به ارائه روابط مناسب برای تعیین

جدول ۱- تعریف آستانه حرکت بر مبنای نرخ انتقال رسوب

محقق	تعریف ارائه شده	توضیحات
Shields (۱۹۳۶)	در آستانه حرکت نرخ انتقال رسوب برابر صفر است.	-
USWES (۱۹۳۵)	نیروی برشی باعث حرکت عمومی ^۲ ذرات بستر شود.	این اصل برای ذرات با اندازه کمتر از ۰/۶ میلی‌متر صادق نیست

جدول ۲- تعریف آستانه حرکت بر مبنای وضعیت ظاهری حرکت ذرات

محقق	تعریف ارائه شده	توضیحات
Kramer (۱۹۳۵)	آستانه حرکت مرحله‌ای است که در آن انتقال کلی انجام شود (مرحله چهارم).	کرامر چهار نوع مختلف از حرکت ذرات رسوب را مشاهده کرد: ۱- حالت بدون انتقال ^۵ ، ۲- انتقال ضعیف ^۶ ، ۳- انتقال متوسط ^۷ ، ۴- انتقال کلی ^۸
Vanoni (۱۹۶۴)	ذرات رسوبی در هر نقطه از بستر هر دو ثانیه یکبار حرکت کنند.	-

جدول ۳- تعریف آستانه حرکت بر مبنای نیروی برکشنده (Lift)

محقق	تعریف/رابطه ارائه شده	توضیحات
Jeffreys (۱۹۲۹)	$(3+\pi^2)U^2 > 9\Delta g r_1$	Jeffreys نیروی رانش (Drag Force) را در محاسبات خود منظور نکرده است. (r شعاع)
Einstein و El-Samni (۱۹۴۹)	$f_L = 0.5 C_L \rho u_{0.35d}^2$	C_L ضریب نیروی برکشنده، $u_{0.35d}$ سرعت جریان در فاصله ۰/۳۵ قطر ذره از کف
Aksoy (۱۹۷۳)	برای شرایط $R^* = 300$ نسبت نیروی برکشنده به رانش را برابر ۰/۱ اندازه‌گیری کرد.	R^* عدد رینولدز ذره
Bagnold (۱۹۷۴)	نسبت نیروی برکشنده به رانش را برای شرایط $R^* = 800$ برابر با ۰/۵ بدست آورد.	-
Samad و Davies (۱۹۷۸)	برای $R^* > 5$ چنانچه مقدار جریان از زیر ذره قابل توجه باشد، نیروی برکشنده منفی خواهد بود ولی برای $R^* < 5$ نیروی برکشنده مثبت است.	-
Brayshaw (۱۹۸۳)	به ازای $R^* = 0.2 \times 10^{-4}$ نسبت نیروی برکشنده به رانش را برابر ۱/۸ بدست آورد.	-

جدول ۴- تعریف آستانه حرکت بر مبنای سرعت بحرانی جریان $u_{cr}^2 / gd \approx 3.61(\tan \Phi \cos \theta - \sin \theta)$

محقق	تعریف/رابطه ارائه شده	توضیحات
Goncharov (۱۹۶۴)	$U_n = \log(8.8 h/d) \sqrt{(0.54 \Delta g d)}$	d قطر مشخصه ذرات بر حسب میلی متر، h عمق جریان، $\Delta = S-1$ و S چگالی نسبی ذرات رسوب
Carstens (۱۹۶۶)	$u_{cr}^2 / gd \approx 3.61(\tan \Phi \cos \theta - \sin \theta)$	u_{cr} سرعت بحرانی در نزدیکی کف
Yalin و Neill (۱۹۶۹)	$u_{cr}^2 / \Delta g d = 2(h/d)^{1/3}$	-
Yang (۱۹۷۳)	$\frac{U_c}{w_{ss}} = \frac{2.5}{\log R_* - 0.06} + 0.066$ for $0 < R_* < 70$ $\frac{U_c}{w_{ss}} = 2.05$ for $R_* \geq 70$	U_c سرعت برشی

تعریف آستانه حرکت بر مبنای تنش برشی

از این روابط تجربی، لزجت سیال (ν) را در نظر نگرفته اند. همچنین نتایجی که به ازای شرایط یکسان از این روابط بدست می آیند بسیار متفاوت هستند. این اختلاف ها می تواند ناشی از برداشت های متفاوت از آستانه حرکت از سوی محققین مختلف باشد. در هر حال، روابط تجربی ارائه شده می توانند تخمینی از آستانه حرکت ذرات را تعیین کنند اما به هیچ وجه برای کاربردهای عملی توصیه نمی شوند.

• معادلات تجربی تنش برشی برای تعیین آستانه حرکت تلاش های زیادی به صورت مطالعات آزمایشگاهی و میدانی برای ایجاد ارتباط بین تنش برشی بحرانی و آستانه حرکت ذرات انجام شده است. با نگاهی به روابط جدول (۵) می توان دریافت که هیچکدام

جدول ۵- نتایج تحقیقات محققین در ارتباط با تنش برشی بحرانی

محقق	تعریف/رابطه ارائه شده	توضیحات
Kramer (۱۹۳۵)	$\tau_c = 29 \sqrt{(\rho_s - \rho) g d / M}$	τ_c تنش برشی بحرانی بر حسب g/m^2
USWES (۱۹۳۵)	$\tau_c = 0.285 \sqrt{\Delta d / M}$	M ضریب یکنواختی کرامر
Leliavsky (۱۹۶۶)	$\tau_c = 166 d$	d قطر مشخصه ذرات بر حسب میلی متر

دست دوم موجود در کتاب های مرجع و مجلات استخراج گردیده اند. اعتبارسنجی این گزارش ها زمانی اهمیت بیشتری می یابد که به این مطلب پی برده شود که داده های آزمایشگاهی اصلی شیلدز در طی مباران هوایی جنگ جهانی دوم بطور کامل از بین رفته اند. برای بررسی کاستی های نمودار شیلدز بایستی شناخت جامعی از نحوه انجام آزمایش ها توسط شیلدز بدست آورد. در ادامه به بررسی برخی کاستی های نمودار شیلدز اشاره شده است:

۱. اولین مشکل در نمودار شیلدز آن است که تنش برشی و سرعت برشی به صورت متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده اند در حالی که این دو متغیر مستقل نیستند و به یکدیگر وابسته اند. بر این اساس محققین دیگر، سعی در برطرف نمودن این مشکل داشته اند.

۲. تحقیقات نشان داده است که به ازای $R^* < 70$ زیر لایه لزج هیچگونه تأثیری بر پروفیل سرعت ندارد؛ به عبارت دیگر با افزایش عدد رینولدز، شرایط جریان تغییر نمی کند. اما با نگاهی به نمودار شیلدز می توان این نکته را دریافت که به ازای $R^* < 70$ پارامتر شیلدز وابسته به عدد رینولدز است و این روند تا $R^* = 500$ هم مشاهده می شود.

• روش های نظری و شبه نظری تعیین تنش برشی بحرانی

- نمودار شیلدز

شیلدز نخستین محقق است که به بررسی تحلیلی آستانه حرکت ذرات رسوبی پرداخت. وی با برقراری تعادل بین نیروها و استفاده از اصل تشابه در وضعیت شروع حرکت ذره، در نهایت به رابطه ای بین پارامتر بحرانی شیلدز و عدد رینولدز به شکل زیر دست یافت:

$$\Theta_c = f(R^*) \quad (1)$$

- نقاط ضعف نمودار شیلدز

هر چند که از شیلدز به عنوان پیشرو در بحث آستانه حرکت نام برده می شود و شیلدز زمینه انجام تحقیقات گسترده تری را بعد از خود فراهم آورد، اما گزارش های ارائه شده توسط محققین پس از وی، مملو از برداشت های نادرست و خطاهای فاحش در نمودار شیلدز و نتایج مستخرج از آن می باشد. اگرچه علت این سردرگمی ها را نمی توان با قطعیت بیان کرد اما به نظر می رسد عدم دسترسی به داده های اصلی آزمایش های شیلدز یکی از مهمترین عوامل باشد. عمده اطلاعات ارائه شده در گزارش های سایر محققین از منابع

۳. به صراحت مشخص نکرده است که از کدام روش برای تعیین تنش برشی بحرانی استفاده کرده است.

۴. بیشترین احتمال این است که شیلدز از روش برون‌یابی تانرخ انتقال برابر صفر برای تعیین تنش برشی بحرانی استفاده کرده است که تنها به ازای شرایط آب ساکن، نرخ انتقال برابر صفر را بدست می‌دهند.

۵. هرچند شیلدز تصحیحات مربوط به زبری دیواره را اعمال کرده است اما اثر نیروی رانش ناشی از حضور فرم‌های بستر را در نظر نگرفته است. تحقیقات نشان داده است که حضور فرم‌های بستر با توجه به شکل و ابعاد آنها می‌تواند تا ۹۰ درصد از کل تنش برشی وارده به بستر را کاهش دهد.

۶. هرچند که اکثر محققین گزارش کرده‌اند که رسوبات مورد استفاده توسط شیلدز با دانه‌بندی یکنواخت بوده‌اند و شیلدز هم به این امر

اذعان کرده است، اما واقعیت آن است که رسوبات دارای دانه‌بندی کاملاً یکنواخت نبوده‌اند.

۷. نتایج شیلدز با نتایج محققینی که آنها نیز تأثیر فرم بستر و نیروی رانش ناشی از آن را در نظر نگرفته‌اند مقایسه شده است در حالیکه بهتر بود برای مقایسه نتایج بدست آمده از نتایج محققانی استفاده می‌شد که از دانه‌بندی یکنواخت استفاده کردند و یا برای تعریف آستانه حرکت در آزمایشاتشان تعریفی غیر از مشاهده چشمی داشتند؛ ضمن اینکه به جز Gilbert (۱۹۱۴) بقیه آنها از مشاهده چشمی برای تعریف آستانه حرکت استفاده کرده‌اند و البته آنها از دانه‌بندی مختلط استفاده کرده‌اند.

۸. برای مقادیر کوچک عدد رینولدز ذره، نمودار شیلدز از مقادیر اندازه‌گیری شده انحراف پیدا می‌کند.

جدول ۶- تصحیحات وارد شده در نمودار شیلدز به مرور زمان

محقق	تعریف/رابطه ارائه شده	توضیحات
Rouse (۱۹۳۹)	$Rouse\ Reynolds\ Number = \frac{d\sqrt{0.1(S-1)gd}}{v}$	d: قطر مشخصه ذرات S: چگالی نسبی ذرات رسوب
White (۱۹۴۰)	$\Theta_c = \frac{\pi}{6} p_f T_f \tan \varphi$: رژیم با سرعت بالا ($R^* > 3.5$) $\Theta_c = \frac{\pi}{6} p_f a_f \tan \varphi$: رژیم با سرعت پایین ($R^* < 3.5$)	$T_f = 4$ و $p_f = 0.4$ $p_f a_f = 0.34$
Iwagaki (۱۹۵۶)	$\Theta_c = \frac{\tan \varphi}{\varepsilon_x \mu_s R^*}$	این رابطه کاربرد عملی چندانی ندارد زیرا فرض اولیه تئوری ایواگاکا بر مبنای یک ذره منفرد است در حالیکه در عمل ذرات در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند.
Egiazaroff (۱۹۶۵)	$\Theta_c = \frac{1.33}{C_D [a_r + 5.75 \log(0.63)]}$	نتایج حاصل از این رابطه همخوانی مناسبی با نمودار شیلدز ندارد.
Mantz (۱۹۷۷)	پیشنهاد کرد که برای اطمینان از حصول پایداری ذرات، نمودار شیلدز به صورت یک پوش در نظر گرفته شود.	شکل (۱)
Karahan and Yalin (۱۹۷۹)	با جمع‌آوری داده‌های بسیار زیاد از محققین مختلف، رابطه بین Θ_c و R^* را به صورت گرافیکی ارائه دادند	نمودار ارائه شده توسط این محققین کمی بالاتر از نمودار شیلدز قرار می‌گیرد (شکل ۱)
Van Rijn (۱۹۸۴)	$\Theta_c (4 \leq D_* \leq 10) = 0.14 / D_*^{0.64}$ $\Theta_c (4 \leq D_* \leq 20) = 0.04 / D_*^{0.1}$ $\Theta_c (20 < D_* \leq 150) = 0.013 D_*^{0.29}$ $\Theta_c (D_* > 150) = 0.055$	D_* : پارامتر ذره Θ_c : پارامتر بحرانی شیلدز $D_* = d(\Delta g / \nu^2)^{1/3}$
Smith و Wiberg (۱۹۸۷)	$\Theta_c = \frac{2}{C_D \alpha_0} \cdot \frac{1}{f^2(z/z_0)} \cdot \frac{\tan \varphi}{1 + (F_L / F_D)_c \tan \varphi}$	$\alpha_0 = A_x d / V$
Soulsby, R.L. and Whitehouse, R.J.S (۱۹۹۷)	$\Theta_c = \frac{0.24}{D_*} + 0.055[1 - \exp(-0.02 D_*)]$	-
Julien (۱۹۹۸)	$\Theta_c (D_* \leq 0.3) = 0.5 \tan \varphi$ $\Theta_c (0.3 < D_* \leq 19) = 0.25 \tan \varphi$ $\Theta_c (19 < D_* \leq 150) = 0.013 D_*^{0.4} \tan \varphi$ $\Theta_c (D_* > 150) = 0.06 \tan \varphi$	φ : زاویه ایستایی رسوبات

آشفتگی جریان در نزدیکی بستر و موقعیت یک ذره خاص نسبت به ذرات اطراف با اندازه‌های مختلف بستگی دارد. از دیدگاه احتمالاتی به ازای شرایط جریان و رسوب مشخص، هر ذره بطور میانگین ۵۰ درصد شانس برای جابجایی دارد. Gessler (۱۹۷۰) احتمال ثابت ماندن یک ذره خاص را بررسی و مشاهده کرد که این احتمال تا حد زیادی به پارامتر شیلدز و کمتر به عدد رینولدز ذره بستگی دارد. توزیع اندازه ذرات در حال حرکت را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$P(d) = \frac{\int_{d_{\min}}^d (1-q) p_0(d) dd}{\int_{d_{\min}}^{d_{\max}} (1-q) p_0(d) dd} \quad (5)$$

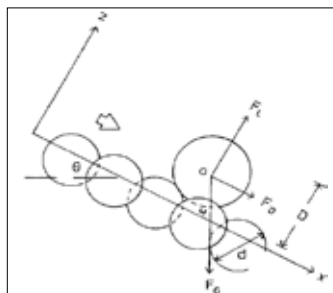
با تشکیل شدن لایه سپر، رسوبات با اندازه کمتر از آنچه که از رابطه (۵) داده شده است از حرکت باز خواهند ماند و بدین ترتیب می‌توان شرایط آستانه حرکت ذرات را مشخص کرد.

اثر شیب کف بر آستانه حرکت در کانال‌های باز

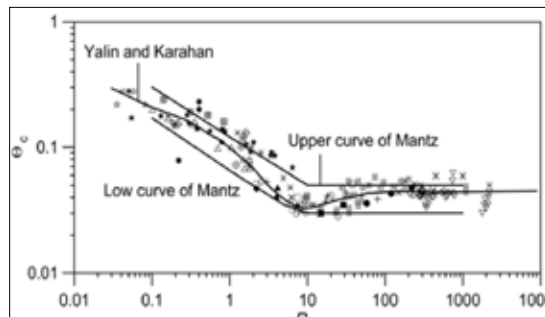
با بررسی نیروهای وارد بر ذره رسوب در کف آبراهه، این مطلب به روشنی درک می‌شود که با افزایش شیب بستر، مولفه نیروی وزن در راستای حرکت ذره بیشتر شده و بنابراین ذره رسوب با سهولت بیشتری شروع به حرکت می‌نماید (شکل ۳)؛ به عبارتی تنش برشی بحرانی کاهش می‌یابد. Van Rijn (۱۹۸۴) رابطه زیر را برای تعیین آستانه حرکت ذرات در مجاری شیب‌دار ارائه کرد. در این رابطه τ_{cp} تنش برشی بحرانی بر روی شیب و k_1 و k_2 ضرایب تصحیح هستند.

$$\tau_{cp} = k_1 k_2 \tau_c \quad (6)$$

Dey و Debnath (۲۰۰۰) به بررسی آستانه حرکت ذرات رسوبی در مجاری شیب‌دار با شیب مثبت و منفی پرداختند. این محققین با بررسی تحلیلی و آزمایشگاهی و استفاده از رسوبات با زاویه ایستایی مختلف به این نتیجه رسیدند که هرچه مقدار جبری شیب بیشتر باشد، تنش برشی بحرانی نیز کمتر می‌شود (شکل ۳ و ۴). همچنین Dey (۲۰۰۳) وضعیت آستانه حرکت را برای یک ذره واقع بر بستر شیب‌دار طولی و عرضی (شکل ۵) بررسی کرد.



شکل ۳- نیروهای وارد بر یک ذره رسوب بر روی سطح شیب‌دار (Dey و Debnath, ۲۰۰۰)

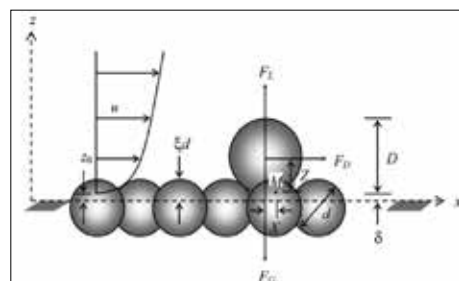


شکل ۱- محاسبه θ_c از روش Manton (۱۹۷۷) و Yalin و Karahan (۱۹۷۹)

- مدل دی برای بستر افقی

Dey (۱۹۹۹) با برقراری تعادل بین نیروها برای یک ذره ساکن، مدلی را برای تعیین شرایط آستانه حرکت ذرات ارائه کرد. بنابر نظر Dey، یک ذره واقع بر روی ذرات دیگر با توجه به نحوه قرارگیری ذرات در بستر فرسایش‌پذیر، می‌تواند به دو صورت جابجا شود: یا از بین شکاف دو ذره مقابل حرکت کند و یا اینکه از روی برآمدگی یکی از ذرات به سمت جلو جابجا شود. Dey با توجه به شکل (۲) رابطه زیر را بین نیروهای وارد بر ذره نوشت:

$$(F_L - F_G)X + F_D Z = 0 \quad (2)$$



شکل ۲- نیروهای وارد بر یک ذره برای بستر افقی (Dey, ۱۹۹۹)

وی نیروی برکشنده ناشی از اثر مگنوس (F_{Lm}) را به صورت زیر در نظر گرفت:

$$F_{Lm} = C_L \rho D^3 u_m \omega \quad (3)$$

که در این رابطه، ω سرعت زاویه‌ای ذره در حال دوران است و مقدار حداکثر آن برابر $0.5 \partial u / \partial z$ است. بنابراین رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$F_{Lm} = 0.5 C_L \rho D^3 u_m \frac{\partial u}{\partial z} \quad (4)$$

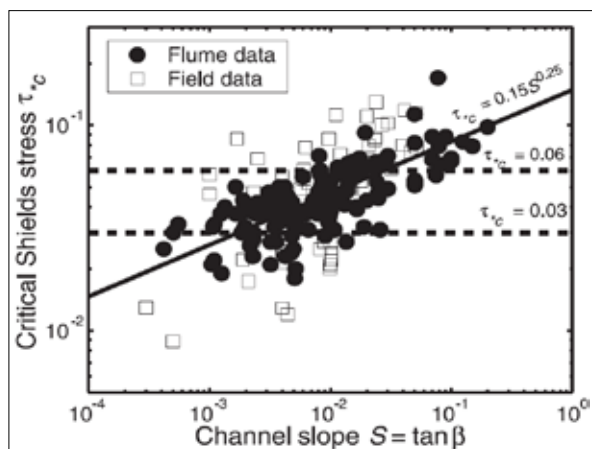
آستانه حرکت از دیدگاه احتمالاتی

آستانه حرکت در واقع یک پدیده احتمالاتی است و به مشخصه‌های

میدانی، معمولاً فرم‌های بستر و طیف وسیعی از ذرات با زاویه اصطکاک متفاوت حضور دارند؛ درحالی‌که در شرایط آزمایشگاهی معمولاً اثر فرم‌های بستر در نظر گرفته نمی‌شود و ذرات مورد استفاده عمدتاً یکنواخت هستند. بنابراین عوامل اول و دوم یعنی فرم‌های بستر و زاویه اصطکاک داخلی برای توجیه رابطه بین شیب بستر و تنش برشی بحرانی نمی‌تواند چندان اهمیتی داشته باشد.

از طرفی دیگر، ورود هوا به جریان معمولاً در شیب‌های زیاد اتفاق می‌افتد و مانند میزان بیرون‌زدگی ذره از بستر، نمی‌تواند توجیه‌گر پدیده مورد نظر در شیب‌های کم باشد. همچنین ضرایب رانش و برگشده با افزایش شیب افزایش می‌یابند و در تضاد با روند مورد بررسی هستند. بنابراین از میان دلایل احتمالی برای افزایش تنش برشی بحرانی در اثر افزایش شیب، فقط کاهش سرعت‌های موضعی و نوسانات آشفتگی باقی می‌ماند.

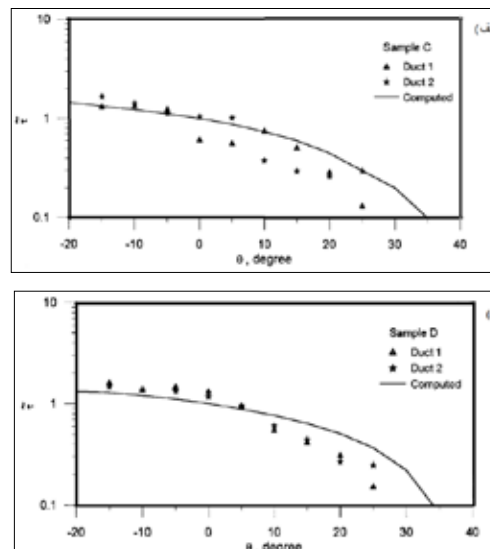
بررسی‌های آزمایشگاهی نیز نشان داده است که به ازای یک تنش برشی ثابت، سرعت موضعی و نوسانات آشفتگی در نزدیکی بستر هر دو با افزایش شیب، کاهش می‌یابند. به نظر می‌رسد این تغییرات در سرعت موضعی و نوسانات آشفتگی در نزدیکی بستر، بدلیل تغییر در اختلاط عمقی و ساختار گردابه‌ها در اثر افزایش زبری نسبی باشد.



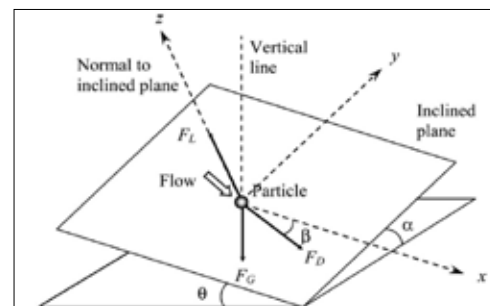
شکل ۶- تغییرات تنش برشی بحرانی بر حسب شیب کف کانال (Lamb و همکاران، ۲۰۰۸)

آستانه حرکت در رودخانه‌های کوهستانی

نمودار ارائه شده توسط شیلدز برای کانال‌های با بستر صاف ارائه شده است. درحالی‌که آبراهه‌های طبیعی دارای زبری‌ها و فرم‌های بستر متفاوتی هستند. از طرفی دیگر، شکل ذرات در اینگونه مجاری بسیار متغیر است و بر روی فرآیند چرخش ذرات در ابتدای حرکت آنها تأثیرگذار است. سهولت چرخش برای ذرات کروی بسیار زیاد است و با فاصله گرفتن شکل ذره از حالت کروی، حرکت ذره مشکل‌تر



شکل ۴- تغییرات نسبت تنش برشی بر حسب شیب کف (الف) و (ب- $\phi=35^\circ$ و $\phi=37^\circ$) (Debnath و Dey، ۲۰۰۰)



شکل ۵- نیروهای وارد بر یک ذره برای بستر شیب‌دار (Dey، ۲۰۰۳)

با این وجود Lamb و همکاران (۲۰۰۸) با تجزیه و تحلیل داده‌های بسیار زیادی که در شرایط آزمایشگاهی و میدانی جمع‌آوری شده بودند، نموداری را ارائه کردند که بر طبق آن با افزایش شیب بستر، تنش برشی بحرانی آستانه حرکت ذرات رسوبی افزایش می‌یابد (شکل ۶). به عبارتی دیگر به ازای یک تنش برشی مشخص، ذرات با اندازه یکسان بر روی شیب‌های تند، پایداری بیشتری در برابر حرکت از خود نشان می‌دهند. این یافته‌ها در تضاد با یافته‌های سایر محققین از جمله Debnath و Dey (۲۰۰۰) است. Lamb و همکاران (۲۰۰۸) درصدد برآمدند تا افزایش تنش برشی بحرانی در اثر افزایش شیب بستر را به عواملی همچون شکل‌های بستر، زاویه اصطکاک داخلی، میزان بیرون‌زدگی ذره از بستر، ورود هوا به درون جریان، تغییر نیروی دراگ و تغییر در سرعت‌های موضعی و نوسانات آشفتگی ارتباط دهند.

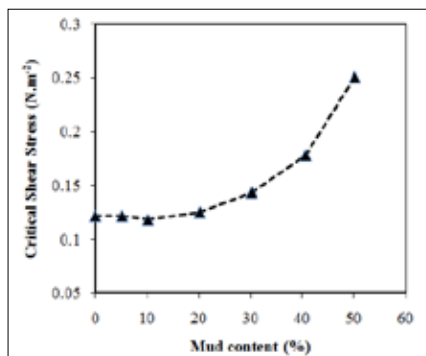
با دقت در شکل (۶) که در آن داده‌های میدانی و داده‌های آزمایشگاهی در کنار یکدیگر ترسیم شده‌اند، مشاهده می‌شود که اختلاف در نتایج بین این دو نوع داده چندان محسوس نیست و هر دو از یک روند مشابه پیروی می‌کنند. از طرفی در مورد داده‌های

آستانه حرکت در رسوبات چسبنده

علیرغم اینکه خاک‌ها در طبیعت عمدتاً ترکیبی از رسوبات چسبنده و غیرچسبنده هستند، اما بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه آستانه حرکت مربوط به رسوبات غیرچسبنده بوده و تحقیقات چندانی بر روی آستانه حرکت رسوبات چسبنده انجام نگرفته است. یک تفاوت عمده بین رسوبات چسبنده و غیرچسبنده این است که رسوبات غیرچسبنده به صورت ذره به ذره فرسایش می‌یابند اما در رسوبات چسبنده ممکن است قطعاتی از بستر با اندازه‌های مختلف به طور ناگهانی فرسایش یابد.

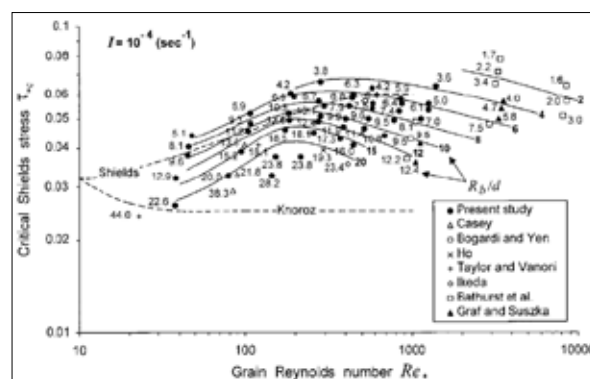
مطالعات بسیاری نشان می‌دهد که افزایش میزان رس در خاک، بدلیل افزایش نیروهای بین ذره‌ای درون خاک، باعث افزایش تنش برشی بحرانی و در نتیجه افزایش مقاومت خاک در مقابل فرسایش می‌شود (Kuti و Yen، ۱۹۷۶؛ Kho و همکاران، ۲۰۰۴؛ Kothyari و Jain، ۲۰۰۸).

تحقیقات Mitchener و Torfs (۱۹۹۶) نشان داده است که افزایش چگالی خاک باعث افزایش تنش برشی بحرانی می‌شود. این افزایش مقاومت در برابر فرسایش، در اثر کاهش فاصله بین ذرات و افزایش تماس بین آنها و در نتیجه تقویت پیوندهای بین ذره‌ای صورت می‌گیرد. البته نوع کانی رس، خواص شیمیایی سیال منفذی و سیال فرسایش‌دهنده، چگالی خاک، طول عمر خاک و دما نیز بر این فرآیند تأثیرگذار هستند (Mitchener و Torfs، ۱۹۹۶؛ Zreik و همکاران، ۱۹۹۸؛ Partheniades، ۲۰۰۷). نتایج آزمایش‌های Mitchener و Torfs (۱۹۹۶) نشان داد که افزودن ماسه به خاک چسبنده و یا برعکس، مقاومت در برابر فرسایش را افزایش و نرخ فرسایش را کاهش می‌دهد؛ بگونه‌ای که افزودن ۳۰٪ خاک چسبنده به ماسه می‌تواند تنش برشی بحرانی را تا ده برابر افزایش دهد. Panagiotopoulos و همکاران (۱۹۹۷) به بررسی تأثیر میزان رس بر آستانه حرکت ماسه ریزدانه پرداختند. این محققین با ارائه شکل (۹) گزارش کرده‌اند که چنانچه میزان مصالح چسبنده از ۳۰ درصد بیشتر شود، افزایش قابل توجهی در میزان تنش برشی بحرانی رخ می‌دهد.

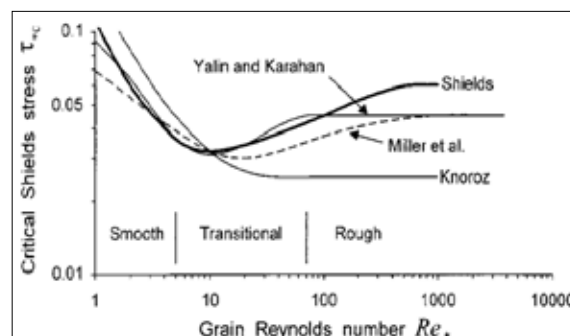


شکل ۹- تغییرات تنش برشی بر حسب میزان مصالح چسبنده (Panagiotopoulos و همکاران، ۱۹۹۷)

می‌شود. شوچنکو و پندر (۲۰۰۰) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر عمق نسبی جریان (نسبت شعاع هیدرولیکی به اندازه ذره) بر آستانه حرکت ذرات درشت‌دانه پرداختند. این محققین با انجام آزمایش‌هایی دریافتند که نه تنها اندازه ذره بلکه عمق نسبی جریان نیز بر شروع حرکت ذرات تأثیرگذار است. آنها نموداری را به صورت شکل (۷) ارائه کردند و آن را نمودار اصلاح شده شیلدز نامیدند. این نمودار تأثیر عمق نسبی را بر روی آستانه حرکت ذرات نشان می‌دهد به گونه‌ای که به ازای یک عدد رینولدز ثابت، با افزایش عمق نسبی، تنش برشی بحرانی کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه در این نمودار این است که بر خلاف نمودار شیلدز که به ازای مقادیر بزرگ عدد رینولدز ذره، پارامتر شیلدز به یک مقدار ثابت میل می‌کند، در این نمودار تنش برشی بحرانی همچنان به عدد رینولدز ذره وابسته است (شکل ۸). به ازای یک شعاع هیدرولیکی ثابت، با افزایش اندازه ذره، عمق نسبی کاهش و در نتیجه تنش برشی بحرانی افزایش می‌یابد. این روند نشان می‌دهد که با افزایش اندازه ذره، مقاومت در برابر جریان افزایش یافته و در نتیجه جریان پتانسیل کمتری برای جابجا کردن ذره رسوب خواهد داشت. البته این محققین ذکر کرده‌اند که تحقیقات بیشتری بویژه برای مقادیر بزرگ عمق نسبی و عدد رینولدز ذره بایستی انجام شود.

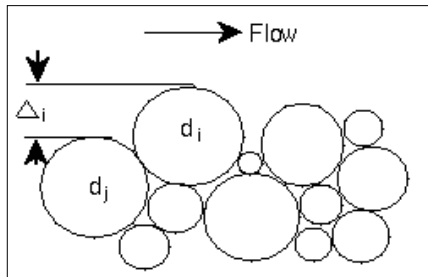


شکل ۷- دیاگرام اصلاح شده شیلدز برای اعماق نسبی مختلف (Pender و Shvidchenko، ۲۰۰۰)



شکل ۸- عدم وابستگی تنش برشی بحرانی به عدد رینولدز ذره برای جریان زیر هیدرولیکی (Pender و Shvidchenko، ۲۰۰۰)

Wu و همکاران (۲۰۰۰) با بررسی تأثیر غیر یکنواختی رسوبات بر فرآیند آستانه حرکت ذرات رسوبی، گزارش کرده‌اند که در مورد بسترهای با دانه‌بندی غیریکنواخت، احتمال به حرکت درآمدن ذرات درشت‌دانه‌تر بیشتر است. توجیه آنها برای این پدیده این است که اولاً ذرات ریزدانه در بین ذرات درشت‌دانه و اصطلاحاً در یک پناهگاه قرار می‌گیرند و ثانیاً سطح موثر در برابر جریان در ذرات درشت‌دانه بیشتر است و بنابراین نیروی بیشتری به آنها وارد می‌شود (شکل ۱۲).

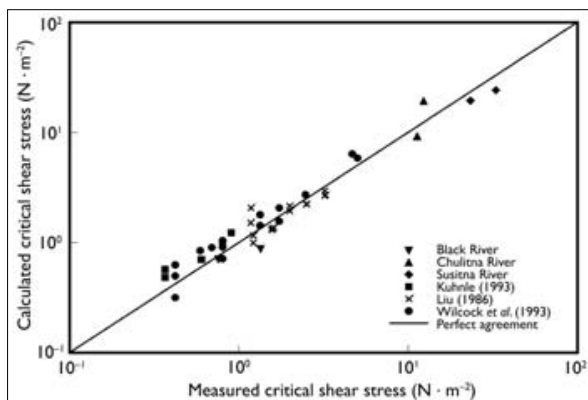


شکل ۱۲- پنهان شدن ذرات ریزدانه در بین ذرات درشت‌دانه‌تر در رسوبات با دانه‌بندی غیریکنواخت (Wu و همکاران، ۲۰۰۰)

این محققین با بررسی احتمالاتی همپوشانی ذرات بر یکدیگر، رابطه زیر را برای تعیین تنش برشی بحرانی در رسوبات با دانه‌بندی غیریکنواخت ارائه دادند:

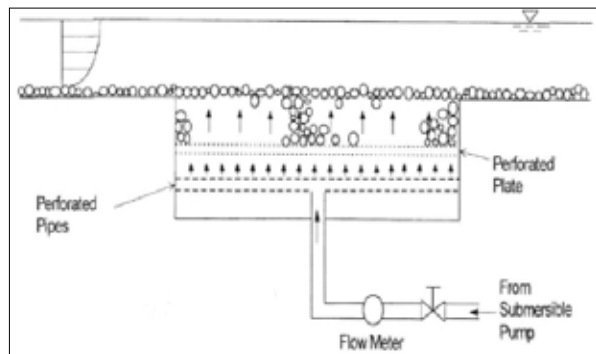
$$\frac{\tau_{ck}}{(\gamma_s - \gamma)dk} = \Theta_c \left(\frac{\rho e k}{\rho h k} \right)^{-m} \quad (9)$$

در این رابطه، P_{ek} احتمال بی‌پناه ماندن ذره k ام و P_{hk} احتمال پنهان شدن ذره می‌باشد. این محققین نتایج تحلیلی خود را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و انطباق خوبی مشاهده کردند (شکل ۱۳).

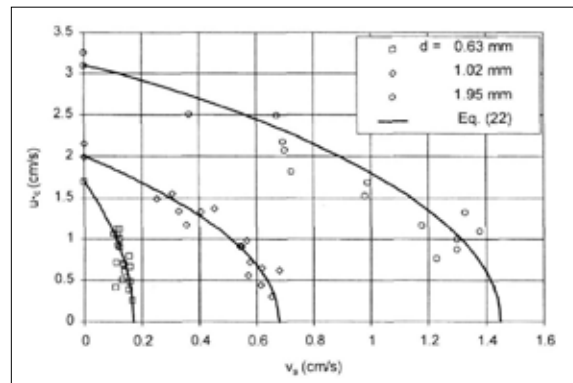


شکل ۱۳- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی توسط Wu و همکاران (۲۰۰۰)

زمانی که ذره رسوب بر روی یک بستر متخلخل قرار می‌گیرد، علاوه بر نیروهای معمول وارد بر ذرات در بسترهای صلب، تحت تأثیر نیروی هیدرودینامیک ناشی از نشت نیز قرار می‌گیرد. از آنجا که نشت می‌تواند به سمت بالا و یا پایین و یا موازی با جهت جریان اصلی باشد، بنابراین جهت نیروی هیدرودینامیک وارده نیز متفاوت خواهد بود. در هر حال، در این شرایط نمودار شیلدرز قابل استفاده نخواهد بود. Cheng و Chiew (۱۹۹۹) به بررسی تأثیر نشت رو به بالا بر شرایط بحرانی حرکت ذره رسوب پرداختند. آنها با استفاده از یک مجموعه آزمایشگاهی (شکل ۱۰) و استفاده از شش نوع ذره رسوب با دانه‌بندی یکنواخت، نموداری را ارائه کردند که بر اساس آن با افزایش سرعت جریان نشتی، سرعت بحرانی شروع حرکت ذرات کاهش می‌یابد. در شکل (۱۱) u_{*c} سرعت برشی بحرانی و v_{*c} سرعت جریان نشتی رو به بالا می‌باشد.



شکل ۱۰- طرحواره‌ای از سامانه آزمایشگاهی برای بررسی تأثیر جریان نشتی بر آستانه حرکت (Cheng و Chiew، ۱۹۹۹)



شکل ۱۱- اثر سرعت جریان نشتی بر سرعت برشی بحرانی (Cheng و Chiew، ۱۹۹۹)

- study of bed ripples under water waves. Quart. Rep. 8 and 9, Georgia Institute of Technology, School of Civil Engineering, Atlanta, USA.
- Cheng N.Sh. and Chiew Y.M. 1999. Incipient sediment motion with upward seepage. *Journal of Hydraulic Research*, 37(5): 665-681
- Coleman N.L. 1967. A theoretical and experimental study of drag and lift forces acting on a sphere resting on a hypothetical stream bed. *Proc. 12th IAHR Congr.*, Fort Collins, Colorado, 3: 185-192.
- Davies T.R.H. and Samad M.F.A. 1978. Fluid dynamic lift on a bed particle. *J. Hydraul. Div.*, 104(8): 1171-1182.
- Dey S. 1999. Sediment threshold. *Appl. Math. Modelling*, 23(5): 399-417.
- Dey S. 2003. Threshold of sediment motion on combined transverse and longitudinal sloping beds. *J. Hydraul. Res.*, 41(4): 405-415.
- Dey, S. and Debnath, K. 2000. Influence of stream-wise bed slope on sediment threshold under stream flow. *J. Irrig. and Drain. Eng.*, Vol. 126, No. 4, pp. 255-263.
- Egiazaroff J.V. 1965. Calculation of non-uniform sediment concentrations. *J. Hydraul. Div.*, 91(4): 225-247.
- Einstein H.A. and El-Samni E.A. 1949. Hydrodynamic forces on rough wall. *Rev. Modern Phys.*, 21(3): 520-524.
- Einstein, H.A. 1950. The bed-load function for sediment transportation in open channel flows. *Tech. Bulletin No. 1026*, US Department of Agriculture.
- Gilbert G.K. 1914. Transportation of debris by running water. *Prof. Paper No. 86*, United States Geological Survey, Washington DC, USA.
- Gessler J. 1970. Self-stabilizing tendencies of alluvial channels. *J. Waterways Harbors Div.*, 96(2): 235-249.
- Goncharov V.N. 1964. Dynamics of channel flow. Israel Programme for Scientific Translation, Moscow, Russia.
- Iwagaki, Y. 1956. Fundamental study on critical tractive force. *Trans. Jap. Soc. Civ. Eng.*, 41: 1-21.
- Jain R. and Kothiyari U. 2008. Detachment and Transport of Clay-Sand-Gravel Mixtures by Channel Flow. *River Flow Conference Proceedings*, Izmir, Turkey, Sep. 3-5.
- Jeffreys H. 1929. On the transport of sediments in stream. *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 25: 272.
- Julien P.Y. 1998. Erosion and sedimentation. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kho K., Valentine E. and Glendinning S. 2004. An Experimental Study of Local Scour around Circular Bridge

در این تحقیق به بررسی روش‌های مختلف پدیده آستانه حرکت ذرات رسوبی پرداخته شد. بر اساس مبنای ارائه روش‌های موجود، تقسیم‌بندی‌های مختلفی برای این روش‌ها انجام شد. بر این اساس روش‌های تشخیص آستانه حرکت معرفی و در هر مورد به بررسی معایب و مزایا پرداخته شد. نمودار شیلدز به عنوان کاربردی ترین روش برای تعیین آستانه حرکت به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت و با تشریح روش آزمایش و رسوبات مورد استفاده توسط شیلدز، ایرادات اساسی بر آن مطرح گردید. در هر حال به نظر می‌رسد با وجود این نقایص و ایرادات در نمودار شیلدز، هنوز هم نتوان رقیب جدی برای جایگزینی آن در کاربردهای عملی معرفی کرد. تأثیر عوامل مختلف از جمله شیب بستر، چسبندگی مصالح، جریان نشت رو به بالا و غیریکنواختی ذرات بر تنش برشی بحرانی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین بر اساس پارامتر عمق نسبی آستانه حرکت ذرات رسوبی در رودخانه‌های کوهستانی که در آنها زبری بستر قابل توجه است بررسی شد.

پی‌نوشت

- 1- incipient motion
- 2- threshold or critical condition
- 3- general motion
- 4- competent velocity
- 5- no transport
- 6-weak transport
- 7- medium transport
- 8- general transport

منابع

- Aksoy S. 1973. Fluid forces acting on a sphere near a solid boundary. *Proc. 15th IAHR Congr.*, Istanbul, Turkey, 1: 217-224.
- Bagnold R.A. 1974. Fluid forces on a body in shear flow; experimental use of stationary flow. *Proc. R. Soc. London A*, 340: 147-171.
- Brayshaw A.C., Frostick L.E. and Reid I. 1983. The hydrodynamics of particle clusters and sediment entrainment in coarse alluvial channels. *Sedimentology*, 30: 137-143.
- Carstens M.R. 1966. An analytical and experimental

- servation Service Cooperative Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, Calif (Cited in Buffington 1999)
- Soulsby R.L. and Whitehouse R.J.S. 1997. Threshold of sediment motion in coastal Environments. Proc. Combined Australasian Coastal Eng. and Port Conf., Christchurch, New Zealand, pp. 149-154.
- USWES. 1935. Study of riverbed material and their use with special reference to the Lower Mississippi River. Paper 17, U.S. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss. (Cited in Buffington 1999)
- Van Rijn L.C. 1984. Sediment transport, part I: bed-load transport. *J. Hydraul. Eng.*, 110(10): 1431-1456.
- Vanoni V.A. 1964. Measurements of critical shear stress for entraining fine sediments in a boundary layer. Rep. No. KH-R-7, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, Division of Engineering and Applied Science, California Institute of Technology, Pasadena, Calif.
- Velikanov M.A. 1955. Dynamics of alluvial stream. Vol. 2, State Publishing House of Theoretical and Technical Literature, Russia (in Russian).
- White C.M. 1940. The equilibrium of grains on the bed of a stream. *Phil. Trans. Royal Soc.*, 174A: 322-338.
- Wiberg P.L. and Smith J.D. 1987. Calculations of the critical shear stress for motion of uniform and heterogeneous sediments. *Wat. Resour. Res.*, 23(8): 1471-1480.
- Wu W., Wang S.S.Y. and Jia Y. 2000. Nonuniform sediment transport in alluvial rivers. *J. Hydr. Res.*, IAHR, 38(6): 427-434.
- Yalin M.S. 1963. An expression of bed-load transportation." *J. Hydraul. Div.*, 89(3): 221-250.
- Yalin M.S. and Karahan E. 1979. Inception of sediment transport. *J. Hydraul. Div.*, 105(11): 1433-1443.
- Yang C.T. 1973. Incipient motion and sediment transport. *J. Hydraul. Div.*, 99(10): 1679-1704.
- Zreik D., Krishnappan B., Geramine J., Madsen O. and Ladd C. 1998. Erosional and Mechanical Strengths of Deposited Cohesive Sediments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(11): 1076-1085.
- Piers in Cohesive Soils. 2nd International Conference on Scour and Erosion, Singapore, November.
- Kramer H. 1935. Sand mixtures and sand movement in fluvial models. *Trans., ASCE*, 100(1909): 798-838.
- Kuti E. and Yen C. 1976. Scouring of Cohesive Soils. *Journal of Hydraulic Research*, 14(3): 195-206.
- Lamb M.P., W.E. Dietrich and Venditti J.G. 2008. Is the critical Shields stress for incipient sediment motion dependent on channel-bed slope? *J. Geophys. Res.*, 113: 1-20.
- Leliavsky S. 1966. An introduction to fluvial hydraulics. Dover, New York.
- Ling C.H. 1995. Criteria for incipient motion of spherical sediment particles. *J. Hydraul. Eng.*, 121(6): 472-478.
- Mantz P.A. 1977. Incipient transport of fine grains and flanks by fluids-extended Shields diagram. *J. Hydraul. Div.*, 103(6): 601-615.
- Mitchener H. and Torfs H. 1996. Erosion of Mud/Sand Mixtures. *Coastal Engineering*, (29): 1-25.
- Neill, C. R., and Yalin, S. (1969). "Quantitative definition of beginning of bed movement." *J. Hydr. Div.*, ASCE, 95(1), 585-588.
- Panagiotopoulos I., Voulgaris G. and Collins M. 1997. The Influence of Clay on the Threshold of Movement of Fine Sandy Beds. *Coastal Engineering*, (32): 19-43.
- Partheniades E. 2007. Engineering Properties and Hydraulic Behavior of Cohesive Sediments. CRC Press, Taylor and Francis Group, p.338.
- Rouse H. 1939. An analysis of sediment transportation in light of fluid turbulence. Rep. No. SCS-TP-25, Sediment Division, U.S. Dept. of Agr., Soil Conservation Service, Washington, D.C.
- Shvidchenko AB. and Pender G. (2000). Flume study of the effect of relative depth on the incipient motion of coarse uniform sediments. *Water Resource. Res.* 36 (2) 619-628.
- Shields A. 1936. Application of similarity principles and turbulence research to bed-load movement. Hydrodynamics Laboratory Publ. No. 167, W. P. Ott, and J. C. van Uchelen, trans., U.S. Dept. of Agr., Soil Con-

Underground Collector Pipe Installation Methods in the Saturated Sand and Clay Lenses

A. Alinejadian Bidabadi^{1*}, M. Salakhpoor², A. Maleki³

1- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science, Lorestan University, Khoramabad, Iran. 2,3- MSc., Irrigation and Drainage & Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Department of Water engineering, Lorestan University, Khoramabad, Iran.

*(Corresponding author Email: alinejadian@yahoo.com)

Received: 27-07-2016

Accepted: 15-04-2017

نحوه‌ی کارگذاری خطوط لوله‌ی جمع‌کننده زیرزمینی در لنز ماسه‌ای اشباع و رسی خاک

افسانه عالی‌نژادیان بیدآبادی^{۱*}، محمد سلاخ‌پور^۲، عباس ملکی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۶

Abstract

Today, the critical role of underground drain pipes and discharges of farms is very clear. To design and perform such underground constructions, experimental findings must be considered with a more specialized view. Also, using scientific information in various fields, especially in the field of soil physics, so that in critical conditions the decision making process can be faster and more robust. Therefore, the main goal of this research is to evaluate the various installation methods of underground collector pipes on the top, under water table, and in the most critical condition of operation in saturated sand lenses; such that to stabilize the collector pipes within clay soil, rubble and lime were used at the depth of 60 to 90 cm below the pipes. In sand lens soil under saturated conditions, underground drilling was conducted to above the water surface. Then, drilling was carried out to the depth of project piping using spontaneous underground water pumping. In order to stabilize the side walls, Tunan, lime, and cement were used. Finally, a suitable seat in dimensions of 200×75 cm was provided for collector pipes in which the lower 60 cm and upper 15 cm were made of a mixture of Hoffmann plus cement, and concrete, respectively. In this study, due to the experience in the field of collector piping in different conditions, the simplest method with the lower cost was the clay soil, and the most difficult method reported for clay saturated sand lens soil. It is suggested that all of the soil stability conditions in the mentioned critical condition should be considered.

Keywords: Underground collector pipe, Soil physics, Saturated sand lens.

چکیده

امروزه نقش مهم زهکش‌های زیرزمینی و تخلیه زه آب مزارع بر هیچکس پوشیده نیست. جهت طراحی و اجرای این ساخته‌های زیرزمینی بایستی به یافته‌های تجربی با دید تخصصی‌تری نگریسته شود و از اطلاعات علمی در زمینه‌های مختلف به ویژه فیزیک خاک نیز استفاده شود؛ تا در حالات بحرانی تصمیم‌گیری نهایی سریع‌تر و استوارتر صورت پذیرد. از این رو این پژوهش با هدف ارزیابی روش‌های مختلف کارگذاری لوله‌های جمع‌کننده (کلکتور) زیرزمینی در شرایط بالای سطح ایستابی، زیر سطح ایستابی و بحرانی‌ترین حالت یعنی کار در لنزهای ماسه‌ای اشباع اجرا گردید به گونه‌ای که در خاک‌های رسی جهت تثبیت لوله‌های کلکتور، در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر زیر لوله از قلوه سنگ و آهک استفاده شد. در خاک‌های دارای لنز ماسه‌ای و شرایط اشباع، در ابتدا تا بالای سطح آب زیرزمینی حفاری صورت پذیرفت. در مرحله بعد حفاری تا عمق کارگذاری خط پروژه به همراه پمپاژ همزمان آب زیرزمینی، انجام گردید. به جهت تثبیت دیواره‌های جانبی از مصالح تونان، آهک و سیمان استفاده شد. سپس نشیمنگاه مناسب به عرض ۲۰۰ سانتی‌متر و عمق ۷۵ سانتی‌متر جهت لوله‌های کلکتور که ۶۰ سانتی‌متر از این عمق شفته سیمان و کوپال و ۱۵ سانتی‌متر بالای آن بتن مگر بود، اجرا گردید. با توجه به تجربه کارگذاری لوله‌های کلکتور در شرایط مختلف، ساده‌ترین حالت در خاک‌های رسی بود که زمان و هزینه کمتری را در برداشت و پرهزینه‌ترین و سخت‌ترین حالت در لنز ماسه‌ای با شرایط اشباع به‌دست آمد و پیشنهاد می‌شود تمامی شرایط پایداری خاک در حالت بحرانی ذکر شده در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: خطوط لوله‌ی جمع‌کننده زیرزمینی، فیزیک خاک، لنز ماسه‌ای اشباع.

رشد روز افزون جمعیت و کاهش زمین‌های حاصل‌خیز به علت توسعه‌ی شهرها از یک طرف و پیشرفت علم و تکنولوژی از طرف دیگر، سبب گردیده بیشترین استفاده از اراضی قابل دسترس و مفید برای کشاورزی صورت گیرد. امروزه یکی از مسائل بسیار مهم در بخش کشاورزی و تولیدات گیاهی با توجه به محدود بودن اراضی کشاورزی در کشور، شیرین کردن خاک‌های شور، پایین آوردن سطح آب زیرزمینی، خارج کردن زه آب‌های موجود در اراضی می‌باشد، که تمام این عوامل احداث یک سیستم زهکشی سالم و توانمند را امکان‌پذیر می‌سازد (علیزاده، ۱۳۸۷).

وجود عوامل مختلف طبیعی و غیرطبیعی در مسیر احداث یک سیستم زهکشی می‌تواند تأثیر مستقیمی بر روند اجرا داشته باشد. از طرف دیگر به علت اینکه این سازه در زیر خاک احداث می‌شود، امکان شناخت و بررسی جزئیات کامل پروفیل خاک و شرایط واقعی طبقات زیرین تا حدودی ناممکن است. کریمی و بهرامی (۱۳۸۴) نکات فنی و مشکلات اجرایی طرح‌های کشت و صنعت نیشکر خوزستان را مورد بحث و بررسی قرار داده و نشان دادند که برای اجرای عملیات پروژه‌های آبیاری و زهکشی علاوه بر تجربیات فنی و مهندسی، برنامه‌ی زمان‌بندی و وجود ماشین آلات مناسب، الزامی می‌باشد.

صراف شمس (۱۳۸۴) به لزوم بسترسازی در خطوط جمع‌آوری کننده‌ی زهکش‌های زیرزمینی پرداخته است. در این بررسی، باتوجه به تنوع روش‌های بسترسازی در خطوط زهکش‌های زیرزمینی جمع‌کننده (کلکتور) و گستردگی آن و به منظور اهمیت دادن بیشتر به امر فوق، ضمن بررسی انواع بسترسازی‌ها در کشت و صنعت دعبل خزاعی (یکی از واحدهای هفتگانه طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی) و بیان اشکالات به وجود آمده به دلیل کم توجهی به آن و تحمیل هزینه‌های زیاد به سیستم، مناسب‌ترین روش بسترسازی در محل احداث این شبکه‌ها ارائه شده است.

ساکبی (۱۳۸۹) به بررسی آسیب شناسی کار با ترنچر، بررسی مشکلات بهره‌برداری و نگهداری از زهکشی زیرزمینی و لزوم استفاده از ماشین جایگزینی در احداث زهکشی زیرزمینی پرداخت. ایشان در این بررسی بیان نمود که از آنجایی که در نظر است در سطح ۵۰۰ هزار هکتار زهکشی زیرزمینی در اراضی کشاورزی که فاقد نیرو و ماشین آلات خاص نگهداری از این سامانه هستند، اجرا گردد ضروری است از کارکرد تنها ماشین اصلی مورد استفاده (ترنچر)، آسیب شناسی به عمل آمده و لزوم رویکرد تغییر فناوری اجرا و استفاده از روش بدون ترانشه‌زنی

وبومی نمودن ماشین‌های حفار افقی مورد بررسی قرار گیرد. کشکولی و موسوی (۱۳۸۷) نیز در تحقیقی مشکلات طراحی و اجرای شبکه‌ی زهکشی کشت و صنعت سلمان فارسی (یکی از هفت کشت و صنعت شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی) که در روند بهره‌برداری و نگهداری شبکه بوده و حاصل از تجربیات ارزنده‌ی عملی است، از جنبه‌ی ارزیابی نواقص و معایب خطوط لتال و کلکتور مورد بررسی قرار دادند.

در بیشتر مواقع افراد متخصص در کارهای اجرایی با مسائلی مواجه می‌شوند که از قبل قابل پیش‌بینی نبوده و لازم است تصمیم آنی گرفته شود. لذا بهره‌گیری از تجارب قبلی احداث این سازه‌های زیرزمینی در پروفیل‌های مختلف خاک و شناخت بیشتر فیزیک خاک از جمله دانه‌بندی ذرات خاک و بافت خاک در این شرایط می‌تواند دید روشنی از روش اجرا در اختیار متخصصین قرار داده و واقعیت‌های ناآشنا را ملموس‌تر گرداند؛ لذا این پژوهش با تکیه بر تجارب گذشته، بهترین روش اجرایی احداث کلکتورهای زیرزمینی (به خصوص در حادترین شرایط یعنی لنز ماسه‌ای اشباع) را تشریح می‌کند. کارگذاری لوله در لنز ماسه‌ای به دلیل فرار بودن خاک و عدم تثبیت لوله در محل کارگذاری از حادترین شرایط می‌باشد. چرا که در فصول خشک و گرم به علت پایین بودن سطح آب‌های زیرزمینی، در حین کار گذاری لوله‌ها در مسیرهای ماسه‌ای مشکلی بروز نکرده ولیکن به محض بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی و آبدار شدن خاک به ویژه هنگام بهره‌برداری و استغراق این لوله‌ها، به تدریج با نفوذ ذرات ماسه‌ی خاک از طریق درزهای اتصال موجب بروز فروچال (پدیده‌ای که در منطقه به نام قیفی شدن یعنی کشیده شدن خاک‌های اطراف ورودی لوله به داخل معروف است) شده و با توجه به خالی شدن زیر لوله باعث جدا شدن لوله‌ها می‌گردد. وجود شرایط غیر متعارف مانند بارش‌های جوی و هم‌زمان قطع برق و گرفتگی‌های مسیر باعث می‌گردد تا جریان داخل لوله‌های کلکتور از حالت آزاد به حالت غیر آزاد درآید و موجب اشباع شدن بخشی از خاک اطراف کلکتور گردد. در چنین شرایطی پس از رفع مانع قطع جریان آب مانند روشن شدن پمپ‌ها، تخلیه سریع آب لوله‌ها و افزایش فشار هیدرواستاتیک محیط اطراف لوله، موجب می‌گردد بخشی از آب و لجن اطراف لوله‌ها نیز از طریق درزهای دو سر لوله‌ها وارد لوله شده و پدیده رگاب که موجب نشست خاک و تشکیل حفره‌های نشست شده است و به پدیده قیف کشیدگی موسوم شده است، رخ دهد. این وضعیت باعث نشست لوله‌ها گردیده و ادامه این روند دامنه تخریب را آن قدر گسترش داده که بعضی از خطوط کلکتور کلاً تعویض و یا در محورهای دیگری مجدد ساخته می‌شوند.

• حالت اول (کارگذاری لوله بالای سطح ایستابی)

در این حالت تراز آب زیرزمینی پایین‌تر از موقعیت بسترسازی است. بنابراین وجود آب مانعی برای انجام عملیات نخواهد بود و جهت تثبیت محل استقرار لوله‌های بتنی کلکتور لازم است گودالی به عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متر و عرض $D+80$ سانتی‌متر ایجاد شده و از مصالحی همچون قلوه سنگ، خاک رس و آهک جهت تثبیت کف استفاده گردد. از نکات قابل توجه در این مرحله می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

- آهک مورد استفاده در این روش تنها آهک شفته باشد.
- قلوه سنگ مورد استفاده در این روش تاحد امکان درشت باشد.

- هرچه درصد ذرات رس در خاک بیشتر باشد، شفته آهکی بهتر عمل می‌کند.

شفته آهکی تنها در مجاورت آب واکنش خود را انجام می‌دهد. بنابراین اگر آب مورد نیاز آن از طریق آب زیرزمینی تأمین نشده باشد، لازم است به نحوی محیطی مرطوب برای آن فراهم آید.

بعد از اتمام این مرحله لازم است شفته مذکور در همان حالت باقی بماند تا گیرش مورد نیاز صورت پذیرد. در پروژه‌های بزرگ معمولاً از چند گروه استفاده می‌شود. گروه اول در حال حفاری، شفته‌ریزی و گروه دوم به کارگذاری لوله‌های کلکتور مشغول هستند. وجود حداقل دو گروه کاری از جهت پیشروی کار لوله‌گذاری همگام با بسترسازی مورد نیاز است و بهتر است عملیات لوله‌گذاری متوقف نشده تا در صورت بروز مشکل (خرابی دستگاه‌ها، بارندگی، ناتوانی مالی پیمانکار و معلق شدن قرارداد)، پروژه از پیشرفت قابل ملاحظه‌ای برخوردار شده باشد. همچنین برای عدم ریزش احتمالی دیواره‌ها بر روی بستر تثبیت شده نیز وجود دو گروه ضروری است.

• حالت دوم (کارگذاری لوله زیر سطح ایستابی)

در حالت دوم یعنی شرایطی که سطح آب زیرزمینی بالا است، حرکت آب در طول ترانشه باعث ایجاد مزاحمت در عملیات می‌گردد. در این مرحله لازم است به نحو مطلوب با این مورد برخورد گردد یا به عبارتی دیگر بر آب مسلط شد (شکل ۲). جهت دستیابی به این هدف، استفاده از پمپ‌های آب تا حد زیادی جهت تخلیه آب زیرزمینی مفید خواهد بود. بدین منظور می‌توان با احداث یکسری گودال در محل‌های حفاری، نسبت به جمع‌آوری آب‌های جاری و زیرزمینی اقدام کرده و با کارگذاری پمپ‌های لجن‌کش، آب جمع شده از محل را خارج کرد و با انجام متوالی این کار در مراحل مختلف، خط لوله را در عمق مورد نظر کارگذاری نمود. بعد از مهار آب، لازم است عملیات تکمیلی جهت تثبیت بستر انجام گیرد (مراحل بعدی همانند حالت اول می‌باشد).

این تحقیق به صورت میدانی و با احداث خط لوله‌ی زیرزمینی در شرایط خاک‌های ماسه‌ای و رسی در مزارع کشت و صنعت نیشکر در استان خوزستان در سال ۱۳۹۰ اجرا گردید.

۱- کارگذاری خط کلکتور در خاک‌های رسی

در خاک‌های رسی به علت وجود خاصیت چسبندگی بین ذرات، تنها با ایجاد یک بستر مناسب برای کارگذاری لوله‌های کلکتور می‌توان استحکام خط را به خوبی تأمین کرد. در این حالت برای رسیدن به خط پروژه از مقاطع دوزنقه‌ای (۲- $z=1/5$ شیب جداره) استفاده گردید و عرض پایین دوزنقه حدود ۳ متر فرض شد. اگر عمق کارگذاری لوله‌های کلکتور بسیار پایین باشد و بیل مکانیکی نتواند کار حفاری را به خوبی انجام دهد، لازم است از دو یا سه مقطع دوزنقه‌ای و ایجاد ترانشه دسترسی استفاده شود. در این حالت قسمتی از مقطع پایین دوزنقه اول (بالایی) در واقع مقطع بالایی دوزنقه دوم (پایین‌تر) و قسمتی دیگر از آن را عرض ترانشه جهت استقرار بیل مکانیکی تشکیل می‌دهد. این عرض باید آنقدر باشد که بیل مکانیکی بتواند به راحتی مانور داده و خاک ناشی از حفاری را به طرف دیگر منتقل کند (شکل ۱). در این حالت اگر بیل از بغل کار کند دارای توانایی بیشتری خواهد بود (جعفری و ناصری، ۱۳۸۸).



شکل ۱- بیل مکانیکی در حال انجام عملیات

در بررسی که در احداث خطوط کلکتور زیرزمینی در خاک‌های رسی به دست آمد، می‌توان بیان نمود جهت تثبیت بستر (نشیمنگاه لوله‌های کلکتور) بهترین حالت در زیرسازی استفاده از قلوه سنگ و آهک است که باید در عمق ۶۰-۹۰ سانتی‌متر زیر لوله و $D+80$ سانتی‌متر (D قطر خارجی لوله کارگذاری شده) در جهت عرض لوله صورت پذیرد که برای رسیدن به این هدف لازم است دو حالت ذیل بررسی شود (ابزار، ۱۳۸۴).

در پروژه‌هایی که سطح آب زیرزمینی بالا می‌باشد یکی از مهم‌ترین فعالیت‌هایی که لازم است به صورت شبانه‌روزی انجام شود، پمپاژ و خارج کردن مداوم آب از محل عملیات توسط افراد روزکار و شب‌کار می‌باشد. شایان ذکر است، انجام کار پمپاژ آب در هر پروژه‌ای خاص آن پروژه بوده و بسته به شرایط منطقه‌ای متفاوت است و می‌بایست

روش پمپاژ با توجه به شرایط موجود انتخاب گردد. بعد از اتمام فاز تثبیت بستر در حالت اول و دوم کارگذاری لوله‌های کلکتور در محل مورد نظر صورت می‌گیرد (شکل ۲) و بهتر است در این مرحله از دو دوربین نقشه‌برداری برای دادن شیب مناسب به خط پروژه و هم راستا نمودن لوله‌ها نسبت به هم مورد استفاده گیرد.



شکل ۲- عملیات پمپاژ و بیل در حال کارگذاری لوله‌های کلکتور

پس از اتمام عملیات لوله کارگذاری (شکل ۳)، به منظور جلوگیری از حرکت لوله‌ها و وارد شدن ذرات معلق به درون خط لوله گذاری شده، محل اتصال لوله‌ها کنف کوبی و سیمانی گردد. بعد از این مرحله نیز عملیات شفته‌ریزی مختصری بر روی خط کلکتور اجرا شده تا اگر به هر دلیلی شرایط برای ادامه کار در روز بعد فراهم نگردد، کار انجام شده تحت تأثیر عوامل جانبی قرار نگیرد و در محل خود تثبیت شده باشد.

با توجه به اهمیت زمان‌بندی و آینده‌نگری، علاوه بر آگاهی از جزئیات کار، نسبت به فراهم آوردن شرایط کاری برای روز آینده، برنامه‌ریزی دقیقی در نظر گرفته شده به گونه‌ای که با استقرار یک گروه شبانه، مقدمات اولیه کار فردا فراهم گردد. البته لازم به ذکر است که با توجه به حساسیت کار اجرایی کلکتور زیرزمینی، به علت بالا رفتن درصد خطا از کار در شب پرهیز و تنها به یک سری کارهای مقدماتی بسنده و کارهای مهم عملیاتی به روز موکول شود.



شکل ۳- کنف‌کوبی و سیمان کردن محل اتصال لوله‌ها

۲- کارگذاری خط لوله در شرایط لنز ماسه‌ای
وجود ماسه در طبقات زیرین خاک، مشکلات فراوانی را در عملیات اجرایی ایجاد می‌کند. ماسه به علت نداشتن خاصیت چسبندگی به راحتی در مسیر حرکت جریان قرار گرفته و همراه با آب منتقل می‌شود. این مشکل علاوه بر کاهش استحکام دیواره‌های جانبی، سبب انتقال حجم بالایی از ماسه به موقعیت کاری شده و موجب سختی‌هایی در اجرای پروژه می‌گردد.

بنابراین کنترل یا مهار آن یکی از برنامه‌های اصلی و دارای اهمیت بسیار بالایی می‌باشد. حالت وخیم‌تر این موضوع وقتی رخ می‌دهد که سطح آب زیرزمینی نیز در محل بالا باشد. در این مقاله ضمن بررسی این موضوع سعی گردیده با ارائه یک سری راهکارهای تجربی به نحوی مطلوب مشکل برطرف شده و خط کلکتور جدید کارگذاری شود.

• تشریح وضعیت منطقه

در منطقه‌ی مورد مطالعه (کشت و صنعت دعبل خزاعی در استان خوزستان) قبل از شروع کار، به علت وجود یک سری مشکلات در زهکش‌های تخلیه کننده آب زیرزمینی و زه آب مزارع، سطح آب زیرزمینی بسیار بالا بوده که جهت این تحقیق لازم بود، کنترل شود. در ادامه مراحل مختلف اجرای این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

• مرحله اول

در این مرحله به منظور افزایش سطح تبخیر و خشک شدن اولیه‌ی محدوده طراحی تا بالای سطح آب زیرزمینی، عملیات حفاری انجام شد (شکل ۴). یکی از موارد بسیار مهم در این مرحله از کار، دور نگهداشتن محل استقرار بیل مکانیکی از محل حفاری به دلیل باتلاقی بودن موقعیت کارگذاری و احتمال گیرکردن بیل مکانیکی از محل حفاری بود. بنابراین در صورت عریض بودن محدوده حفاری اولیه جهت پیشبرد عملیات، از دو بیل روبروی هم استفاده گردید.



شکل ۴- انجام مرحله اول حفاری

• مرحله‌ی دوم

بعد از مرحله‌ی اول، کم‌کم عمق حفاری در خط پروژه افزایش یافت و متناسب با آن عملیات تخلیه آب زیرزمینی نیز صورت پذیرفت. یکی از کارهای ابتکاری که در این تحقیق انجام شد، انجام عمل پمپاژ از چاهک‌های نصب شده در محل‌های حفاری بود (شکل ۵). این چاهک‌ها در واقع سازه‌های مخروطی دو جداره‌ای هستند که در محدوده وسط دو جداره از فیلتر مناسب استفاده گردید. وجود این فیلترها سبب جلوگیری از ورود ماسه به درون چاهک محل مکش پمپ گردید. از دیگر مزایای آن پایین آوردن سطح آب زیرزمینی و جلوگیری از مکش ماسه و مسدود شدن پمپ بود. در صورت عدم جلوگیری از خروج ماسه به همراه جریان آب پمپاژ شده، حرکت کردن ماسه پای دیوارهای جانبی به مراتب بیشتر شده و استحکام آن‌ها کاهش می‌یابد (محبوبی و بصیرزاده، ۱۳۸۶).



شکل ۵- چاهک‌های نصب شده در محل پمپاژ

• مرحله‌ی سوم

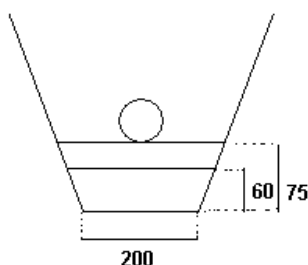
در مراحل اولیه گودبرداری مشکل حادی برای حفاری وجود نداشت و شرایط خاک منطقه تا حدی مناسب بود. ولی در اعماق پایین‌تر به علت وارد شدن به لنز ماسه‌ای شدید، استحکام دیواره‌های جانبی کاهش یافته و لازم بود با کاهش شیب دیواره‌های جانبی تا حدی با ریزش آن‌ها مقابله کرد. در بعضی از نقاط نیز به علت جوشش ماسه از زیر دیواره جانبی، تخریب دیواره و حرکت آن مشاهده شد (شکل ۶) (طاهرخانی و آل کثیر، ۱۳۸۵).

به منظور کنترل و تثبیت دیواره از مصالحی همچون تونان، آهک و سیمان استفاده شد. شکل (۶) انجام این عملیات را نشان می‌دهد (کرمی و برومندنسب، ۱۳۸۵).

یکی از مسائل مهم عملیاتی و اجرائی در لنز ماسه‌ای، حرکت ماسه و تعریض محل گودبرداری می‌باشد که این مسئله سبب عدم دسترسی بیل‌های مکانیکی به موقعیت لوله‌گذاری و ایجاد مشکل جهت انجام عملیات بعدی خواهد شد. بنابراین در مواردی که احساس می‌شود عرض کار در حال افزایش است لازم است خیلی سریع نسبت به کنترل حرکت ماسه با استفاده از مصالح و ریزش آن در محل‌های در حال تعریض اقدام کرده و عملیات را به موقعیت دیگر منتقل کرد. در پروژه‌هایی که هدف کارگذاری لوله‌های جدید به جای لوله‌های قدیمی است و خط پروژه بر روی خط قبلی قرار دارد، لازم است لوله‌های قدیمی از بستر خویش خارج شوند. ولی نکته قابل بررسی در این حالت، زمان خارج کردن این لوله‌ها می‌باشد. وجود این لوله‌ها در بستر خود به منزله عامل جلوگیری از حرکت دیواره‌ها محسوب شده و در اثر خارج کردن آن‌ها پاشنه دیواره جانبی به طرف جلو حرکت کرده و ترانشه‌های ایجاد شده استحکام خویش را از دست می‌دهند. لذا بهترین زمان خارج کردن آن‌ها زمانی است که بعد از خروج بلافاصله با مصالح موجود عمل جایگزینی صورت پذیرد و به پاشنه فرصت حرکت داده نشود که این زمان تنها هنگام مرحله تثبیت بستر امکان‌پذیر است.

• مرحله‌ی چهارم

در این پژوهش با بررسی‌های به عمل آمده و شرایط خاص منطقه‌ای به منظور ایجاد نشیمنگاه مناسب برای لوله‌های کلکتور، مقرر شد زیر لوله‌های کلکتور، بستری به عرض ۲۰۰ سانتی‌متر و عمق ۷۵ سانتی‌متر فراهم آید که ۶۰ سانتی‌متر از این عمق، شفته سیمان و کوپال و ۱۵ سانتی‌متر بالای شفته سیمان و کوپال، بتی مگر با شیب مناسب باشد (شکل ۷) (صادقی، ۱۳۸۴).



شکل ۷- بسترسازی برای لوله‌های کلکتور

جهت اجرای ۷۵ سانتی‌متر زیرسازی زیر لوله‌های کلکتور می‌توان به دو روش عمل کرد:

۱- شرایط برای بسترسازی مساعد باشد، بنابراین بعد از حفاری حدود ۷۵ سانتی‌متر زیر خط پروژه نسبت به تثبیت آن اقدام‌های لازم صورت می‌پذیرد (کردانی و شهیدی، ۱۳۸۴).

۲- موقعیت تثبیت دارای استحکام نبوده (ریزشی باشد)، لذا جهت تثبیت باید از دو بیل مکانیکی روبروی هم استفاده گردد. بیل اول جهت خاکبرداری و رساندن کد محل به کد پروژه و بیل دوم جهت ریختن مصالح مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تمام این مراحل باید کار توسط اکیپ نقشه‌بردار مستقر در محل چک شود. بعد از این مرحله مدت زمانی لازم است تا سیمان گیرش خویش را انجام داده و بتواند وزن لوله را تحمل کند. در این حالت اگر جریان آب زیرزمینی وجود داشته باشد، می‌توان با احداث یک جوی در کنار محل تثبیت شده، آب را به محل پمپاژ هدایت کرده و از آنجا نیز نسبت به خارج کردن آب از محل اقدام کرد (رمضانپور و شاهنظری، ۱۳۷۸).

بعد از تثبیت بستر لوله‌های کلکتور، بیل‌های مکانیکی در محل‌های خویش مستقر شده و نسبت به کارگذاری لوله‌ها به صورت نر و ماده اقدام شد (ساکبی، ۱۳۸۶).

در تمامی این مراحل حضور گروه‌های نقشه‌برداری الزامی است و باید کد کارگذاری لوله‌ها دقیقاً با کد پروژه همخوانی داشته باشد. بعد از نصب لوله‌ها در جایگاه مورد نظر، گروه بعدی نسبت به آب‌بندی محل اتصال لوله‌ها با کف و سپس سیمان کردن آن‌ها اقدام نمودند. این مرحله از کار بسیار مهم بوده،

در این تحقیق به دلیل شرایط بسیار حاد یکی از دیواره‌های جانبی، لازم گردید که عملیات حفاری تا عمق ۹۰ سانتی‌متر زیر خط پروژه و عرض ۶۰ سانتی‌متر صورت پذیرد (شکل ۶) و با مصالح شفته آهک، سیمان و تونان پر گردد. این کار به علت جلوگیری از حرکت دیواره به سمت جلو و ایجاد یک مانع از انتقال ذرات ماسه انجام شد (توحیدی، ۱۳۸۵).



شکل ۶- حرکت ماسه از زیر دیوار جانبی و اقدام‌های اولیه جهت کنترل

برروی شیب دیواره مجاور آن نیز به منظور جلوگیری از ریزش دیواره به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر خاک‌برداری و با شفته آهک پوشش داده شد. تمهیدات صورت پذیرفته سبب گردید تا حد زیادی دیواره تثبیت شده و از افزایش عرض ترانشه به مقدار زیادی کاسته شود. در ترانشه سمت راست (شکل ۶) نیز به علت مجاورت با مزرعه، میزان رطوبت بیشتر بود، لذا جهت تردد بیل، وضعیت نامناسب بود که در این حالت به منظور استحکام بخشیدن به آن از دوغاب شفته آهک استفاده گردید. نفوذ این دوغاب به طبقات زیرین سبب بهم چسبیدن ذرات خاک شده و شرایط را برای کارهای بعدی فراهم کرد (کشکولی و موسوی، ۱۳۸۷).

در مراحل مختلف تثبیت بستر و دیواره‌های جانبی که یکی از مهمترین و وقت‌گیرترین مراحل انجام این پروژه بود در بعضی موقعیت‌ها به دلیل شرایط بسیار شدید لنز ماسه‌ای، احتمال تعویض خاک آن منطقه با خاک رس وجود دارد (صراف‌شمس، ۱۳۸۴).

چرا که در صورت نادرست بودن می‌تواند بعد از بهره‌برداری عواقبی همچون قیفی کشیدگی و نشست از اتصالات را به همراه داشته باشد که این مسئله علاوه بر ایجاد مشکل برای خط کلکتور، سبب ورود رسوبات مختلف از قبیل رس، شن و ماسه در طول خط شده و عبور جریان را با مشکل روبرو می‌کند. لذا ارزیابی دقیق دستگاه نظارت بر صحت انجام عملیات می‌تواند تا حد زیادی از بروز این مسائل پیشگیری کرده و آینده بهره‌برداری را به خوبی تضمین کند (میرزا اسکندری، ۱۳۸۴).

• عملیات برگرداندن خاک

بعد از انجام عملیات آب‌بندی محل اتصالات لوله‌ها تا ۵۰ سانتی‌متر بالای لوله‌های کارگذاری شده، توسط شفته آهکی بکفیل شده و بعد از گذشت چند روز عملیات بکفیل نهائی صورت پذیرفت. در انجام عملیات برگرداندن خاک (بکفیل نهائی) رعایت یکسری نکات ضروری است:

جمع‌بندی

همان‌گونه که تشریح شد، داشتن علم فیزیک خاک و شناخت ماهیت خاک در بافت‌های مختلف یکی از الزامات کارهای مهندسی در محیط خاک بوده و برای اجرای روند کارگذاری لوله‌های کلکتور زیرزمینی در لوله‌های مختلف خاک، دانستن دقیق فیزیک و شرایط خاک در محل طرح، کمک شایانی به اجرای پروژه می‌کند. در این راستا چنانچه یک گروه متخصص

منابع

ابزار، د. ۱۳۸۴. بررسی مسائل و مشکلات اجرایی طرح‌های آبیاری و زهکشی. نخستین کنفرانس تجربه‌های ساخت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. توحیدی، ح. ۱۳۸۵. مسائل و مشکلات اجرایی شبکه زهکشی زیرزمینی دشت دالکی. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. جعفری، س. و. ناصری، ع. ۱۳۸۸. ارزیابی و بررسی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی و اثر آن‌ها بر روی تولید نیشکر در کشت و صنعت امیرکبیر. سومین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت تأسیسات آبی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران. رمضانپور، ع. ا. و شاهنظری، م. ر. ۱۳۷۸. تکنولوژی بتن، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، تهران.

۱- برگرداندن خاک به صورت يك دفعه صورت نگیرد، چون در این صورت حجم خاک زیاد، روی خط لوله فشار وارد کرده و سبب حرکت لوله از جایگاه خویش می‌شود.

۲- از تردد دستگاه‌های سنگین بر روی خط خودداری شود (به منظور حفاظت بهتر خط و جلوگیری از تردد ماشین آلات سنگین بر روی آن بهتر است بکفیل نهائی بصورت گرده ماهی باشد).

۳- بعد گذشت مدتی از انجام طرح، خط مفروض توسط گروه‌های شستشو مورد لایروبی قرار گیرد که در صورت وجود رسوبات ناشی از عملیات، مسیر کاملاً پاک‌سازی شود.

در پایان قابل ذکر است از آنجایی که چند سال از اجرای پروژه (از سال ۱۳۹۰ تاکنون) و کارگذاری کلکتورهای زیرزمینی با روش‌های اشاره شده در این تحقیق می‌گذرد و هیچ‌گونه مشکلی ایجاد نگردیده است، می‌توان اطمینان حاصل کرد که روش اجرایی خطوط لوله‌ای کلکتور به خصوص در لوله‌های ماسه‌ای کارایی مناسبی دارد.

خاکشناس در مراحل اجرا همکاری نماید، در حالات بحرانی تصمیم‌گیری نهایی سریع‌تر و استوارتر صورت می‌پذیرد. بنابراین مطالعه دقیق فیزیک خاک مخصوصاً از جنبه‌ی شناخت بافت و تعیین درصد ذرات تشکیل دهنده‌ی خاک، میزان رطوبت خاک و تراکم خاک، به همه کارشناسان طرح‌های عمرانی و کشاورزی پیشنهاد می‌شود تا در تمامی زمینه‌های علمی بتوان در پیشبرد طرح‌های عمرانی به نحو احسن نقش شایانی ایفا کرد.

ساکبی، س. ع. ۱۳۸۶. راهبردهای توسعه پایدار شبکه‌های آبیاری و زهکشی در خوزستان با اجرای طرح‌های زهکشی زیرزمینی. دومین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

ساکبی، س. ع. ۱۳۸۹. آسیب شناسی کار با ترنچر، بررسی مشکلات بهره‌برداری و نگهداری از زهکشی زیرزمینی و لزوم استفاده از ماشین جایگزینی در احداث زهکشی زیرزمینی. مجموعه مقالات سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. اهواز.

صادقی، س. ۱۳۸۴. مشکلات و موانع اجتماعی در زمان ساخت شبکه آبیاری و زهکشی کوثر. نخستین کنفرانس تجربه‌های ساخت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

صراف شمس، ک. ۱۳۸۴. لزوم بسترسازی در خطوط جمع‌آوری کننده زهکش‌های زیرزمینی. نخستین کنفرانس تجربه‌های

ساخت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

طاهرخانی، ک. و آل کثیر، ج. ۱۳۸۵. بررسی انسداد لترالهای زهکشی ناشی از توسعه ریشه علف‌های هرز در مزارع نیشکر استان خوزستان. اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

علیزاده، ا. ۱۳۸۷. زهکشی جدید، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

کردانی، ع. و شهیدی، ع. ۱۳۸۴. معرفی حوضه زهره و مشکلات اجرایی طرح‌های آبیاری و زهکشی. نخستین کنفرانس تجربه‌های ساخت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

کرمی، ب. و برومندنسب، س. ۱۳۸۵. بررسی مسائل و مشکلات شبکه آبیاری و زهکشی دعبل خزاعی. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

کریمی، ح. و بهرامی، ب. ۱۳۸۴. روش اجرای جمع‌کننده جمع‌کننده‌های زهکشی زیرزمینی در زمین‌های ماسه‌ای با سطح ایستابی بالا. نخستین کنفرانس تجربه‌های ساخت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

کشکولی، ح. و موسوی، س. ع. ۱۳۸۷. بررسی و شناخت مشکلات فنی زهکش زیرزمینی کشت و صنعت سلمان فارسی. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

محبوبی، آ. و بصیرزاده، ح. ۱۳۸۶. بررسی حذف ایستگاه پمپاژ زهکش اصلی شبکه آبیاری و زهکشی شرق شعیبیه و تخلیه ثقلی زهکش به رودخانه. دومین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت تأسیسات آبی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

میرزا اسکندری، م. ۱۳۸۴. نقدی بر فهارس بها و تاملی بر فهرست بهای آبیاری و زهکشی. نخستین کنفرانس تجربه‌های ساخت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

Neyrpic-Modules Evaluation for Intake Structures in the Water Providence to Downstream Areas: A Case Study of the Sefidrud Irrigation and Drainage Network

A. Habibi Kandbon^{1*}, M. Dosti², A.H. Molaghadimi³

1,3- MSc Student, Hydraulic Structures Engineering, Department of Irrigation & Reclamation, University of Tehran, Tehran, Iran . 2- MSc Student, Hydraulic Structures Engineering, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran.

*(Corresponding author Email: ammarhabibi@ut.ac.ir)

Received: 06-03-2016

Accepted: 24-11-2016

ارزیابی عملکرد مدول‌های نیرپیک به عنوان سازه آبرگیر در تأمین آب اراضی پایین دست خود در شبکه آبیاری وزه‌کشی سفیدرود

عمار حبیبی کندیبن^{۱*}، میلاد دوستی^۲، امیرحسین ملاق‌دیمی^۳

۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب- سازه‌های آبی، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران. ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب- سازه‌های آبی، بوعلی سینا همدان.

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

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۰۴

Abstract

At the present one of the most important factors in increasing the efficiency of the distribution network and farmers' satisfaction is the optimum performance of the intake structures. Thus, for an equitable distribution all over the network, information must be obtained on the normal operation of these structures and in the event of a problem action must be taken to resolve it. The main problem is the failure to supply water to the farmers located in the downstream of the network. While in some parts of the network, channels operate at their greatest capacity. In this research we have attempted to identify the reason why water was not able to reach the lower parts of the network as well as to evaluate the water distribution of each intake. Therefore the operation of a part of the Neyrpic-Modules of the Langrood canal was evaluated. The results showed that a number of the water intakes struggled to provide the necessary water needed in the downstream areas. There is no existing equity distribution in the network coverage areas. It was also found that because of malfunctioning intakes a large amount of water was lost. The loss of water through the intakes is the main reason for the lack of water reaching the farmers downstream of the network. The reason for this loss depends on many factors. The most important factors include: the Neyrpic intake fatigue, malfunctioning of regulating structures, channel erosion, and the lack of a program for the operation of the network by the authorities.

Keywords: Intake, Regulating structures, Langrood canal, Neyrpic-Modules, Equity distribution.

چکیده

در شرایط کنونی یکی از عوامل مهم در بالا بودن راندمان توزیع شبکه‌ها و رضایتمندی کشاورزان، عملکرد مطلوب سازه‌های آبرگیر می‌باشد. از این رو برای اینکه توزیع عادلانه‌ای در سرتاسر شبکه انجام گیرد، ابتدا بایستی از کارکرد صحیح و اصولی آبرگیرها اطلاع پیدا کرده، و در صورت وجود مشکل در آبرگیرها، به رفع آن اقدام کنیم. مشکل اصلی این شبکه عدم رسیدن آب موردنیاز به زمین‌های کشاورزی است که در پایین دست شبکه قرار گرفته‌اند؛ این در حالیست که در برخی از قسمت‌های شبکه، کانال‌ها با بیشترین ظرفیت خود بهره‌برداری می‌شوند. در این تحقیق سعی شد، علت عدم رسیدن آب به کشاورزان پایین دست شبکه شناسایی شده و نحوه توزیع آب در اراضی پایین دست هر آبرگیر مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور عملکرد دریچه‌های نیرپیک در قسمتی از کانال لنگرود، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تعدادی از آبرگیرها در تأمین آب موردنیاز اراضی پایین دست خود با مشکل روبه‌رو می‌باشند. عدالت توزیع در اراضی تحت پوشش شبکه وجود ندارد. همچنین مشخص شد که مقدار زیادی آب بدون استفاده، از طریق برخی از آبرگیرها به دلیل عدم کارکرد صحیح آن‌ها به هدر می‌رود. این تلفات آب توسط آبرگیرها علت اصلی نرسیدن آب به کشاورزان پایین دست شبکه می‌باشد. دلیل این هدر رفت، به عوامل مختلفی بستگی دارد. مهمترین عوامل، فرسودگی آبرگیرهای نیرپیک، عدم کارکرد صحیح سازه‌های تنظیم، فرسودگی کانال‌ها و نداشتن برنامه‌ای جهت بهره‌برداری از شبکه توسط مسئولان بهره‌برداری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبرگیر، سازه تنظیم، کانال لنگرود، مدول نیرپیک، عدالت توزیع.

کانال‌های آبرسانی و سازه‌های وابسته باید وظیفه انتقال، توزیع و تنظیم جریان را به طور مؤثر و مفید با حداقل عملیات نگهداری انجام دهند. اکثر سدهای کشور با صرف هزینه‌های بسیار سنگین دارای شبکه‌ی آبیاری مدرن شده‌اند و راندمان انتقال در این شبکه‌ها قابل قبول است، ولی فقدان کنترل و دقت در توزیع آب سبب کاهش راندمان توزیع و هدر رفتن سرمایه‌های ملی می‌شود (ساملی، ۱۳۹۳). همچنین با وجود سطح اولیه مدرن‌سازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی در ایران، به دلیل عملکرد ضعیف شبکه‌ها، بازده کل آبیاری اندک بوده و در نتیجه تلفات آب در بخش کشاورزی بسیار زیاد است (سید جواد و مشعل، ۱۳۹۳). برای اینکه راندمان توزیع در سطح مطلوبی قرار گیرد، بایستی سازه‌های موجود در شبکه عملکرد مناسبی داشته باشند. آبیگرها از جمله سازه‌هایی هستند که نقش بالایی در توزیع مناسب آب در شبکه دارند. یکی از سازه‌هایی که در اکثر شبکه‌های ایران برای امر آبیگری استفاده می‌شود، دریچه نیرپیک است. دریچه نیرپیک به دلیل سهولت در بهره‌برداری و نیز مشخص بودن دبی عبوری از آن مورد استقبال زیادی قرار گرفته است. طراحی اولیه سامانه نیرپیک که سامانه کنترل حجم ثابت نیز نامیده می‌شوند، توسط شرکت نیرپیک در سال ۱۹۱۷ در گرونویل فرانسه انجام گرفت و در سال ۱۹۶۰ به وسیله مشاور سوگرا^۱ از طریق برنامه شبیه‌سازی هیدرولیکی ارائه شده است. این سامانه سطح آب را به نحوی تنظیم می‌کند که در هر زمان حداکثر آبیگری ممکن باشد و حجم ثابت آب را در امتداد بالادست و یا پایین‌دست جریان آب حفظ کند (Belaud و همکاران، ۲۰۰۸؛ Mahajan و Kraatz، ۱۹۷۵). دریچه‌های نیرپیک یکی از سازه‌های توزیع کننده جریان بوده که در میان اپراتورها و کاربران محلی به دلیل سهولت عملیات، قابلیت کنترل و تحویل جریان کنترل شده در مقایسه با سایر سازه‌های مشابه خود جایگاه ویژه‌ای دارد (Montazar و همکاران، ۲۰۰۱).

در سال‌های اخیر تحقیقات نه چندان زیادی در زمینه دریچه‌های نیرپیک انجام گرفته است. پیل‌پایه و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی مدول‌های نیرپیک شبکه‌های آبیاری و زهکشی مغان را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که دریچه‌ها با پایین‌دست آزاد، کارایی به مراتب بهتری نسبت به دریچه‌ها با پایین‌دست مستغرق دارد. همچنین پیشنهاداتی در پایان ارائه شد که عبارت‌اند از: دریچه‌های نیرپیک بایستی به صورت پایین‌دست آزاد عمل نماید؛ دریچه‌های نیرپیکی که در کارخانه‌های داخلی ساخته می‌شوند از نظر هیدرولیکی و مکانیکی دارای دقت کافی نمی‌باشند و پیشنهاد کردند کارفرما قبل از خرید این دریچه‌ها، آن‌ها را از نظر کیفیت و آبدهی کنترل و واسنجی نمایند. منعم و مساح (۱۳۸۲) در طی تحقیقی انواع مدل‌های دریچه نیرپیک را در شرایط جریان ماندگار،

غیر ماندگار و عملیات بهره‌برداری آن‌ها مورد بررسی قرار داده و مدل ریاضی و منحنی دبی - اشل ارائه نمودند. بهزاد نسب و همکاران (۱۳۸۵) در شبکه آبیاری و زهکشی دشت اوان و شمال شرق اهواز با بازدید میدانی وضعیت موجود سازه‌های اندازه‌گیری نیرپیک، مطالعات کالیبراسیون دقت اندازه‌گیری و مشکلات موجود را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که عواملی همچون رسوب‌گذاری کانال در بالادست سرریزهای نوک اردکی، عدم دقت در طراحی رقوم آستانه، نصب سازه، تخریب سازه‌های نوک اردکی، بالا آمدن سطح آب کانال پایین‌دست نسبت به سطح آب پیش‌بینی شده به علت عدم اجرای شبکه‌های فرعی و غیره موجب کاهش عملکرد آبیگرها شده است. محسن آبادی و همکاران (۱۳۸۷) با تحلیل سازه‌های موجود در شبکه آبیاری دشت قزوین بیان نمودند که به واسطه استغراق برخی از دریچه‌های مدول نیرپیک در پایین‌دست و نیز تخلیه نشدن کامل رسوبات از داخل کانال‌های مجاور آبیگرها، در دریچه‌های یک یا دو نقابه، نسبت به دبی اسمی و محاسباتی، دبی کمتری وارد کانال‌های پایین‌دست می‌شود. در این شبکه، دریچه‌های تنظیم کننده آمیل نیز افتی بیش از افت اسمی در مسیر عبور آب ایجاد می‌کنند. همچنین نتایج بررسی‌های آن‌ها نشان می‌دهد که دریچه‌های تک نقابه، نسبت به دریچه‌های دو نقابه، در برابر تغییرات عمق آب روی تاج سرریز حساسیت بیشتری دارند. Seyedjavad و همکاران (۲۰۱۳) در طی تحقیقی شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌های نیرپیک شبکه‌ی آبیاری و زهکشی دشت ورامین را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. این تحقیق به علت تحویل و توزیع نامناسب آب به خصوص در پایین‌دست شبکه انجام گرفته است. نتایج حاصله نشان داد که حساسیت سازه‌های نیرپیک نسبت به عمق بالادست و مقدار بازشدگی دریچه‌های مدول نیرپیک بیشتر در سازه‌های انتهایی رخ داده است. همچنین برای بهره‌برداری بهینه از شبکه آبیاری ورامین بهترین روش، تأمین عمق آب برای پایین‌دست هر کانال است. Montazar و Kouchakzadeh (۲۰۰۶)، روابط مختلف حساسیت هیدرولیکی برای دریچه‌های نیرپیک را مورد بررسی قرار داده و منحنی دبی - ارتفاع را بر اساس داده‌های میدانی به منظور مطالعه حساسیت در طی دوره‌های بهره‌برداری، تهیه نمودند. Sarkardeh و Jorabloo (۲۰۱۰)، برای ارزیابی عملکرد هیدرولیکی و شناخت عوامل مؤثر در بهره‌وری شبکه‌های مدرن آبیاری، شش نوع مدول نیرپیک را در شبکه‌ی آبیاری گرمسار بررسی کردند. در این مطالعه میانگین تغییرات دبی در دریچه‌های مدول نیرپیک به ازای نوسانات سطح آب به میزان ۱۵ سانتی‌متر بالاتر از حد استاندارد (۵-۱۰ درصد) گزارش شده است. همچنین وجود مقادیر زیاد رسوب در شبکه و تعمیر و نگهداری نامناسب سازه‌های فرسوده از دلایل اصلی مشکلات آبیگرها در شبکه آبیاری گرمسار است.

از طرفی مشکل اصلی شبکه سفیدرود عدم رسیدن آب مورد نیاز به کشاورزان پایین دست شبکه می باشد. این در حالی است که در برخی از قسمت های شبکه، کانال ها با بیشترین ظرفیت خود مورد بهره برداری قرار گرفته است. از آنجا که آب به صورت حجمی در این بخش از شبکه فروخته می شود؛ بنابراین مسئولین بهره برداری توجه زیادی به دریاچه های آبگیر نداشته و آن ها به حال خود رها شده اند. اکثر آبگیرها با تمام ظرفیت کنونی خود مشغول به آبیگری هستند

مواد و روش ها

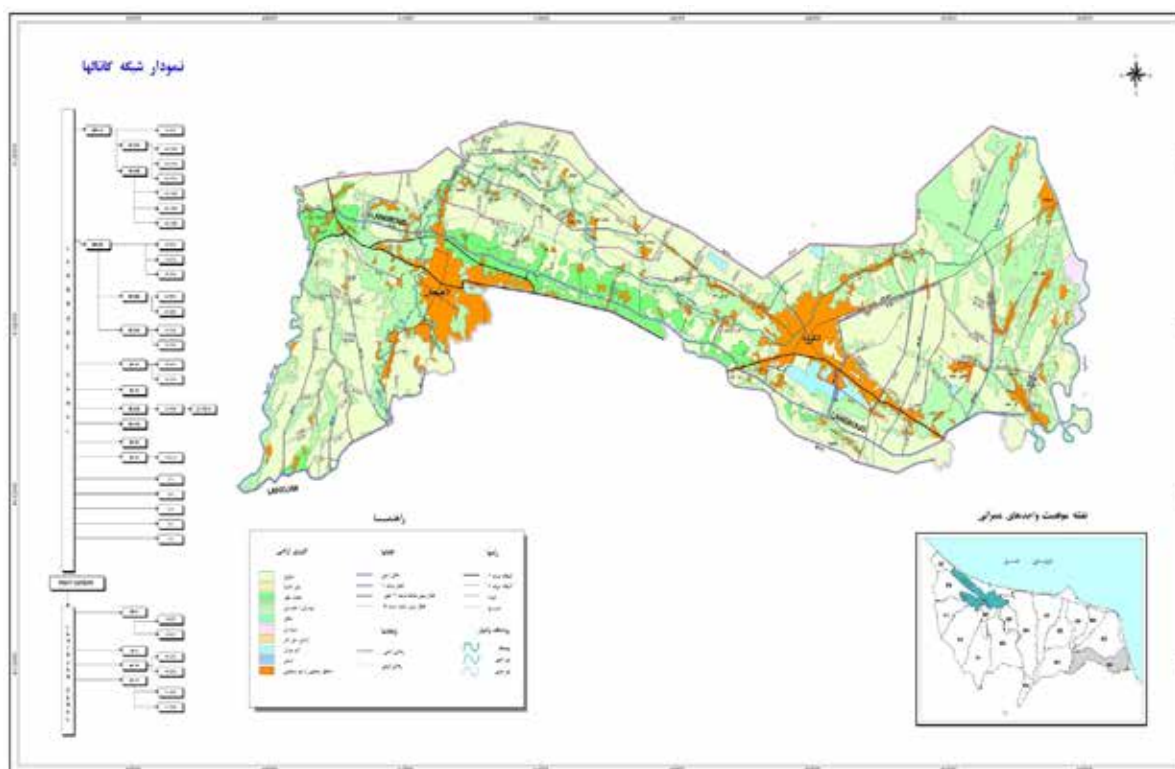
دشت گیلان که در محدوده ساحل غربی دریای خزر از ارتفاع ۲۶- تا ۱۰۰+ نسبت به سطح دریای آزاد قرار دارد، دارای آب و هوای مدیترانه ای بوده و ارتفاع متوسط بارندگی سالانه آن حدود ۱۲۰۰ میلی متر است که حدود ۷۰ درصد آن در فصل های پائیز و زمستان رخ می دهد. کشت اصلی دشت گیلان برنج است که بیش از ۹۵ درصد سطح کشت سالانه را به خود اختصاص می دهد. رودخانه سفیدرود منبع اصلی تأمین آب آبیاری دشت گیلان است که دارای جریان متوسط دراز مدت سالانه حدود ۴۵۰۰ میلیون مترمکعب است. آبگیرهای مورد مطالعه در کانال لنگرود، واقع در واحد عمرانی D2 شرق گیلان است. این کانال با پوشش بتنی به طول ۲۸ کیلومتر و ظرفیت ۹ مترمکعب در

به این معنی که تمام دریاچه های این آبگیرها به طور کامل باز است. در این تحقیق، علت عدم رسیدن آب به کشاورزان پایین دست شبکه و میزان توانایی هر آبگیر در تأمین آب اراضی پایین دست خود مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین وضعیت دبی عبوری از آبگیرها با وضعیت اولیه دبی طراحی در نظر گرفته شده برای هر آبگیر، بررسی شده است. بدین منظور عملکرد دریاچه های نیروپیک در قسمتی از کانال لنگرود، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

ثانیه از رودخانه شمرود آبیگری می نماید. کشاورزان پایین دست آبگیرهای این کانال به دلیل عدم دریافت آب مورد نیاز خود برای آبیاری، اقدام به حفر چاه و پمپاژ آب از رودخانه و زهکش نموده اند (شکل ۱).

آبگیرهای مورد نظر در منطقه همگی از نوع نیروپیک است و از نظر ظاهری در حد نامطلوبی قرار دارند. مشخصات این آبگیرها در جدول (۱) آورده شده است.

یکی از عوامل مؤثر در عدم رسیدن آب کافی به کشاورزان، آبگیرها هستند. در صورتی که آبگیرها دقت و عملکرد مناسب خود را در امر توزیع آب از دست بدهند، حتی در صورت وجود آب کافی نمی توان عدالت توزیع را در سرتاسر محدوده تحت پوشش کانال برقرار نمود و در نتیجه نارضایتی کشاورزان و مشکلات دیگری را در پی خواهد داشت.

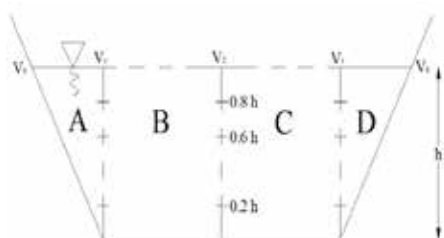


شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

جدول ۱ - مشخصات آبیگرهای نیرپیک در منطقه مورد مطالعه

دبی طراحی عبوری (lit/s)	عرض دهانه‌های آبیگر (cm)	مدول آبیگر	کیلومترژ (m)	آبیگر	نوع کانال
۲۳۰۰	۱۰۰-۴۰-۴۰-۲۰-۲۰-۱۰	C2	۴+۵۰۱	BP14	دوزنقه
۱۸۰	-	XX2	۶+۳۴۳	S15	نیم لوله
۹۰	۱۵-۱۵-۱۰-۵	XX2	۹+۷۴۸	S16	نیم لوله
۹۰	-	XX2	۱۲+۰۷۵	S17	نیم لوله
۸۵۰	۸۰-۴۰-۲۰-۲۰-۱۰	L2	۱۳+۱۵۹	SP18	نیم لوله
۲۱۰	۴۵-۳۰-۱۵-۱۰-۵	XX2	۱۷+۱۴۱	S20	نیم لوله
۵۵۰	۴۰-۴۰-۲۰-۱۰	L2	۲۰+۹۴۹	SP-22G	نیم لوله
۷۵۰	۸۰-۴۰-۲۰-۱۰	L2	۲۱+۳۸۸	SP-22D	نیم لوله
۶۰۰	۴۰-۴۰-۲۰-۱۰-۱۰	L2	۲۳+۱۲۴	SP23	نیم لوله

و ۰/۸ از کف، در سه مقطع از کانال دوزنقه‌ای و در یک مقطع از کانال‌های نیم لوله اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری دبی مطابق شکل (۲) انجام گرفت.



شکل ۲- بخش‌بندی مقطع دوزنقه‌ای و نقاط اندازه‌گیری سرعت

سپس با داشتن ابعاد کانال‌ها مقدار دبی برای هر آبیگر با استفاده از روابط (۱) الی (۴) به دست آمده است.

$$V_1 = (V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8})/4 \quad (1)$$

$$V_A = (V_1 + V_0)/2 \quad (2)$$

$$Q_A = V_A \times A \quad (3)$$

$$Q_t = Q_A + Q_B + Q_C + Q_D \quad (4)$$

در روابط (۱) الی (۴)، V_1 سرعت میانگین در نقطه اندازه‌گیری سرعت، V_A سرعت میانگین در مقطع موردنظر، Q_A دبی در مقطع مورد نظر و Q_t دبی کل در مقطع کانال است.

برای اندازه‌گیری دبی در کانال‌ها ابتدا عرض سطح آب، عرض کانال، عمق آب داخل کانال، ارتفاع کانال و در نهایت سرعت آب در ارتفاع ۰/۶ از کف اندازه‌گیری شد. سپس در نرم‌افزار Auto Cad با استفاده از ابعاد اندازه‌گیری شده، مساحت تحت پوشش آب در کانال به دست آمد. سرانجام با ضرب سرعت اندازه‌گیری شده در مساحت به دست آمده مقدار دبی در هر کانال محاسبه شد. در جدول (۲) مقدار دبی اندازه‌گیری شده برای هر

دبی طراحی ابتدای کانال لنگرود ۹ مترمکعب است. از آنجا که برخی از آبیگرها فاقد دریچه بوده و برخی دیگر با وجود دارا بودن دریچه به صورت کامل آبیگری می‌شوند، بنابراین مبنای ارزیابی، دبی طراحی آبیگرها در شرایطی که کانال با تمام ظرفیت خود مشغول به کار باشد در نظر گرفته شد. این کار برای بررسی عملکرد دبی عبوری از هر آبیگر با دبی طراحی آن انجام گرفت تا کاهش عملکرد هر یک از آبیگرها بعد از چندین سال بهره‌برداری مشخص شود. همچنین برای بررسی علت نرسیدن آب به آبیگرهای پایین‌دست کانال با وجود اینکه کانال با تمام ظرفیت خود کار می‌کند و نیز بررسی توانایی آبیگرها جهت تأمین آب مورد نیاز اراضی پایین‌دست خود، مساحت تحت پوشش هر آبیگر مشخص گردید و بر اساس آن مقدار آب مورد نیاز پایین‌دست هر آبیگر محاسبه شد.

اندازه‌گیری‌ها در زمانی انجام گرفت که قسمت ورودی کانال لنگرود با بیشترین ظرفیت خود در حال بهره‌برداری بود؛ حتی در برخی از قسمت‌های کانال، سریز آب از اطراف کانال مشاهده می‌شد. همچنین در موقع اندازه‌گیری، دریچه نیرپیک‌ها به طور کامل باز شده بودند؛ بنابراین در این حالت انتظار می‌رفت که مقدار دبی طراحی از همه آبیگرها عبور نماید. در ضمن دریچه‌های نیرپیک در BP14، S16، SP18، S20، SP22G، SP22D، SP23 و S17 وضعیت فیزیکی مناسبی برخوردار نبودند و آبیگرهای S15 و S17 در وضعیت بسیار بدی قرار داشتند به طوری که تنها اسکلت فلزی از دریچه‌ی نیرپیک، مشاهده شد. برای بررسی چگونگی عملکرد آبیگرها، ابتدا تمام قسمت‌های کانال و همچنین تمامی سازه‌های آن از نزدیک مورد بازدید قرار گرفت و وضعیت عمومی هر یک از آن‌ها ثبت گردید. در ادامه برای اندازه‌گیری دبی عبوری توسط هر آبیگر در شرایط کنونی، ابتدا مقدار سرعت جریان با استفاده از سرعت‌سنج مدل C31-0011086 و به روش سه نقطه‌ای ۰/۲، ۰/۶ و

آبگیر آورده شده است.

همچنین میزان دبی مورد نیاز اراضی پایین دست تحت پوشش هر آبگیر در دهه‌های مختلف دوره کشت محاسبه شده و در جدول (۳) آورده شده است. برای محاسبه اطلاعات این جدول ابتدا نیاز آبی برنج در دوره‌های ده روزه از نرم افزار Netwat و با استفاده از داده‌های هواشناسی موجود به دست آمد. مقدار به دست آمده در مساحت تحت پوشش هر آبگیر ضرب گردید. در نهایت مقدار حاصل شده بر عدد ده که بیانگر طول دوره نیاز آبی است تقسیم گردید. عدد به دست آمده مقدار حجم آب مورد نیاز در آن دوره است. از آنجا که مزارع برنج به طور دائم آبیاری می‌شوند، با تقسیم حجم کل آب در اراضی پایین دست هر آبگیر بر تعداد روزهای حضور جریان در کانال، مقدار دبی ورودی به کانال در دهه‌های مختلف به دست آمده است.

جدول ۲ - مقدار دبی اندازه‌گیری شده برای هر آبگیر در وضعیت کنونی

دبی اندازه‌گیری شده (lit/s)	مدول آبگیر	آبگیر
۱۳۷۳	C2	BP14
۸۹	XX2	S15
۳۷	XX2	S16
۹۸	XX2	S17
۴۳۸	L2	SP18
۱۱۶	XX2	S20
۳۳۳	L2	SP-22G
۲۳۹	L2	SP-22D
۱۲۹	L2	SP23

جدول ۳- میزان آب مورد نیاز اراضی تحت پوشش آبگیرها در دهه‌های مختلف دوره کشت بر حسب لیتر بر ثانیه (براساس اطلاعات سال ۱۳۹۳)

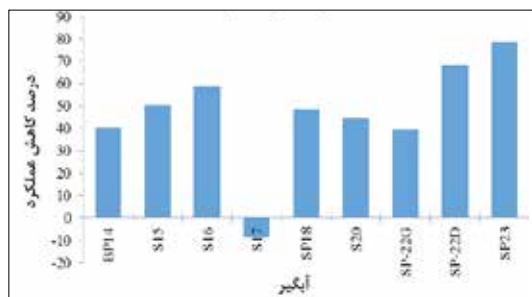
دهه‌ها	BP14	S15	S16	S17	SP18	S20	SP-22G	SP-22D	SP23
۱	۳۱۰	۳۰	۱۰	۴	۱۷۰	۲۵	۶۱	۶۱	۶۹
۲	۵۲۰	۴۰	۲۰	۶	۲۸۳	۴۱	۱۰۲	۱۰۲	۱۱۴
۳	۶۸۰	۶۰	۳۰	۸	۳۶۸	۵۴	۱۳۲	۱۳۲	۱۴۸
۴	۸۶۰	۷۰	۴۰	۱۱	۴۶۷	۶۸	۱۶۸	۱۶۷	۱۸۸
۵	۹۹۰	۸۰	۴۰	۱۲	۵۳۷	۷۸	۱۹۴	۱۹۳	۲۱۷
۶	۷۳۰	۶۰	۳۰	۹	۳۹۶	۵۸	۱۴۳	۱۴۲	۱۶۰
۷	۸۳۰	۷۰	۴۰	۱۰	۴۵۳	۶۶	۱۶۳	۱۶۲	۱۸۳
۸	۹۹۰	۸۰	۴۰	۱۲	۵۳۷	۷۸	۱۹۴	۱۹۳	۲۱۷
۹	۸۶۰	۷۰	۴۰	۱۱	۴۶۷	۶۸	۱۶۸	۱۶۷	۱۸۸
۱۰	۴۲۰	۴۰	۲۰	۵	۲۶۶	۳۳	۸۲	۸۱	۹۱
۱۱	۵۷۰	۵۰	۳۰	۷	۳۱۱	۴۵	۱۱۲	۱۱۲	۱۲۶
۱۲	۲۹۰	۲۰	۱۰	۴	۱۵۶	۲۳	۵۶	۵۶	۶۳

نتایج و بحث

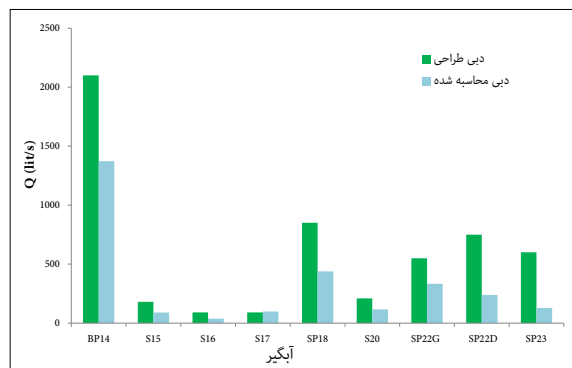
در شکل (۳) مقدار دبی طراحی و دبی اندازه‌گیری شده به صورت نمودار نمایش داده شده است.

براساس این شکل مشخص است که مقدار دبی اندازه‌گیری شده در هیچ یک از آبگیرها با دبی طراحی آبگیرها همخوانی ندارد. آبگیر BP14 به دلیل فرسودگی زیاد و وضعیت نامناسب کانال توانایی عبور دبی بیشتر را ندارد. آبگیرهای SP23، SP22D، SP22G، S20، S16، SP18 به دلیل فرسودگی، وضعیت نامناسب کانال و ناتوانی سازه‌های تنظیم برای تأمین رقوم سطح آب مورد نیاز برای آبگیری

دریچه‌های نیروپیک، توانایی عبور دبی بیشتر را ندارند. آبگیر S15 علی رقم اینکه به دلیل فرسودگی زیاد دریچه‌ی نیروپیک روی آن، به صورت سرریز عمل می‌کند، ولی توانایی عبور جریان، حتی به اندازه دبی طراحی را ندارد. دلیل این امر پایین بودن رقوم سطح آب است؛ زیرا سازه‌ی تنظیم قرار گرفته برای این آبگیر عملکرد درستی از خود نشان نمی‌دهد. با توجه به نمودار، در آبگیر S17 مقدار دبی اندازه‌گیری شده از مقدار دبی طراحی نیز بیشتر است. دلیل این امر از بین رفتن کامل ماسک‌های دریچه‌ی نیروپیک روی آن است، به نحوی که آبگیری با افزایش رقوم سطح آب به صورت سرریز انجام گرفته و دریچه نیروپیک هیچ نقشی در آبگیری ندارد.



شکل ۴ - نمودار کاهش عملکرد هر یک از آبگیرها نسبت به حالت طراحی اولیه



شکل ۳ - نمودار دبی طراحی و دبی اندازه‌گیری شده در وضعیت کنونی برای هر آبگیر

همان‌طور که نتایج به دست آمده در بالا نشان داد، کاهش عملکرد در آبگیری درچه‌ها نسبت به حالت اولیه احداث آبگیرها رخ داده است؛ بنابراین برای بررسی توانایی آبگیرها در شرایط کنونی، جهت تأمین آب اراضی پایین‌دست، ابتدا مقدار آب مورد نیاز در دهه‌های مختلف برای اراضی تحت پوشش هر آبگیر محاسبه شد (جدول ۳). سپس نمودار مقادیر حداکثر دبی عبوری از هر درچه (جدول ۲) و مقدار دبی مورد نیاز اراضی پایین‌دست همان درچه (جدول ۳) در دهه‌های مختلف رسم گردید. نمودارهای مربوط به هر یک از آبگیرها در شکل (۵) آورده شده است.

همچنین کاهش عملکرد هر یک از آبگیرها در نمودار شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که از نمودار این شکل مشخص است مقدار کاهش عملکرد در اکثر آبگیرها مشاهده می‌شود. کاهش عملکرد آبگیرهای SP18، S20، SP22G، SP22D، SP23 به ترتیب برابر ۴۰/۳، ۵۰/۵، ۵۸/۹، ۴۷/۵، ۴۴/۸، ۳۹/۴، ۶۸/۱، ۷۸/۵ درصد است. همچنین آبگیر S17 دارای افزایش عملکرد ۸/۹ درصدی بوده که دلیل آن در بالا آورده شده است.



شکل ۵- نمودار مقدار دبی حداکثر عبوری از آبگیرها و دبی مورد نیاز اراضی پایین‌دست در دهه‌های مختلف

نمودار شکل (۵) نشان می‌دهد که در وضعیت کنونی آبیگرهای BP14 و S15 همواره آب مورد نیاز اراضی پایین‌دست خود را تأمین می‌کند. ولی در برخی از دهه‌ها مانند دهه ۱، ۱۰ و ۱۲ در آبیگر BP14 و ۱، ۲، ۱۰ و ۱۲ در آبیگر S15، مقدار زیادی از آب ورودی به این آبیگرها از انتهای اراضی بدون استفاده به هدر رفته و عملکرد آبیگرها با کاهش روبه‌رو شده است. آبیگر S16 در برخی از دهه‌ها مانند دهه‌های ۴، ۵، ۷، ۸ و ۹ قادر به تأمین آب مورد نیاز اراضی پایین‌دست خود نیست. همچنین در برخی از دهه‌ها مانند ۱ و ۱۲ مقدار زیادی از آب بدون استفاده به هدر می‌رود. اگر چه آبیگر S17 توانایی تأمین آب اراضی پایین‌دست خود را دارد اما در تمام دهه‌ها مقدار خیلی زیادی آب از طریق این آبیگر بدون استفاده به هدر می‌رود. همچنین در برخی از دهه‌ها همانند ۴، ۵، ۷، ۸ و ۹ آبیگر SP18 توانایی لازم برای تأمین آب مورد نیاز اراضی پایین‌دست خود را ندارد. ولی در دهه‌های ۱ و ۱۲ مقدار زیادی آب از طریق این آبیگر به هدر می‌رود. آبیگر S20، SP22G و SP22D توانایی تأمین آب مورد نیاز اراضی پایین‌دست خود را دارد. ولی در بیشتر دهه‌ها مقدار زیادی آب از این آبیگرها به هدر می‌رود. سرانجام در بیشتر دهه‌ها آبیگر

SP23 توانایی تأمین آب مورد نیاز اراضی پایین‌دست خود را ندارد. همان‌طور که در نمودار مشخص است در دهه‌های ۵ و ۸ مقدار آب مورد نیاز اراضی خیلی بیشتر از آب تأمین شده توسط آبیگر SP23 بوده و کمبود آب در این دهه‌ها محسوس است. همان‌طور که از نمودارهای شکل (۵) پیدا است آبیگرهای SP-22G، SP-22D، S15، S17، S20، BP14 در چنین شرایطی قادر به تأمین آب پایین‌دست خود می‌باشند؛ ولی تلفات آب در این آبیگرها مشاهده می‌شود. این تلفات در آبیگر S17 بسیار زیاد بوده و هدر رفت زیاد آب از این آبیگر باعث کمبود آب در پایین‌دست شبکه شده است. در آبیگرهای SP23، S18، S16 در برخی از دهه‌ها آب مورد نیاز اراضی پایین‌دست تأمین نمی‌شود. در آبیگر S16 و S18 دلیل عدم تأمین آب مورد نیاز اراضی پایین‌دست به عدم کارکرد صحیح سازه‌های تنظیم و وضعیت عمومی آبیگرها برمی‌گردد. ولی علت اصلی این مشکل در آبیگر SP23، به دلیل نرسیدن آب کافی از بالادست شبکه به دلیل هدر رفتن زیاد آب از طریق آبیگرهای بالادست از جمله S17 است. در نهایت مقدار آب کافی به آبیگر SP23 نمی‌رسد و از طرف دیگر به دلیل عدم کارکرد صحیح سازه تنظیم این آبیگر، مشکل آبیگری دو چندان شده است.

نتیجه‌گیری

دریچه‌های نیروییک مورد مطالعه به دلیل فرسودگی زیاد، وضعیت نامناسب کانال از جمله رسوبات بسیار زیاد و وجود علف‌های هرز در نزدیکی آبیگرها و عدم کارکرد صحیح سازه‌های تنظیم شامل عدم حرکت سازه‌های آمیل و شکستگی سرریزهای نوک اردکی، توانایی عبور دبی مورد انتظار را ندارند؛ تا حدی که در شرایط کنونی بیشتر آبیگرها نسبت به حالت اولیه به طور متوسط حدود ۵۰ درصد کاهش عملکرد دارند که این عامل باعث شده آبیگرها در برخی از نقاط شبکه قادر به تأمین آب مورد نیاز اراضی پایین‌دست خود نباشند. علت به وجود آمدن این وضعیت، تعمیر و نگهداری نامناسب توسط مسئولین شبکه، مدیریت ضعیف، فقدان اطلاعات فنی صحیح، عدم وجود برنامه بهره‌برداری و بی‌توجهی به وضعیت کلی شبکه است. این وضعیت منجر شده برخی از آبیگرها حتی در تأمین آب مورد نیاز اراضی پایین‌دست خود با مشکل روبه‌رو شوند، از طرفی در برخی دیگر از آبیگرها باعث هدر رفتن آب شبکه شده است. این تلفات آب توسط آبیگرهای بالادست علت اصلی نرسیدن آب به کشاورزان در پایین‌دست‌ترین نقاط شبکه است. برای رفع مشکلات مطرح شده موارد زیر پیشنهاد می‌شود. واضح

است که این موارد نیاز به بررسی و مطالعات گسترده‌تری قبل از اجرا خواهد داشت:

- ۱- برای اینکه تمام اراضی تحت پوشش شبکه بتوانند از عدالت توزیع آب برخوردار شوند بایستی آبیگرهای مشکل‌دار در درجه اول مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس شرایط حاکم در منطقه و امکانات موجود، در صدد برطرف کردن مشکلات، اقدامات لازم انجام گیرد.
- ۲- برای بهبود عملکرد شبکه پیشنهاد می‌شود رسوبات موجود در کانال و جلوی آبیگرها و سازه‌های تنظیم جمع‌آوری شود.
- ۳- سازه‌های تنظیم بررسی شده، در صورت وجود هر گونه مشکل برای رفع آن اقدام گردد.
- ۴- بهتر است بهره‌برداری از شبکه و به خصوص توزیع آب در کانال‌های با درجات پایین‌تر با کمک تشکلهای انجام گیرد. این تشکلهای بایستی از خود کشاورزان در هر منطقه تشکیل شوند. در این صورت تشکلهای در هر منطقه به دلیل نفع شخصی خود مراقبت بیشتری از کانال و سازه‌ها انجام می‌دهند.

پی‌نوشت

1- Sugraha

- Belaud G., Litrico X., De Graaf B. and Baume J. P. 2008. Hydraulic Modeling of an automatic upstream Water-Level Control Gate for submerged Condition. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 134(3): 315-326.
- Jorabloo M. and Sarkardeh H. 2010. Hydraulic Evaluation of Neyrpic-Modules at Water Distribution Network of Garmsar Plain. *World APPI. Sci. J.*, 10(11): 1363-1367.
- Kraatz D.B. and Mahajan V.I.K. 1975. Small Hydraulic Structures. *Irrigation and Drainage Paper No. 26-2*. F. A. O. Rom.
- Montazar A. and Kouchakzadeh S. 2006. The sensitivity analysis of Baffled Distributors. *Zeitschrift fur Bewässerungswirtschaft*, 41. Jahrg, Heft, 2: 273-289.
- Seyedjavad M.S. Mashaal M. and Montazar A. 2013. Evaluation of Hydraulic Sensitivity Indicators for Baffle Modules (Case Study: Varamin Irrigation and Drainage Network). *Journal of Hydraulic Structures*, 1(2): 33-43.
- Montazar A.A. Kouchakzadeh S. and Liaghat A. 2001. Assessment of Delivery flow Behavior on Baffle Modules Using Hydraulic Sensitivity Analysis Model, *J. Appl. Irrigation Sci.*, PP: 41.
- بهزاد نسب، م. مینائی، س. و مختاران، ر. ۱۳۸۵. ارزیابی عملکرد و مسائل مشکلات سازه اندازه‌گیری نیروپیک در شبکه‌های آبیاری و زهکشی دشت اوان و شمال شرق اهواز. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه اهواز.
- پیل‌پایه، ع. افشار اصل، م. و عبدالحسینی اصل، م. ع. ۱۳۸۷. ارزیابی هیدرولیکی مدول‌های نیروپیک در شبکه آبیاری و زهکشی مغان. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.
- ساملی، ح. ر. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد هیدرولیکی ساختمان‌های آبگیر و تنظیم سطح آب در شبکه‌های آبیاری زاینده‌رود و درودزن. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۵: ۸۳-۱۰۲.
- سید جواد، م. س. و مشعل، م. ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌های نیروپیک: مطالعه موردی شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۴(۲): ۲۲۹-۲۴۹.
- محسن آبادی، ک. امیری تکلدانی، ا. و سیاهی، م. ۱۳۸۷. تحلیل عملکرد سازه‌های تنظیم آب و آبگیری و ارائه روابط جدید برای این دریچه‌ها در شبکه آبیاری دشت قزوین. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.
- منعم، م. ج. و مساح، ع. ۱۳۸۲. تدوین مدل ریاضی دریچه آبگیر نیروپیک. یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ۶۱۹-۶۰۷.

Evaluation of Methods for Estimating Environmental Flow in Rivers

Gh. Panahi¹, S.R. Khodashenas^{2*}, A.R. Faridhoseini³

1, 2, 3- MSc. Student of Water Engineering- Hydraulic Structures & Professor & Associate Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

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

Received: 19-04-2016

Accepted: 04-10-2016

ارزیابی روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها

قاسم پناهی^۱، سعیدرضا خداشناس^{۲*}، علیرضا فریدحسینی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب-سازه‌های آبی و استاد تمام و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۳۱

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۳

Abstract

Rivers have a significant impact on human life as its pollution and harming leads to the degradation of the aquatic ecosystem and eventually will cause irreparable and irreversible damage. In order to protect the stability of ecosystems in the rivers, a criterion named "environmental stream" or "environmental water requirement" is defined for the rivers which actually expresses how much current is required to maintain an aquatic ecosystem. Several methods are available for estimating this flow, however, the International Institute of Water Management Resources has classified these methods into five groups. These consist of Hydrological Methods, Hydraulic Methods, Habitat Simulation Methods, Comprehensive Methods and Combinational Methods. The purpose of this study is introduction and comparison of these methods and choosing the best methods for different regions of Iran and application of the most appropriate ones in each area.

Keywords: Environmental Flow, Hydrological Approach, Hydraulic Approach, Simulation Habitat.

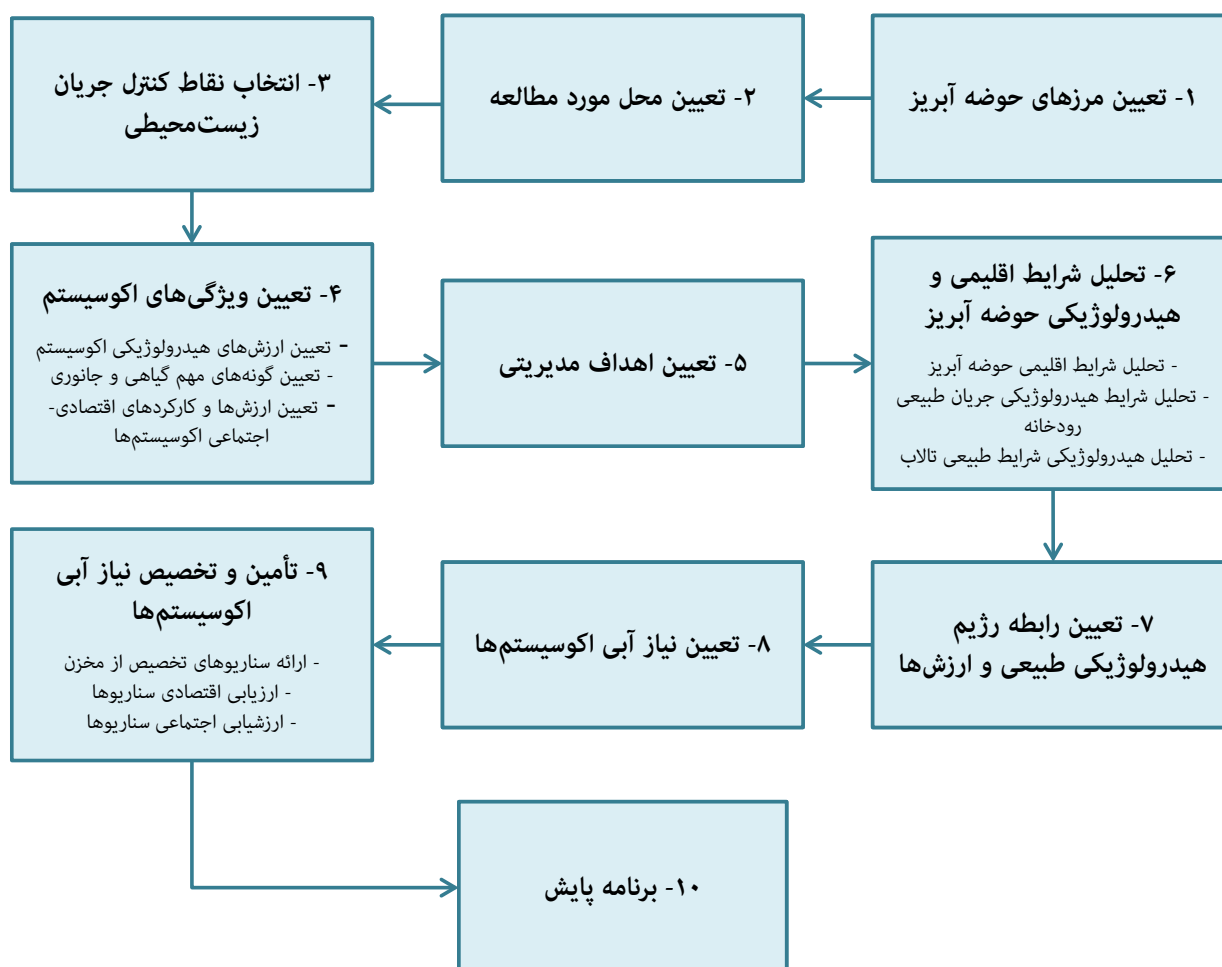
چکیده

پهنه آبی رودخانه‌ای تأثیرات به سزایی در زندگی انسان داشته است. آلوده کردن و آسیب رساندن به آن باعث تخریب اکوسیستم آبی شده و در نهایت خسارت جبران ناپذیری را ایجاد خواهد کرد. به منظور حفظ سلامت اکوسیستم رودخانه‌ها، مفهومی تحت عنوان جریان زیست‌محیطی یا نیاز آبی زیست‌محیطی در رودخانه‌ها تعریف شده است که در واقع بیان‌کننده میزان جریان مورد نیاز برای حفظ اکوسیستم آبی می‌باشد. روش‌های متعددی برای برآورد میزان این جریان وجود دارد که موسسه بین‌المللی منابع آب این روش‌ها را در پنج گروه طبقه‌بندی کرده است. این پنج گروه شامل روش‌های هیدرولوژیکی، روش‌های هیدرولیکی، روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه، روش‌های جامع و روش‌های ترکیبی می‌باشد. هدف از این بررسی، معرفی و مقایسه این روش‌ها و انتخاب بهترین روش‌ها برای مناطق مختلف ایران و برای بکارگیری این روش‌ها در مناطق مناسب آن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جریان زیست‌محیطی، رهیافت هیدرولوژیکی، رهیافت هیدرولیکی، شبیه‌سازی زیستگاه.

به طور کلی در سطح کره زمین دو نوع پهنه آبی، دارای آب شیرین است. این دو عبارتند از تالابها (دریاچه‌ها) و رودخانه‌ها. برای تالابها (دریاچه‌ها) بیشتر از واژه «نیاز آب زیست‌محیطی» استفاده می‌گردد که عموماً در واحد حجم بیان می‌شود. اما برای رودخانه‌ها عموماً واژه «جریان زیست‌محیطی» کاربرد دارد که بیشتر در قالب گذر حجمی آب بیان می‌گردد. منظور از نیاز آب زیست‌محیطی یا جریان زیست‌محیطی، میزان آب یا میزان جریانی است که بتواند شرایط و سلامت زیست‌محیطی اکوسیستم تالاب یا رودخانه را در سطح قابل قبولی حفظ نماید (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعات بررسی نیاز آب زیست‌محیطی برای اولین بار توسط سرویس حیات وحش آمریکا از ۱۹۴۰ تا ۱۹۷۰ در این کشور بکار رفت و قانون رسمی جریان زیست‌محیطی در سال ۱۹۷۰ بعنوان نتیجه در دستورالعمل سیاست‌گذاری ملی زیست‌محیطی و سند برنامه‌ریزی منابع آب به ثبت رسید. عمده کارهای انجام شده در این زمینه بر روی رودخانه‌ها متمرکز شده است. در ابتدا ایجاد

نگرش به بهبود زیستگاه‌های ماهیان و تأمین نیازهای مسیر عبور آن‌ها منحصربه‌فرد بوده و بعدها موضوعات دیگر نظیر حفاظت از چرخه‌های اکوسیستم نیز مورد توجه قرار گرفت (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۶). با توجه به عدم انجام تحقیقات مدون در زمینه تخمین جریان‌ات زیست‌محیطی در رودخانه‌ها برای ورود به این عرصه نیاز به داشتن اطلاعات وسیعی در رابطه با این موضوع می‌باشد. در این بررسی مفاهیم اساسی در این زمینه، مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور تعیین نیاز آب زیست‌محیطی با توجه به داده‌های موجود و ظرفیت‌های فنی و مالی، روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تا به حال ۲۰۰ روش به منظور برآورد حداقل جریان زیست‌محیطی شناسایی شده است (احمدی‌پور و یاسی، ۱۳۹۳). همانطور که گفته شد یکی از اهداف جریان زیست‌محیطی برای رودخانه‌ها و نیاز آب زیست‌محیطی برای تالاب‌ها، حفظ شرایط و سلامت زیست‌محیطی اکوسیستم تالاب‌ها و رودخانه‌ها در سطح قابل قبولی می‌باشد. مطمئناً دست یافتن به این هدف نیازمند انجام یک سری اقدامات می‌باشد که در نمودار شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- اقدامات پیشنهادی نویسندگان جهت تعیین و تخصیص نیاز آبی اکوسیستم‌ها

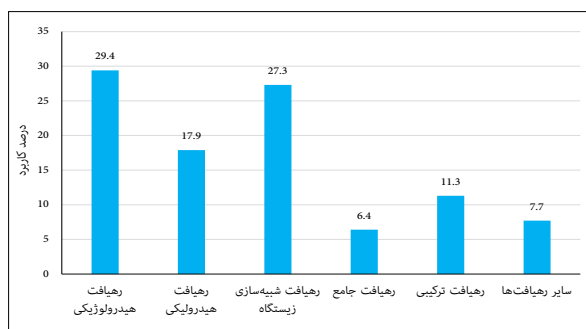
سازمان‌ها و موسسه‌های بین‌المللی زیادی از قبیل اتحادیه حفاظت از منابع طبیعی (IUCN)^۱، بانک جهانی (World Bank) و موسسه بین‌المللی منابع آب (IWMI)^۲، جهت برآورد جریان زیستی، روش‌های متفاوتی ارائه داده‌اند که در گروه‌های متفاوتی طبقه‌بندی می‌شود. موسسه بین‌المللی منابع آب روش‌های محاسبه جریان زیست‌محیطی را در پنج رهیافت طبقه‌بندی کرده است. این پنج رهیافت عبارتند از: رهیافت هیدرولوژیکی، رهیافت هیدرولیکی، رهیافت شبیه‌سازی زیستگاه، رهیافت جامع و رهیافت ترکیبی. درصد کاربرد انواع رهیافت‌ها جهت برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها، در شکل (۲) ارائه شده است (امینی شادباد و یاسی، ۱۳۸۷).

در میان کشورهای مختلف، برآورد جریان زیست‌محیطی با توجه به در دسترس بودن منابعی چون زمان، داده، سرمایه و تکنیک‌های لازم در دو سطح صورت می‌گیرد (امینی شادباد و یاسی، ۱۳۸۷):

(۱) در سطوح مقدماتی طرح‌های اجرایی، جهت حفظ اکوسیستم رودخانه‌ها از روش‌های هیدرولیکی استفاده می‌شود. در این روش، هدف ایجاد رابطه‌ای بین پارامترهای هیدرولیکی جریان رودخانه‌های موجود در حوضه با گونه غالب رودخانه‌های مورد بررسی می‌باشد. در شبیه‌سازی به روش هیدرولیکی تنها داده‌های

ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه کافی می‌باشد. احتیاج به داده‌های نسبتاً کم و همچنین سرعت تخمین بالا، موجب می‌شود که این روش در مطالعات اولیه طرح‌های اجرایی جهت حفظ اکوسیستم رودخانه‌ها، مورد توجه قرار گیرد.

(۲) در مراحل تکمیلی طرح‌های اجرایی جهت حفظ اکوسیستم رودخانه‌ها، از روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه‌ها و یا روش‌های چند جانبه استفاده می‌شود. روش شبیه‌سازی زیستگاه، روشی است که در آن تنها عوامل موثر بر حیات گونه‌ی مورد بررسی شبیه‌سازی شده و مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در روش‌های چند جانبه اکوسیستم حوضه مورد نظر، مورد بررسی قرار گرفته و تأثیرات گونه‌های مختلف بر هم ارزیابی می‌گردد.



شکل ۲- تعداد و درصد کاربرد انواع رهیافت‌ها در تخمین جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌های جهان (سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵)

هدف رخ می‌دهد. از جمله مهمترین روش‌ها برای رهیافت هیدرولیکی می‌توان به روش محیط تر شده و روش R2CROSS اشاره کرد (عریان و همکاران، ۱۳۹۲).

• **رهیافت شبیه‌سازی زیستگاه:** عدم وجود ارتباط مستقیم بین اکولوژی و هیدرولیک جریان در روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، باعث می‌شود که نتایج حاصل از این روش‌ها در بسیاری از موارد قابل دفاع نباشد. در مواردی که هدف از برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه، حفظ شرایط اکولوژیکی حوضه باشد، به خصوص در مواردی مانند تخصیص آب، این روش‌ها قابل دفاع نیستند. لذا در مواردی که هدف مورد مطالعه در رودخانه، از لحاظ اقتصادی و اجتماعی اهمیت و حساسیت بالایی داشته باشد، شبیه‌سازی فیزیک زیستگاه کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. جریان زیست‌محیطی در این روش بر اساس نیازمندی‌های هدف، تنظیم و برآورد می‌شود.

• **رهیافت جامع:** این روش‌ها، چارچوب‌هایی هستند که مدل هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه‌ها را در بر

مروری اجمالی بر رهیافت‌های پر کاربرد

• **رهیافت هیدرولوژیکی:** روش‌های مبتنی بر رهیافت‌های هیدرولوژیکی ساده‌ترین و پرکاربردترین روش‌های برآورد جریان زیست‌محیطی در سطح جهان هستند. این روش‌ها عمدتاً بر آمارهای تاریخی جریان رودخانه تکیه دارند. در این روش‌ها جریان زیست‌محیطی بصورت درصدی از متوسط آورد سالانه رودخانه تعیین می‌شود. از جمله مرسوم‌ترین روش‌های این رهیافت می‌توان به روش تنانت اشاره کرد (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۰).

• **رهیافت هیدرولیکی:** در این روش بستر رودخانه بصورت تابعی از جریان رودخانه، مدل می‌شود و بین پارامترهای هیدرولیکی نظیر پیرامون تر شده، عمق و سرعت جریان با فراوانی زیستگاه گونه‌ی هدف، رابطه برقرار می‌شود. سپس جریان زیست‌محیطی به عنوان دبی‌ای که شرایط بهینه را برای زیستگاه‌ها فراهم می‌کند، انتخاب می‌شود. در صورت عدم تأمین این جریان، کاهش چشمگیری در فراوانی گونه‌ی

می‌گیرند. این دسته از رهیافت‌ها تنها روش‌هایی هستند که بطور صریح یک روش کلی و اکوسیستم محور را که بیشترین تأثیر را برای تعیین جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها دارند، در نظر می‌گیرند. از جمله این روش‌ها می‌توان به کاهش جریان درون رودخانه‌ای (IFIM)^۲ در ایالات متحده و روش واکنش جریان به تغییرات اعمال شده جریان (DRIFT)^۴ در آفریقای جنوبی اشاره کرد (عریان و همکاران، ۱۳۹۲).

• **رهیافت ترکیبی:** به علت محدودیت‌های داده‌ای، هزینه‌های بالای برخی روش‌ها و ... در این رهیافت چندین ویژگی از چهار رهیافت قبلی را بصورت ترکیبی برای برآورد مقدار جریان زیست محیطی بکار می‌گیرند. برای آشنایی بیشتر برخی از مهمترین روش‌های هر رهیافت در جدول (۱) معرفی شده است (نشریه شماره ۵۵۷ استاندارد صنعت آب و آبفا، ۱۳۹۰).

جدول ۱- انواع رهیافت‌ها و مهمترین روش‌های آن

رهیافت	روش	میزان داده‌های مورد نیاز	مدت زمان برآورد تقریبی	میزان اطمینان به روش	بیشترین استفاده در منطقه
هیدرولوژیکی	تنانت	کم	۲ هفته	کم	ایالات متحده
هیدرولوژیکی	تحلیل منحنی تداوم جریان	کم	۱ هفته	کم	ایالات متحده
هیدرولوژیکی	ذخیره رومیزی	کم تا متوسط	۲ تا ۳ هفته	کم	ایالات متحده، هلند
هیدرولیکی	محیط تر شده	متوسط	۲ تا ۴ ماه	کم	ایالات متحده
هیدرولیکی	شیب منحنی	متوسط	۱ تا ۲ ماه	متوسط	استرالیا
هیدرولیکی	حداکثر انحنا	متوسط	۱ تا ۲ ماه	کم	استرالیا
شبیه‌سازی زیستگاه	مدل PHABSIM	زیاد	۶ تا ۱۸ ماه	متوسط	ایالات متحده
شبیه‌سازی زیستگاه	شبیه‌سازی براساس هیدرولیک جریان	زیاد	۶ تا ۹ ماه	زیاد	ایالات متحده، انگلستان، هلند
شبیه‌سازی زیستگاه	شبیه‌سازی براساس کیفیت آب	زیاد	۱ تا ۲ سال	زیاد	کانادا، هلند
جامع	افزایش جریان درون رودخانه‌ای (IFIM)	خیلی زیاد	۲ تا ۵ سال	زیاد	ایالات متحده، انگلستان
جامع	واکنش پایین دست نسبت به تغییرات جریان (DRIFT)	خیلی زیاد	۱ تا ۳ سال	زیاد	آفریقای جنوبی
ترکیبی	پنل کارشناسی	کم تا متوسط	۱ تا ۲ ماه	متوسط	آفریقای جنوبی، استرالیا
ترکیبی	تبخیر	متوسط	۶ تا ۱۲ ماه	متوسط	مصر
ترکیبی	انتقال آب-ماسه	متوسط	۶ تا ۱۲ ماه	متوسط	آلمان، فرانسه، هلند

مطالعات ارزیابی جریان زیستی در جهان

Arthington و همکاران (۲۰۰۶) برای بررسی تأثیر بلند مدت جریان زیستی بر اقلیم یک منطقه چنین پیشنهاد کردند که راه‌کارهای ارزیابی جریان زیست‌محیطی باید کشور به کشور و منطقه به منطقه مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به آن منطقه واسنجی گردد. همچنین بیان کردند که چنین کاری موجب توسعه دستورالعمل‌های مدیریت جریان‌های سطحی می‌شود و می‌تواند سهم عمده‌ای در حل اختلافات بر سر منابع آب

مشترک بین کشورها را در پی داشته باشد. Olsen و همکاران (۲۰۱۳) طی انجام پژوهشی در جهت ارزیابی جریان زیستی برای منطقه‌ای در دانمارک چنین پیشنهاد کردند که برای ارزیابی جریان زیستی در یک منطقه باید از مدل‌های واسنجی شده بر اساس شرایط اقلیمی همان منطقه استفاده کرد. همچنین بیان کردند که در واسنجی کردن مدل هیدرولوژیکی، هدف اصلی باید مورد توجه قرار گرفته و عوامل موثر بر آن با دقت زیادی مورد بررسی قرار گرفته تا مدل نسبت به آن بطور دقیق‌تری واسنجی گردد. Akter و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل ترکیبی

را ارائه دادند. مدل پیشنهادی آن‌ها ترکیبی از مدل اقتصادی و مدل زیست محیطی است. آن‌ها اظهار دارند که این مدل می‌تواند بر اساس پتانسیل‌های اقتصادی منطقه، جریان زیستی را مورد بررسی و ارزیابی قرار دهد. همچنین بیان کردند که در برآورد مقدار جریان زیست محیطی می‌توان حداکثر سود حاصله از جریان زیست محیطی در آن منطقه را ملاک اصلی قرار داد. Jackson و همکاران (۲۰۱۵) با انجام مطالعاتی در منطقه استرالیا، بیان کردند که مشکلات و چالش‌های اساسی در حوزه رودخانه‌های بزرگ، عدم توجه مردم نسبت به اولویت محیط زیست آن منطقه می‌باشد. این عدم توجه از سوی مردم نسبت به اولویت‌های محیط زیست ناشی از عدم توجه مشاوران و مهندسين در برآورد مقدار جریان زیست محیطی

مطالعات ارزیابی جریان زیستی در ایران

Shokoohi و Hong (۲۰۱۱) طی انجام پژوهشی بر روی رودخانه صفارود، حداقل جریان زیست محیطی را با دو روش هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بدست آمده از بررسی آن‌ها نشان داد که در نظر گرفتن وضعیت واقعی رودخانه یکی از الزامات ارزیابی جریان زیستی با این دو روش بوده و عدم توجه به هر یک از شرایط رودخانه منجر به نتیجه‌گیری اشتباه و متعاقباً باعث بروز مشکلات جدی برای اکوسیستم رودخانه می‌گردد. آن‌ها با یک بررسی بلند مدت بر روی رودخانه مورد نظر به این نتیجه رسیدند که روش تنانت که یکی از روش‌های هیدرولوژیکی است در دوره‌های کوتاه مدت مقدار جریان زیستی برای رودخانه را بسیار کمتر از مقدار واقعی مورد نیاز برآورد می‌کند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی برای دوره‌های بلند مدت نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌کند. در پژوهشی بر روی تالاب شادگان (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۸)، چنین نتیجه‌گیری شد که در شرایطی که جریان رودخانه به نوعی در اثر عملیات اصلاحی یا مدیریتی تحت تأثیر و تغییر قرار گرفته است، بررسی جریان زیست محیطی لازم می‌باشد. بنابراین جریان زیست محیطی را می‌توان بعنوان ابزاری به منظور اعمال مدیریت صحیح زیست محیطی، کنترل آلودگی منابع آب و حفظ اکوسیستم رودخانه در چهارچوب مدیریت جامع حوزه‌های آبریز در نظر گرفت. نتایج این بررسی کاهش مقادیر شاخص جریان زیست محیطی تالاب شادگان را در مقطع پس از احداث سد تأیید می‌کند. در پژوهشی دیگر بر روی رودخانه سفیدرود (میراخوری و همکاران، ۱۳۹۱) به این نتیجه رسیدند که روش هیدرولوژیکی برای برآورد مقدار

به اعتقادات و فرهنگ مردم آن منطقه می‌باشد. آن‌ها بیان کردند که برای واسنجی کردن مدل‌های ارزیابی جریان زیستی باید به فرهنگ و اعتقادات مردم منطقه مورد نظر که یکی از عوامل مهم می‌باشد، دقت کرد. Yin و همکاران (۲۰۱۵) طی انجام تحقیقاتی بر روی مخازن بزرگ چنین بیان کردند که اگر چه احداث سدها و مخازن بزرگ برای تولید برق آبی مفید است ولی اثرات منفی آن بر روخانه و اکوسیستم آن بیشتر است. آن‌ها بیان کردند که برای محاسبه ظرفیت ذخیره مخزن باید به مسأله حفاظت رودخانه و اکوسیستم آن توجه شود. آن‌ها برای حل این مشکل مدلی را ارائه دادند و بیان کردند که باید این مدل برای استفاده در هر حوزه بر اساس شرایط توپوگرافی، زیست محیطی و ... همان حوزه واسنجی گردد.

جریان زیست محیطی بهتر است ولی برای فصول مختلف باید مقادیر جریان زیست محیطی متفاوتی را در نظر گرفت. همچنین بیان کردند که اگر چه روش اسمختین که یکی دیگر از روش‌های هیدرولوژیکی می‌باشد، در برآورد مقدار جریان زیست محیطی بسیار دقیق‌تر از روش تنانت می‌باشد، ولی روش تنانت با برقراری مقدار جریان‌های متفاوت در فصول مختلف از نظر اقتصادی پذیرفته‌تر می‌باشد. کریمی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از روش‌های اکوهیدرولوژیکی، نیاز زیست محیطی رودخانه شهرچای را برآورد کردند. نتایج بررسی‌ها و مقایسه آن‌ها بین روش‌های مختلف ارزیابی جریان زیستی نشان داد که مقادیر محاسباتی از روش انتقال منحنی تداوم جریان بدلیل در نظر گرفتن خصوصیات اکولوژیکی اکوسیستم رودخانه، نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد. پورصالحیان و همکاران (۱۳۹۱) طی انجام مطالعاتی بر روی رودخانه بشار در استان کهگلویه و بویر احمد، چنین نتیجه‌گیری کردند که استفاده از روش تنانت برای برآورد جریان زیستی در این رودخانه کم برآورد داشته و باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی برای اکوسیستم رودخانه می‌شود. عبدی و یاسی (۱۳۹۲) جریان زیست محیطی لازم برای رودخانه هراز را با روش‌های تنانت، تسمن، مدل ذخیره رومیزی و انتقال منحنی تداوم جریان که همگی از روش‌های هیدرولوژیکی می‌باشند، برآورد کردند. با مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مختلف برآورد جریان زیست محیطی به این نتیجه رسیدند که روش انتقال منحنی تداوم جریان برای برآورد جریان زیست محیطی در رودخانه هراز بهتر و قابل اعتمادتر می‌باشد. عبدی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای بر روی رودخانه زاب، رودخانه مذکور را برای مطالعه بهتر به سه بخش تقسیم کرده و در هر بازه به طور مستقل به ارزیابی جریان زیستی پرداختند. هدف از تقسیم رودخانه زاب به ۳ بخش بالادست، میانی و

پایین دست، استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در این مناطق بود. نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که برای ارزیابی جریان زیستی در قسمت بالادست رودخانه رهیافت هیدرولوژیکی با روش انتقال منحنی تداوم جریان و در بازه میانی و پایین دست روش ترکیبی اکوهیدرولیکی مناسب است. احمدی‌پور و یاسی (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای بر روی رودخانه نازلو نشان دادند که روش تحلیل منحنی تداوم جریان (FDCA)^۵ که از جمله رهیافت‌های هیدرولوژیکی می‌باشد، برای محاسبه جریان زیستی این رودخانه بدلیل در نظر نگرفتن ویژگی‌های زیستی رودخانه گزینه مناسبی نیست. روش تنانت هم مقدار جریان زیست محیطی لازم برای حفظ اکوسیستم رودخانه را کمتر از مقدار واقعی آن برآورد می‌کند. نتایج بررسی‌های آن‌ها نشان داد که تلفیق رهیافت‌های اکوهیدرولوژیکی و اکوهیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه، میزان جریان زیستی را بطور دقیق‌تری

جمع‌بندی

با توجه به مطالعات انجام شده برای این تحقیق، می‌توان نتایج زیر را برای هر کدام از رهیافت‌ها بیان نمود:

- **رهیافت هیدرولوژیکی:** از مهمترین روش‌های این رهیافت می‌توان به روش‌های تنانت، شاخص‌های حداقل جریان و استفاده از تحلیل منحنی تداوم جریان پایه، اشاره کرد. این روش‌ها نیاز آبی زیست محیطی رودخانه را با توجه به داده‌های آماری دبی رودخانه برآورد می‌کند.

- **رهیافت هیدرولیکی:** مهمترین روش‌های این رهیافت، روش‌های پیرامون تر شده و شیب منحنی می‌باشد. در این روش‌ها، بر اساس ارتباط بین دبی جریان در رودخانه و یکی از خصوصیات هیدرولیکی، در یک مقطع از رودخانه، نیاز آبی زیست محیطی برآورد می‌شود.

- **رهیافت جامع:** مهمترین روش در این رهیافت، واکنش پایین دست نسبت به تغییرات جریان می‌باشد. در این رهیافت سعی بر آن است که تمامی شرایط محیطی برای برآورد جریان زیست محیطی بکار گرفته شود. داده‌های مورد نیاز برای برآورد جریان زیست محیطی در این رهیافت بسیار زیاد می‌باشد که علاوه بر طولانی شدن مدت زمان برآورد جریان، باعث بالا رفتن هزینه‌های طرح نیز می‌شود.

- **رهیافت ترکیبی:** برخی مواقع داده‌های مورد نیاز برای برآورد جریان زیست محیطی با روش‌هایی که تا به حال ذکر شده‌اند کافی نمی‌باشد. در این مواقع از روش‌هایی استفاده می‌شود که در رهیافت ترکیبی طبقه‌بندی می‌شود. همانطور که از عنوان این رهیافت مشخص است، ترکیبی از روش‌های دیگر رهیافت‌ها می‌باشد. میزان داده‌های مورد نیاز برای این روش‌ها کم تا متوسط

ارزیابی و محاسبه می‌کنند. رضایی و یاسی (۱۳۹۴) طی انجام مطالعاتی بر رودخانه سیمینه‌رود برای محاسبه مقدار جریان زیست محیطی از روش‌های مختلفی استفاده کردند. مقایسه نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که روش تغییر منحنی تداوم جریان با توجه به تغییرپذیری طبیعی جریان و سعی به حفظ این تغییرپذیری در جریان زیست محیطی نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد. از طرفی دیگر به دلیل این که اطلاعات اکولوژیکی مورد نیاز برای تعیین جریان‌های زیست محیطی در ایران هنوز موجود نمی‌باشد، استفاده از مدل نرم‌افزاری GEFC نیز می‌تواند نتایج قابل قبولی ارائه نماید. لازم به ذکر است که جهت همسان‌سازی برآورد مقدار حداقل جریان زیست محیطی تالاب‌ها و رودخانه‌ها، نشریه‌ای تحت عنوان "راهنمای تعیین آب مورد نیاز اکوسیستم‌های آبی" (نشریه شماره ۵۵۷ استاندارد صنعت آب و آبفا، ۱۳۹۰) تهیه و منتشر شده است.

بوده و در نتیجه هزینه‌های آن تقریباً کم می‌باشد. با توجه به میزان اعتمادپذیری نتایج حاصل از روش‌های مختلف ذکر شده و همچنین هزینه‌های طرح جهت برآورد جریان زیست محیطی و همچنین وضعیت زیست محیطی رودخانه‌ها، شبیه‌سازی زیستگاه امری ضروری به نظر می‌رسد. این مهم از چند منظر قابل بررسی است:

۱. عدم وجود ارتباط مستقیم بین اکولوژی و هیدرولیک جریان در رهیافت‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی عملاً باعث می‌شود نتایج حاصل از هر کدام از این رهیافت‌ها به تنهایی در بسیاری از موارد قابل دفاع نباشد.

۲. رهیافت‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی علی‌رغم داشتن هزینه کمتر در برآورد جریان زیست محیطی با توجه به اهمیت مسائل زیست محیطی در رودخانه‌ها در سطح ایران (با توجه به گستردگی ساخت سدهای مخزنی و پروژه‌های انحراف آب) نمی‌تواند جواب‌های دقیقی که مبتنی بر اکولوژی حاکم بر منطقه باشد، تولید کند. بنابراین لازم است تا در مطالعات برآورد جریان زیست محیطی در رودخانه‌ها، مسئله شبیه‌سازی فیزیک زیستگاه مورد توجه قرار بگیرد.

۳. یکی از مولفه‌های تأثیرگذار که نسبت به سایر مولفه‌ها توجه کمتری به آن شده، وضعیت فیزیک زیستگاه برای آبریان رودخانه است. عدم توجه به این مولفه موجب اختلال در اکوسیستم رودخانه خواهد شد.

۴. در مواردی در رودخانه که بررسی وضعیت گونه حساس و مهمی از لحاظ ارزش اقتصادی مد نظر می‌باشد، برای بررسی و پیش‌بینی وضعیت شرایط زیست گونه مورد نظر، شبیه‌سازی فیزیک زیستگاه در مورد آن گونه کاملاً ضروری است.

۵. اهمیت شناخت منشاء آلاینده‌ها و نیز پیچیدگی‌های مربوط

به تغییر و تحول آلاینده‌ها در مسیر جریان، ضرورت دیگری بر شبیه‌سازی زیستگاه است. بدیهی است رابطه تنگاتنگ بین سلامت انسان و سلامت رودخانه ضرورت این امر را دوچندان می‌نماید. در نهایت با توجه به روش‌های محاسبه جریان زیست‌محیطی که در متن مطالعه حاضر ذکر شد و با توجه به اطلاعات موجود در جدول (۱)، برای مناطق مختلف ایران که دارای اقلیم‌های متفاوتی می‌باشد، روش‌های زیر پیشنهاد می‌شود:

- در نواحی شمالی ایران که دارای اقلیم مرطوب می‌باشد، رهیافت هیدرولوژیکی با روش تنانت توصیه می‌شود.
- در نواحی مرکزی، شرقی، جنوب شرقی و جنوبی ایران که اقلیم گرم و خشک دارد، رهیافت جامع با روش واکنش پایین دست به تغییرات جریان (DRIFT) توصیه می‌شود.
- در نواحی غربی ایران که اقلیم سرد و مرطوب دارد، رهیافت شبیه‌سازی زیستگاه با روش شبیه‌سازی هیدرولیک جریان یا شبیه‌سازی بر اساس کیفیت آب توصیه می‌شود.

پی‌نوشت

- 1- International Union Conservation Natural Resources
- 2- International Water Management Institute
- 3- Instream Flow Incremental Methodology
- 4- Downstream Response to Imposed Flow Transformation
- 5- Flow Duration Curve Analysis

منابع

- احمدی‌پور، ظ. و یاسی، م. ۱۳۹۳. مقایسه روش‌های اکو-هیدرولوژیکی-هیدرولیکی در ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها (رودخانه نازلو، حوضه دریاچه ارومیه). مجله علمی-پژوهشی هیدرولیک، ۹(۲): ۶۹-۸۲.
- امینی‌شادباد، س.، یاسی، م. ۱۳۸۷. برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه تهران. تهران. ایران.
- پورصالحیان، ج.، پرویزی، م. و صدقی‌اصل، م. ۱۳۹۱. بررسی جریان زیست‌محیطی رودخانه بشار. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران. اهواز. ایران.
- ذوالفقاری، س.، قنبرپور، م.، حبیب‌نژاد، م. و افخمی، م. ۱۳۸۶. بررسی اثر پروژه سدسازی در تغییر رژیم جریان رودخانه بر اساس تعیین جریان زیست‌محیطی (مطالعه موردی سد مارون در استان خوزستان). اولین همایش ملی سد و سازه‌های هیدرولیکی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج. کرج. ایران.
- ذوالفقاری، س.، قنبرپور، م.، حبیب‌نژاد، م. و افخمی، م. ۱۳۸۸. بررسی و ارزیابی جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: تالاب شادگان). مجله علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۳(۹): ۶۷-۷۰.
- رضایی، ن. و یاسی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی جریان زیست‌محیطی سیمینه‌رود با روش‌های هیدرولوژیکی. اولین همایش ملی علوم زمین و توسعه شهری. دانشگاه تبریز. تبریز. ایران.
- سعیدی، پ.، اصلانی، ن.، نوری، ر. و نظریه‌ها، م. ۱۳۹۰. ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه کارون توسط سه روش تنانت، منحنی تداوم جریان و اسماخین. پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشگاه تهران. تهران. ایران.
- عبدی، ر. و یاسی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی روش‌های هیدرولوژی محور در برآورد نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه هراز). پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه شهید بهشتی. تهران. ایران.
- عبدی، ر.، یاسی، م. و صدقی، ج. ۱۳۹۳. ارزیابی روش‌های اکولوژیکی-هیدرولیکی-هیدرولوژیکی در برآورد جریان محیط زیستی رودخانه. فصلنامه علمی-پژوهشی آب و فاضلاب، ۲۶(۲): ۷۱-۸۱.
- عریان، س.، صادقیان، م.ص.، مخدوم‌فرخنده، م. و زرنکایی، م. ۱۳۹۲. مقایسه روش‌های تعیین حبابه محیط‌زیستی رودخانه‌ها و پیشنهاد رویکرد مناسب برای کاربرد در ایران با استفاده از روش تصمیم تاپسیس. پژوهش‌های محیط زیستی، ۴(۸): ۳-۱۴.
- کریمی، س.، سیدی، ج. و یاسی، م. ۱۳۸۹. معرفی روش ذخیره رومیزی برای محاسبه جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران.
- میراخوری، ش.، سعیدی، پ.، آقاشاهی، م. و مهرداد، ن. ۱۳۹۱. ارزیابی جریان زیست‌محیطی سفیدرود در ایستگاه قزل‌اوزن. همایش ملی جریان و آلودگی آب. دانشگاه تهران. تهران. ایران.

- studies from an Australian multi-jurisdictional water sharing initiative. *Journal of Hydrology*, 31(522): 141-151.
- Olsen M., Troldborg L., Henriksen H.J., Conallin J., Refsgaard J.C. and Boegh E. 2013. Evaluation of a typical hydrological model in relation to environmental flows. *Journal of Hydrology*, 12(507): 52-62.
- Shokoohi A. and Hong Y. 2011. Determining the minimum ecological water requirements in perennial rivers using morphological parameters. *J. of Environmental Studies*, 37(58): 117-28.
- Yin X.A., Mao X.F., Pan B.Z. and Zhao Y.W. 2015. Suitable range of reservoir storage capacities for environmental flow provision. *Ecological Engineering*, 31(76): 122-129.
- وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا. ۱۳۹۰. راهنمای تعیین آب مورد نیاز اکوسیستم‌های آبی. نشریه شماره ۵۵۷.
- Akter S., Grafton R.Q. and Merritt W.S. 2014. Integrated hydro-ecological and economic modeling of environmental flows: Macquarie Marshes, Australia. *Agricultural Water Management*, 30(145): 98-109.
- Arthington A.H., Bunn S.E., Poff N.L. and Naiman R.J. 2006. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications*, 16(4): 1311-1318.
- Jackson S., Pollino C., Maclean K., Bark R. and Moggridge B. 2015. Meeting Indigenous peoples' objectives in environmental flow assessments: Case

River Flood Routing using The Multiple-reach Muskingum Model

A. Zahiri^{1*}, S. Asghari², A.A. Dehghani³

1,3- Associate Professor, Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. 2-MSc in Civil Engineering, Lamei Gorgani Institute of Higher Education, Iran.

*(Corresponding Author Email: zahiri.arez@gmail.com)

Received: 24-06-2016

Accepted: 19-11-2016

روندیابی سیلاب رودخانه‌ها به روش ماسکینگام چندبازه‌ای

عبدالرضا ظهیری^{۱*}، سلیم اصغری^۲، امیراحمد دهقانی^۳

۱ و ۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران آب، موسسه آموزش عالی لامعی گرگانی.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۰۴

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۲۹

Abstract

The hydrological flood routing methods have many applications due to their simplicity and accuracy. Amongst these methods, the Muskingum routing model is more commonly used for river flood routing. In this model, it is assumed that the coefficients and parameters are spatially and temporally constant for a specific river. In this study, it has been shown that to increase the accuracy of traditional or single-reach Muskingum model results, a river may be split to several reaches and for each reach, the Muskingum procedure can be implemented separately. In this case, the multiple-reach Muskingum parameters will be obtained. The optimum number of reaches for a river are different and is probably dependent on the geometrical and bed slope changes through the river and should be obtained by optimization. By implementing the multiple-reach Muskingum model for the Karoun river, between Karoun and Gotvand hydrometric stations, it was shown that in this river the three-reach Muskingum model has considerably more accuracy than the single-reach method which causes the sum of squared error to decrease from 1750000 to nearly 1000000 (m^3/s)².

Keywords: Flood routing, Multiple-reach Muskingum model, Optimization, Karoun river.

چکیده

روش‌های هیدرولوژی روندیابی سیلاب به دلیل سادگی و دقت مناسب دارای کاربرد زیادی هستند. از میان این روش‌ها، مدل ماسکینگام دارای مقبولیت بیشتری برای روندیابی سیل در رودخانه‌ها بوده است. در این مدل فرض می‌شود که ضرایب یا پارامترهای مدل در زمان و مکان برای یک رودخانه ثابت می‌باشند. در این پژوهش نشان داده شده است که برای افزایش دقت نتایج، می‌توان یک آبراهه را به چند بازه تقسیم نمود و برای هر بازه، محاسبات مدل ماسکینگام را به صورت مجزا اجرا نمود. در این صورت پارامترهای ماسکینگام چندبازه‌ای به دست خواهند آمد. تعداد بهینه بازه‌ها در هر آبراهه متفاوت بوده و احتمالاً به تغییرات هندسی و شیب طولی آبراهه بستگی داشته و باید به کمک بهینه‌سازی به دست آیند. اجرای مدل ماسکینگام چندبازه‌ای برای رودخانه کارون در حد فاصل ایستگاه‌های هیدرومتری کارون-گتوند نشان داد که در این محدوده، تقسیم آبراهه به سه بازه نتایج بسیار بهتری نسبت به یکس بازه دارد؛ به‌طوری‌که مجموع مربعات خطا از حدود ۱۷۵۰۰۰۰ به حدود ۱۰۰۰۰۰۰ (m^3/s)² کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: روندیابی سیلاب، مدل ماسکینگام چندبازه‌ای، بهینه‌سازی، رودخانه کارون.

است. شبکه‌های عصبی مصنوعی (Yang و Chang، ۲۰۰۱؛ Chu، ۲۰۰۹)، الگوریتم ژنتیک (Perumal، ۱۹۹۴؛ Mohan، ۱۹۹۷؛ ظهیری و همکاران، ۱۳۹۱)، الگوریتم نورد شبیه‌سازی شده (محمّدی قلعه‌نی و همکاران، ۱۳۸۹)، بهینه‌سازی غیرخطی پاول (Samani و Shamsipour، ۲۰۰۴)، الگوریتم ژنتیک ارتقاء یافته (Bozorg-Haddad و همکاران، ۲۰۱۵)، روش‌های جستجوی مستقیم^۱ و هارمونیک^۲ (محمّدی قلعه‌نی و ابراهیمی، ۱۳۹۱)، الگوریتم جهش قورباغه (عروجی و همکاران، ۱۳۹۲)، الگوریتم رقابت استعماری (رجبی و همکاران، ۱۳۹۴) و ... از جمله روش‌هایی هستند که تاکنون توسط محققین مختلف برای محاسبه سریع و دقیق پارامترهای مدل ماسکینگام مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نکته مشترک در میان این تحقیقات فراوان این است که اغلب روش‌ها و الگوریتم‌های مذکور دارای محاسبات پیچیده و زمان‌بر می‌باشد.

تاکنون علاوه بر بهینه‌سازی ضرایب مدل ماسکینگام به کمک روش‌های نوین که عموماً زمان‌بر هستند، ایده‌های ساده‌تری نیز معرفی شده‌اند. روشی که اخیراً ارائه شده و از دقت و سادگی بسیار زیادی برخوردار است، بهینه‌سازی ضرایب روش ماسکینگام به کمک نرم‌افزار اکسل و ابزار Solver است (Hosseini، ۲۰۰۹؛ Karahan، ۲۰۱۲؛ Barati، ۲۰۱۳). این ابزار قابلیت بسیار بالایی در بهینه‌سازی معادلات غیرخطی و پیچیده دارد. به همین دلیل انجام محاسبات مدل ماسکینگام به کمک اکسل از دقت و سرعت بسیار بیشتری نسبت به روش معمول گرافیکی و نیز سایر روش‌های بهینه‌سازی برخوردار است. همچنین برای افزایش دقت محاسبات روندیابی سیل به روش ماسکینگام، Hosseini (۲۰۰۹) مدل ماسکینگام چندبازه‌ای را پیشنهاد نموده است. در این پژوهش، به کمک دو ایده ساده اخیر، روندیابی سیلاب در دو بازه از رودخانه کارون به روش ماسکینگام چندبازه‌ای انجام شده و دقت این روش با روش معمول (یک بازه‌ای) ماسکینگام مقایسه شده است.

که K (بر حسب ساعت) و x ضرایب ثابتی هستند که باید بر اساس هیدروگراف ورودی و خروجی اندازه‌گیری شده در رودخانه، محاسبه شوند. پارامتر K بیان‌کننده زمان پیمایش رودخانه بوده و به طول رودخانه و تندی موج سیلاب بستگی دارد در حالی که x بیانگر اثر دبی‌های ورودی و خروجی سیل بر حجم ذخیره رودخانه بوده و معمولاً در محدوده ۰/۵-۰/۰ تغییر می‌کند. با تعیین این دو پارامتر، می‌توان هیدروگراف دبی خروجی سیلاب را برای هر سیلی که در رودخانه اتفاق می‌افتد محاسبه نمود. برای انجام این کار از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$O_{t+1} = C_1 I_t + C_2 I_{t+1} + C_3 O_t \quad (۳)$$

که I_t و I_{t+1} به ترتیب دبی‌های ورودی سیل در زمان‌های t و $t+1$ از

انجام محاسبات روندیابی سیل در رودخانه‌ها به عنوان یکی از پیش‌نیازهای مهم طرح‌های مطالعاتی کنترل سازه‌ای و غیرسازه‌ای سیلاب بوده و صحت نتایج آن در طراحی و اجرای سازه‌های کنترل و مدیریت سیلاب رودخانه اهمیت زیادی دارد. روش‌های روندیابی سیلاب در رودخانه‌ها را می‌توان به دو روش هیدرولیکی و هیدرولوژیکی طبقه‌بندی نمود. به‌طور کلی روش‌های هیدرولیکی در مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی، پروفیل امواج سیلاب را بهتر توصیف می‌کنند، اما این روش‌ها دارای پیچیدگی محاسباتی بیشتری بوده و به داده‌های ورودی بیشتری نیاز دارند. هم‌اکنون نرم‌افزارهای ریاضی-هیدرولیکی متعددی بر پایه حل عددی معادلات پیوستگی و مومنتوم سن‌ونان وجود دارند که به ابزار اصلی مهندسين هیدرولیک برای تعیین هیدروگراف‌های عمق و دبی جریان خروجی ناشی از گذر سیلاب از رودخانه‌ها تبدیل شده‌اند. برای سادگی کاربرد و اجرای فرآیند روندیابی سیل در رودخانه‌ها، روش‌های هیدرولوژیکی ارائه شده‌اند. یکی از مهمترین و پرکاربردترین روش‌های هیدرولوژیکی، روش ماسکینگام است که مورد توجه بسیاری از محققین و کاربران قرار گرفته است (Hosseini، ۲۰۰۹؛ براتی و اکبری، ۱۳۹۱). این روش به داده‌های هیدرولیک جریان و هندسه رودخانه نیاز نداشته و فقط کافی است هیدروگراف یک واقعه سیل از رودخانه در ایستگاه ورودی و خروجی در یک بازه از رودخانه موجود باشد. با محاسبه ضرایب روش ماسکینگام به ازاء این واقعه سیلابی، می‌توان از این روش برای روندیابی سیل‌های دیگر استفاده نمود. برای کاربرد روش ماسکینگام در رودخانه‌ها باید ابتدا بر اساس آمار سیلاب خروجی از رودخانه، ضریب وزنی x و زمان پیمایش رودخانه (K) واسنجی شوند. تاکنون روش‌های زیادی بر اساس اصول و مبانی بهینه‌سازی توسط محققین مختلف برای محاسبه ضرایب روش ماسکینگام در رودخانه‌ها ارائه شده

مواد و روش‌ها

• روش ماسکینگام

مبنای روش ماسکینگام بر پایه معادله پیوستگی استوار است:

$$\frac{dS}{dt} = I - O \quad (۱)$$

که S حجم ذخیره آب در رودخانه، I دبی سیل ورودی، O دبی سیل خروجی و t زمان است. در روش ماسکینگام خطی فرض می‌شود که حجم ذخیره، تابعی خطی از سیلاب ورودی و خروجی است:

$$S = K[xI + (1-x)O] \quad (۲)$$

هیدروگراف ورودی سیلاب، O_t و O_{t+1} به ترتیب دبی‌های خروجی سیل در زمان‌های t و $t+1$ (از هیدروگراف خروجی سیلاب) و ضرایب C_1 ، C_2 و C_3 ضرایب روندیابی می‌باشند. این ضرایب از روابط زیر تعیین می‌شوند:

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{Kx + 0.5\Delta t}{K(1-x) + 0.5\Delta t} \\ C_2 &= \frac{0.5\Delta t - Kx}{K(1-x) + 0.5\Delta t} \\ C_3 &= \frac{K - Kx - 0.5\Delta t}{K(1-x) + 0.5\Delta t} \end{aligned} \quad (4)$$

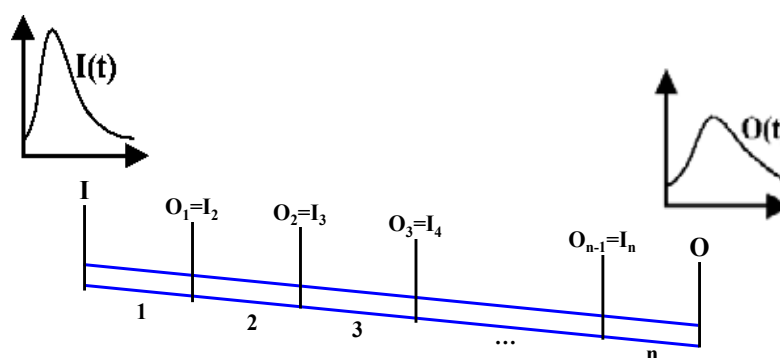
که گام زمانی محاسبات است. با تعیین ضرایب روندیابی، رابطه (۳) به صورت تکراری مورد استفاده قرار می‌گیرد تا هیدروگراف سیل خروجی را محاسبه نماید. مهم‌ترین مرحله محاسبات، تعیین پارامترهای K و x است که استفاده از روش‌های معمول برای محاسبه دقیق این ضرایب، پیچیده و زمان‌بر می‌باشد.

• بهینه‌سازی ضرایب ماسکینگام چندبازه‌ای

از میان الگوریتم‌های زیادی که محققین مختلف برای تعیین مقادیر بهینه پارامترهای مدل ماسکینگام (K و x) در آبراهه‌ها معرفی نموده‌اند، بدون شک استفاده از نرم‌افزار اکسل از سادگی بسیار بیشتری برخوردار است (Hosseini, ۲۰۰۹; Karahan, ۲۰۱۲). در نرم‌افزار اکسل سودمندی به منظور حل مسائل بهینه‌سازی خطی و غیرخطی وجود دارد که برای بسیاری از کاربردهای

مهندسی قابل استفاده است. در این ابزار، متغیرهای تصمیم‌گیری (در این پژوهش، ضرایب ماسکینگام) با استفاده از چندین روش بهینه‌سازی قابل تعیین هستند که در این مقاله از روش بهینه‌سازی گرادیان کاهشی تعمیم یافته غیرخطی^۲ استفاده شد.

همچنین روش ماسکینگام چندبازه‌ای نیز به منظور افزایش دقت و کارآتر نمودن محاسبات روش معمول ماسکینگام معرفی و ارائه شده است. در این روش، رودخانه مورد بررسی به چند بازه کوچک‌تر تقسیم شده و برای هر بازه، محاسبات روندیابی ماسکینگام به صورت مجزا انجام می‌شود. به عبارت بهتر برای هر بازه، پارامترهای K و x مدل ماسکینگام به صورت مجزا محاسبه می‌شوند. محاسبات به گونه‌ای است که بر اساس هیدروگراف سیلاب ورودی و مقادیر فرضی K و x برای بازه اول، هیدروگراف خروجی از این بازه به دست می‌آید. این هیدروگراف خروجی، به عنوان هیدروگراف ورودی بازه دوم در نظر گرفته می‌شود و مجدداً به کمک این هیدروگراف ورودی و مقادیر فرضی K و x برای بازه دوم، هیدروگراف خروجی این بازه محاسبه می‌شود. این فرآیند به تعداد بازه‌های در نظر گرفته شده تکرار می‌شود تا در نهایت هیدروگراف خروجی از انتهای رودخانه به دست آید. با مقایسه این هیدروگراف خروجی با هیدروگراف خروجی واقعی، خطای محاسباتی مدل محاسبه شده و برای رسیدن به حداقل خطا، ضرایب مدل ماسکینگام در تمامی بازه‌ها بهینه می‌شوند. در شکل (۱) نمای ساده‌ای از تقسیم‌بندی یک آبراهه به چند بازه در روش ماسکینگام چندبازه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۱- تقسیم سیستم اصلی رودخانه به چند بازه کوچک‌تر در روش ماسکینگام چندبازه‌ای

کارون در بازه‌های مورد مطالعه در این پژوهش نشان داده شده است. علاوه بر این رودخانه، از داده‌های کانال فرضی ویلسون نیز برای ارزیابی دقت نتایج استفاده شده است. مسیر رودخانه در حد فاصل ملاثانی تا ویس به فاصله تقریبی ۱۵ کیلومتر بصورت مستقیم است اما از ویس تا اهواز دارای قوس‌های متعددی می‌باشد. در این پژوهش دو واقعه سیلاب اتفاق افتاده در بازه ملاثانی-اهواز مربوط به دی ماه سال ۶۰ و بازه سد گتوند تا ایستگاه گتوند در فروردین ماه سال ۶۱ مورد بررسی قرار گرفته است.

• رودخانه مورد مطالعه

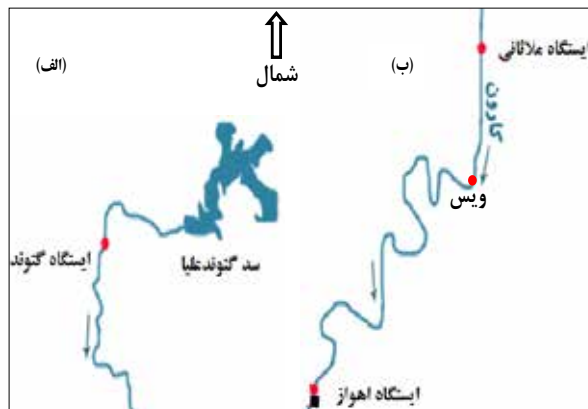
رودخانه کارون طولانی‌ترین رودخانه ایران بوده و از نظر منابع آب نیز دارای اهمیت زیادی است. سیلاب‌های این رودخانه دارای مقادیر دبی اوج بالایی بوده و رسوبات زیادی نیز با خود حمل می‌کنند. با توجه به شیب کم اراضی جلگه‌ای در سواحل این رودخانه، انجام دقیق روندیابی سیلاب حائز اهمیت زیادی است. در این تحقیق، از دو واقعه سیلاب اتفاق افتاده در این رودخانه بزرگ استفاده شده است. در شکل‌های (۲) و (۳) پلان رودخانه

• ارزیابی دقت نتایج محاسباتی

برای بررسی دقت نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف روندیابی سیلاب در رودخانه‌های مورد مطالعه در این پژوهش از معیار آماری مجموع مربعات خطا (SSQ) به صورت زیر استفاده شده است:

$$SSQ = \sum_{i=1}^N (O_i^{\text{computed}} - O_i^{\text{observed}})^2 \quad (5)$$

که در آن SSQ مجموع مربعات خطا یا اختلاف بین دبی جریان خروجی مشاهداتی و محاسباتی و N تعداد داده‌های ثبت شده است.



شکل ۲- پلان رودخانه کارون در دو بازه مورد مطالعه، (الف) بازه سد گتوند تا ایستگاه گتوند و (ب) بازه ملاتانی تا اهواز

نتایج پژوهش

در این بخش نتایج حاصل از حل روندیابی هیدرولوژیکی سیل به روش ماسکینگام برای یک کانال فرضی و یک رودخانه طبیعی در کشور ارائه شده و کارایی ایده چندبازه نمودن آبراهه برای افزایش دقت محاسبات روش ماسکینگام مورد بررسی قرار گرفته است.

• نتایج داده‌های ویلسون

داده‌های Wilson (۱۹۷۴) یکی از مهم‌ترین داده‌هایی است که برای بسیاری از مطالعات بهینه‌سازی روندیابی سیلاب مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه روندیابی سیلاب برای این داده‌ها به روش ماسکینگام یک بازه‌ای، دو بازه‌ای و سه بازه‌ای انجام شده است (شکل ۳). نتایج روندیابی به کمک بهینه‌سازی ضرایب ماسکینگام با استفاده از روش گرادین کاهشی تعمیم یافته غیرخطی به دست آمده است. در این الگوریتم، ابتدا تابع هدف و تمامی محدودیت‌ها (قیدها) که غیرخطی هستند، خطی شده و سپس مسئله خطی شده به کمک روش برنامه‌ریزی خطی حل خواهد شد. مزیت روش گرادین کاهشی تعمیم‌یافته این است که کاربرد آن بسیار ساده بوده و زمان اجرای آن نیز بسیار کم است (Lasdon و همکاران، ۱۹۷۴). در شکل (۳-الف) نتایج روندیابی سیلاب به روش ماسکینگام یک بازه‌ای برای این داده‌ها نشان داده شده است. مقادیر بهینه ضرایب x و K برای این نتایج به ترتیب -0.38 و 16.61 می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج محاسباتی هیدروگراف خروجی با هیدروگراف واقعی مطابقت مناسبی دارد. مجموع مربعات خطا برای این نتایج حدود 541.2 (مترمکعب بر ثانیه)^۲ می‌باشد. دبی اوج سیلاب خروجی محاسباتی حدود 83.5 مترمکعب بر ثانیه به دست آمده است که نسبت به مقدار واقعی (85 مترمکعب بر ثانیه) حدود $1/8$ درصد اختلاف دارد. زمان دبی اوج نیز 54

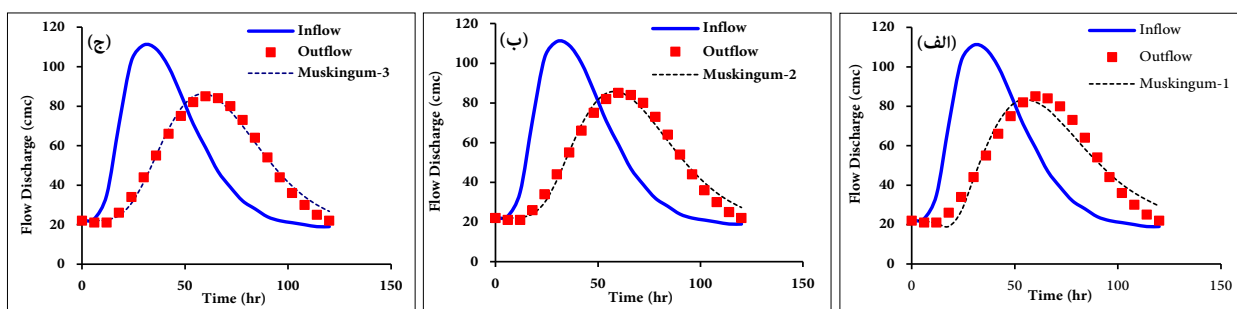
ساعت بعد از وقوع سیل اتفاق افتاده است که ۶ ساعت با زمان واقعی اختلاف دارد. این در حالی است که مقدار مجموع مربعات خطا برای نتایج اصلی ویلسون که بر پایه حل روش ماسکینگام به کمک روش گرافیکی است حدود 110.5 (مترمکعب بر ثانیه)^۲ می‌باشد. قابل ذکر است که در مطالعه ویلسون مقادیر بهینه ضرایب x و K به ترتیب 0.25 و 36 به دست آمده‌اند (Hosseini, ۲۰۰۹).

نکته مهمی که لازم است به آن اشاره شود این است که بعضی از محققان اعتقاد دارند که چون ضریب x بر اساس مفاهیم علم هیدرولوژی دارای مفهوم حجم ذخیره گوه‌ای سیلاب در رودخانه است بنابراین نباید مقدار آن منفی باشد. بر این اساس محدوده معمول برای این ضریب 0 تا 0.5 گزارش شده است. اما محققان دیگری مثل Dooze (۱۹۷۳) معتقد هستند که بر اساس مفاهیم مدل‌سازی ریاضی، مقدار این ضریب دارای هیچ محدوده‌ای نبوده و از مقادیر بسیار کوچک منفی تا مقادیر بسیار بزرگ مثبت را شامل می‌شود (Singh, ۱۹۸۸; Hosseini, ۲۰۰۹).

در شکل (۳-ب) نتایج روندیابی دو بازه‌ای سیل ویلسون به کمک روش ماسکینگام نشان داده شده است. مقادیر بهینه ضرایب x و K برای این نتایج برای بازه اول به ترتیب -0.096 و 11.20 ساعت و برای بازه دوم به ترتیب -0.096 و 11.20 به دست آمده‌اند. مجموع مربعات خطا برای این نتایج حدود 206.6 می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، مطابقت هیدروگراف دبی خروجی سیلاب محاسباتی با هیدروگراف خروجی واقعی نسبت به حالت ماسکینگام یک بازه‌ای بهبود زیادی یافته است. دبی اوج سیلاب خروجی در این حالت حدود 85.6 مترمکعب بر ثانیه به دست آمده است که با دبی واقعی فقط 0.6 مترمکعب بر ثانیه اختلاف دارد. همچنین زمان وقوع دبی پیک خروجی محاسباتی با زمان واقعی یکسان است که دقت مناسب ایده دو بازه‌ای نمودن محاسبات را نشان می‌دهد.

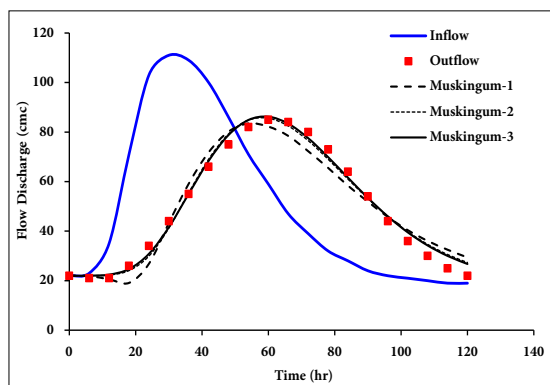
همین فرآیند برای حالت سه بازه‌ای نیز انجام شده و نتایج آن در شکل (۳-ج) ارائه شده است. اگرچه ظاهراً نتایج این مرحله با نتایج مرحله قبل (حالت دو بازه‌ای) تفاوت چندانی ندارد، اما این تفاوت از نظر آماری و هیدرولوژیکی قابل ملاحظه است، به طوری که مجموع مربعات خطا از مقدار $206/6$ در حالت دو بازه‌ای به مقدار $154/8$ کاهش یافته است. تفاوت دیگر که مهم‌تر بوده و از نظر هیدرولوژیکی قابل اهمیت است، تغییر ضرایب K و x است. در حالت سه بازه‌ای، این مقادیر برای هر سه بازه به ترتیب $0/075$ و $10/25$ ساعت به دست آمده‌اند که به دلیل

مثبت بودن مقادیر x و نیز قرار گرفتن آنها در محدوده قابل قبول هیدرولوژیست‌ها (صفر تا $0/5$)، قابل توجه و ارزش است. دقت محاسبات ماسکینگام سه بازه‌ای از این جنبه نیز قابل اهمیت است که طبق نتایج محمدی قلعه‌نی و ابراهیمی (۱۳۹۱)، بهترین حالت بهینه‌سازی ضرایب ماسکینگام برای داده‌های سیل ویلسون به کمک روش‌های جستجوی مستقیم و جستجوی هارمونیک به دست آمده و مجذور مربعات خطا برای این دو روش حدود 180 مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیانگر دقت کمتر این روش‌ها نسبت به روش ماسکینگام سه بازه‌ای است.



شکل ۳- نتایج روندیابی سیل ویلسون به کمک روش ماسکینگام یک بازه‌ای، دو بازه‌ای و سه بازه‌ای

کینماتیکی است (Singh, ۱۹۸۸)، صحیح می‌باشد.



شکل ۴- نتایج روندیابی چندبازه‌ای ماسکینگام برای داده‌های ویلسون

در شکل (۴) نتایج محاسبات هر سه حالت یک بازه‌ای، دوبازه‌ای و سه بازه‌ای روش ماسکینگام برای سیل ویلسون نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج محاسبات ماسکینگام دو بازه‌ای و سه بازه‌ای دارای دقت بهتری نسبت به حالت معمول ماسکینگام بوده و مطابقت بیشتری با داده‌های واقعی ویلسون دارند. همچنین نتایج حالت دوبازه‌ای و سه بازه‌ای تقریباً یکسان بوده و انتظار می‌رود افزایش تعداد بازه‌ها به بیش از سه بازه، دقت محاسبات را چندان افزایش ندهد. با بررسی دقیق‌تر مقادیر ضریب K در سه حالت یک بازه‌ای، دو بازه‌ای و سه بازه‌ای این واقعیت مشخص می‌شود که با افزایش تعداد بازه‌ها، مقدار این ضریب روندی کاهشی داشته است. این روند با توجه به مفهوم هیدرولوژیکی ضریب K که نسبت طول بازه به تندی موج

• نتایج روندیابی سیل برای رودخانه کارون

- بازه ملاثانی تا اهواز

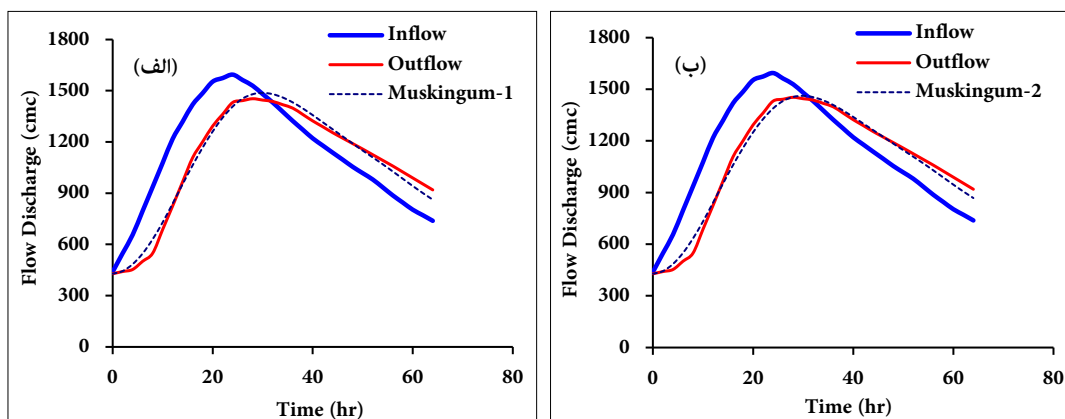
واقعیه سیلابی اول انتخاب شده در این تحقیق، سیل مورخ ۱۷ تا ۱۹ دی ماه ۱۳۶۰ می‌باشد. در شکل (۵-الف) هیدروگراف سیلاب ورودی به ایستگاه هیدرومتری ملاثانی و نتایج روندیابی این سیل در محل ایستگاه هیدرومتری اهواز (خروجی بازه‌ای به طول ۶۳ کیلومتر) به کمک روش ماسکینگام یک بازه‌ای نشان داده شده

است. دبی اوج سیلاب ورودی به ایستگاه هیدرومتری بالادست (ملاثانی) حدود 1600 متر مکعب بر ثانیه و دبی خروجی از ایستگاه پایین‌دست (اهواز) حدود 1453 مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. ضرایب بهینه ماسکینگام در این حالت به ترتیب $K=6/58$ و $x=0$ بدست آمده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود نتایج این محاسبات دارای مطابقت مناسبی با هیدروگراف خروجی از بازه مورد نظر است. دبی اوج سیلاب خروجی واقعی

از ایستگاه هیدرومتری اهواز که مهمترین ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه کارون بوده و در محدوده شهر اهواز قرار گرفته است حدود ۱۴۵۳ و دبی اوج سیلاب محاسباتی حدود ۱۴۸۳ مترمکعب بر ثانیه می باشد. این اختلاف دبی جریان (۳۰ مترمکعب بر ثانیه) معادل حدود ۲/۱ درصد می باشد. همچنین زمان وقوع دبی اوج سیلاب واقعی و محاسباتی به ترتیب ۲۸ و ۳۰ ساعت بعد از عبور سیلاب از ایستگاه ملاثانی اتفاق افتاده است که بیانگر خطای ۲ ساعت می باشد.

برای افزایش دقت محاسبات، بازه ۶۳ کیلومتری مورد نظر به دو زیربازه تقسیم شده و محاسبات ماسکینگام مجدداً انجام شده

است. نتایج این مرحله از محاسبات در شکل (۵-ب) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود نتایج محاسبات ماسکینگام دو بازه ای دارای دقت بهتری است به طوری که دبی اوج سیلاب خروجی محاسباتی در این مرحله حدود ۱۴۶۱ مترمکعب بر ثانیه بدست آمده است. خطای محاسبه دبی اوج خروجی در این حالت از ۲/۱ درصد در حالت ماسکینگام یک بازه ای به حدود ۰/۶ درصد کاهش یافته است. ضرایب بهینه x و K برای بازه اول به ترتیب ۰/۶۴ و ۱۳/۶۹ و برای بازه دوم به ترتیب ۰ و ۱۹/۹۱ بدست آمده است. با توجه به دقت مناسب این محاسبات، افزایش دو بازه به سه بازه مدنظر قرار نگرفته است.



شکل ۵- نتایج روندیابی سیلاب رودخانه کارون (ملاثانی-اهواز) به روش ماسکینگام (الف) یک بازه ای و (ب) دو بازه ای

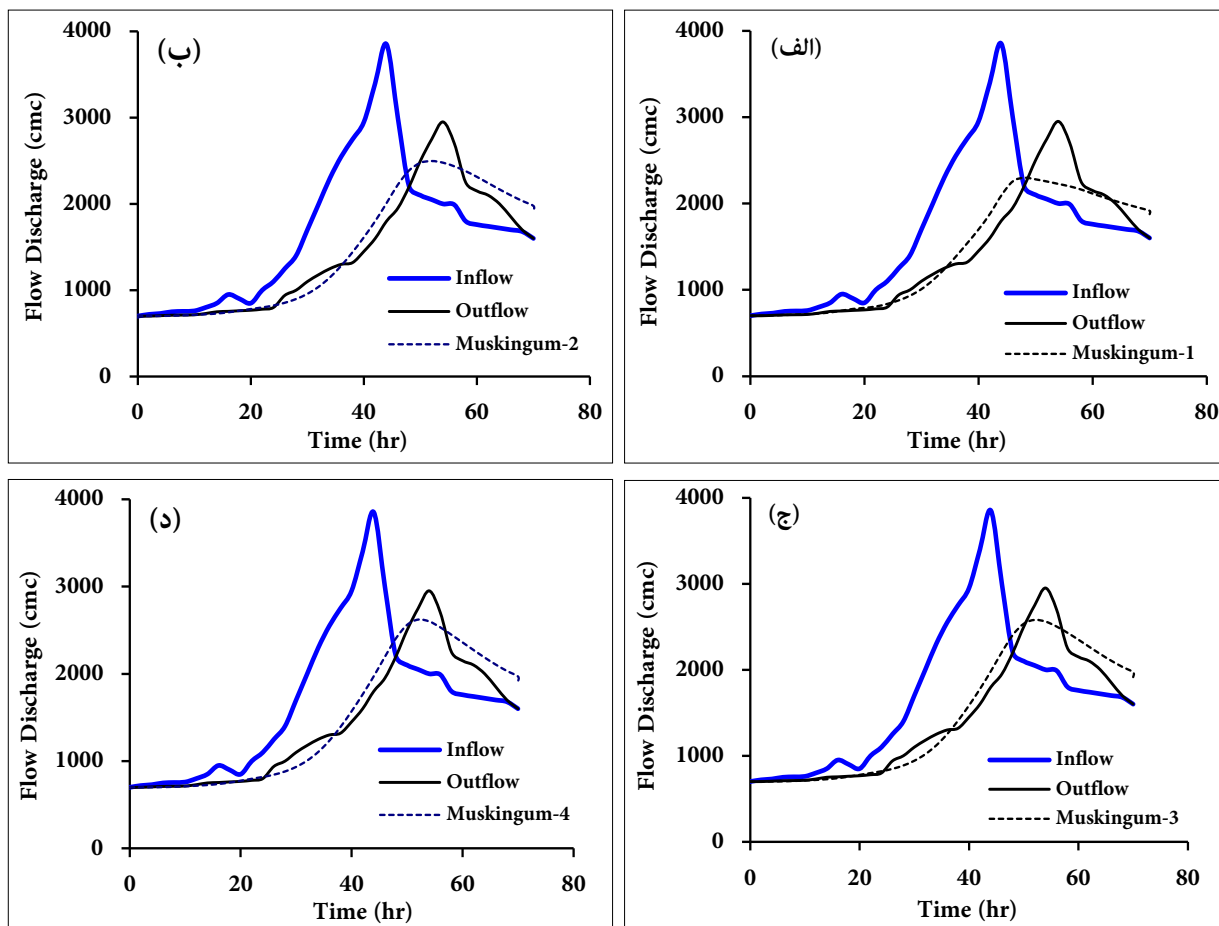
- بازه سد گتوند تا ایستگاه گتوند

در شکل (۵-الف) نتایج محاسبات روندیابی سیلاب در یکی از بازه های این رودخانه به کمک روش ماسکینگام یک بازه ای نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود روش محاسباتی ماسکینگام یک بازه ای نتوانسته است خروجی مناسبی از سیلاب اتفاق افتاده را شبیه سازی نماید. مقدار بسیار بزرگ مجموع مربعات خطا در آن حالت بیانگر عدم دقت کافی محاسبات این مرحله است. برای افزایش دقت نتایج محاسباتی، روش ماسکینگام برای بازه های بیشتر مورد استفاده قرار گرفت. در جدول (۱) و نیز شکل های (۵-ب) تا (۵-د) به ترتیب نتایج محاسبات به دست آمده از روش های ماسکینگام دو بازه ای، سه بازه ای و چهاربازه ای نشان داده شده است.

همانطور که مشاهده می شود با افزایش تعداد بازه ها، دقت نتایج خروجی نیز بهبود می یابد. به طور مثال، مجموع مربعات خطا برای حالت های محاسبات روندیابی ماسکینگام یک بازه ای تا ۴ بازه ای به ترتیب حدود ۱۷۵۰۰۰۰، ۱۲۰۰۰۰۰، ۱۰۶۰۰۰۰ و ۱۰۰۰۰۰۰ به دست آمده است که بیانگر افزایش دقت در حالت چندبازه ای است. با افزایش تعداد بازه ها از یک به دو، کاهش خطای محاسبات چشم گیر می باشد اما این کاهش خطا در مراحل بعدی افزایش بازه ها تکرار نمی شود، به طوریکه نرخ کاهش خطا با افزایش تعداد بازه ها از دو به بالاتر، دارای روندی کاهشی است؛ بنابراین بهینه ترین حالت در این شرایط، حالت سه بازه ای است. تغییرات مجموع مربعات خطا به ازاء افزایش تعداد بازه ها در شکل (۶) نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج ضرایب روندیابی ماسکینگام در حالت چند بازه ای در رودخانه کارون (بازه کارون-گتوند)

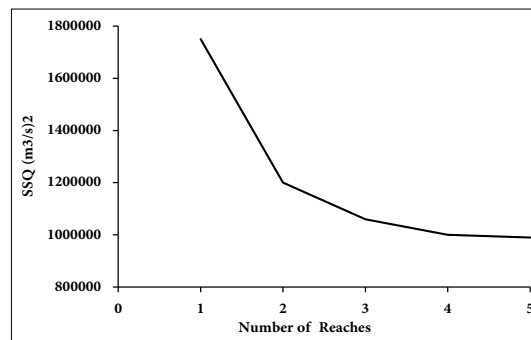
تعداد بازه ها				ضرایب روندیابی
۴	۳	۲	۱	
۰,۰۰,۰۰	۰,۰۰,۰	۰,۰	۰	x
۸/۷۹, ۱/۶۹, ۱/۶۹, ۱/۶۹	۸/۷۹, ۸/۷۹, ۲/۴۹	۴/۹۲, ۸/۸۹	۱۵/۳۶	$K(hr)$
۱۰۰۰۰۰	۱۰۶۰۰۰	۱۲۰۰۰۰		$SSQ(m^3/s)^2$



شکل ۵- نتایج روندیابی سیلاب به روش ماسکینگام در رودخانه کارون
(الف) یک بازه‌ی، (ب) دوبازه‌ی، (ج) سه بازه‌ی و (د) چهاربازه‌ی

برای ارزیابی دقیق‌تر نتایج محاسبات، معیار خطای نسبی در برآورد دبی پیک سیلاب و نیز مدت زمان رسیدن این دبی پیک به ایستگاه مدنظر قرار گرفته است. درصد خطای نسبی برآورد دبی پیک سیلاب در حالت یک بازه‌ی حدود ۲۲/۱ می‌باشد درحالی‌که این خطا برای شرایط دوبازه، سه بازه و چهاربازه به ترتیب ۱۵/۳، ۱۲/۵ و ۱۱/۲ به دست آمده است. زمان وقوع دبی پیک سیلاب در حالت یک بازه‌ی، ۴۸ ساعت بعد از وقوع سیلاب به دست آمده است که نسبت به زمان وقوع واقعی (۵۴ ساعت)، ۶ ساعت اختلاف دارد. این اختلاف برای هر سه حالت دوبازه، سه بازه و چهار بازه ۲ ساعت می‌باشد.

در دو بازه مختلف، از روش ماسکینگام چندبازه‌ی استفاده شد. نتایج نشان داد که چندبازه نمودن رودخانه باعث ارتقاء دقت نتایج محاسباتی شامل دبی اوج سیلاب و نیز زمان وقوع آن می‌شود. نکته کلی این است که روش مذکور در حالتی باعث بهبود موثر نتایج محاسبات روش ماسکینگام می‌شود که رودخانه موردنظر با یک زوج مقدار برای ضرایب x و K قابل



شکل ۶- تغییرات مجموع مربعات خطا به ازاء افزایش تعداد بازه‌ها در روش ماسکینگام چندبازه‌ی در رودخانه کارون

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت تخمین دقیق هیدروگراف سیلاب خروجی از بازه‌های پایین‌دست در طرح‌های کنترل سیل رودخانه‌ها، ارائه روش‌های بیهنه در این زمینه سودمند است. در این مقاله برای محاسبه دقیق‌تر هیدروگراف سیلاب خروجی از رودخانه کارون

ماسکینگام چندبازه‌ای توصیه می‌شود.

پی‌نوشت

- 1- Pattern Search (PS)
- 2- Harmonic Search (HS)
- 3- Nonlinear Generalized Reduced Gradient (GRG)

ing a Neuro-Fuzzy approach. J. Civil Eng., KSCE, 13: 371-376.

Dooge J.C.I. 1973. Linear theory of hydrologic systems. USDA, Agric. Res. Serv., Tech. Bull., No. 1468.

Hosseini, S. M. 2009. Application of spreadsheets in developing flexible multiple-reach and multiple-branch methods of Muskingum flood routing. Computer Applications in Engineering Education, 17(4): 448-454.

Karahan H. 2012. Predicting muskingum flood routing parameters using spreadsheets. Computer Applications in Engineering Education, 20(2): 280-286.

Lasdon L., Fox R. and Ratner M. 1974. Nonlinear optimization using the generalized reduced gradient method. Operations Research, 8(3): 73-103.

Mohan S. 1997. Parameter estimation of nonlinear Muskingum models using genetic algorithm. J. Hydrul. Eng., ASCE, 123(3): 137-142.

Perumal M. 1994. Hydrodynamic derivation of a variable parameter muskingum method: 2. Verification. Hydrological Sciences Journal, Oxford, U.K., 39(5): 431-441.

Singh V.P. 1988. Hydrologic systems. Vol. 1: Rainfall-run-off modeling. Prentice Hall, N.J.

Samani H.M.V. and Shamsipour G.A. 2004. Hydrologic flood routing in branched river systems via nonlinear optimization. J. Hydraul. Res., IAHR, 42(1): 55-59.

Wilson, E.M. 1974. Engineering hydrology. Macmillan, London.

Yang C.C. and Chang L.C. 2001. Enhanced efficiency of the parameter estimation of Muskingum model using artificial neural network. J. Hydroscience and Hydraulic Engineering, 19(2): 47-55.

شبهه‌سازی نباشد یا نتایج محاسباتی دارای دقت کمی باشند. به‌هرحال اگر در مسیر حرکت موج سیلاب در یک رودخانه، شرایط هندسی و هیدرولیکی رودخانه (عرض رودخانه، عمق رودخانه، ضریب زبری، شیب طولی) تغییر قابل ملاحظه‌ای یابند ممکن است استفاده از یک زوج مقدار برای ضرایب ماسکینگام نتیجه مناسب و قابل قبولی را برای هیدروگراف خروجی سیلاب ارائه ندهد. در این صورت کاربرد روش

منابع

براتی، ر. و اکبری، غ. ۱۳۹۱. مقایسه مدل‌های هیدرولوژی روندیابی سیل در رودخانه‌ها. مجله پژوهش آب ایران، ۶(۱۱): ۱۰۵ تا ۱۱۴.

رجبی، د.، کرمی، ح.، حسینی، خ.، موسوی، س.ف. و هاشمی، س.ع.ا. ۱۳۹۴. تخمین پارامترهای بهینه مدل روندیابی ماسکینگام غیرخطی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری. نشریه علوم آب و خاک، ۱۹(۷۳): ۳۲۱ تا ۳۳۳.

ظہیری، ع.، شریفان، ح. و تمدنی کناری، س. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی روش ماسکینگام در روندیابی سیل در رودخانه‌های سیلابی. پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز، ۳(۶): ۱ تا ۱۴.

عروجی، ح.، بزرگ حداد، ا. و فلاح مهدی‌پور، ا. ۱۳۹۲. الگوریتم بهینه‌سازی جهش قورباغه در تخمین ضرایب مدل روندیابی سیلاب. مجله پژوهش آب ایران، ۷(۱۳): ۱۶۷ تا ۱۷۴.

محمدی قلعه‌نی، م.، بزرگ حداد، ا. و ابراهیمی، ک. ۱۳۸۹. بهینه‌سازی فراسنج‌های شبه‌غیرخطی ماسکینگام با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی نورد شبهه‌سازی شده. نشریه آب و خاک، ۲۴(۵): ۹۰۸ تا ۹۱۹.

محمدی قلعه‌نی، م.، و ابراهیمی، ک. ۱۳۹۱. ارزیابی الگوریتم‌های جستجوی مستقیم و ژنتیک در بهینه‌سازی پارامترهای مدل غیرخطی ماسکینگام- یک سیلاب از کارون. مدیریت آب و آبیاری، ۲(۲): ۱ تا ۱۲.

Barati R. 2013. Application of excel solver for parameter estimation of the nonlinear Muskingum models. KSCE Journal of Civil Engineering, 17(5): 1139-1148.

Bozorg-Haddad O., Hamed F., Fallah-Mehdipour E., Orouji H. and Mariño M.A. 2015. Application of a hybrid optimization method in Muskingum parameter estimation. J. Irrigation and Drainage Engineering, 140: 15-26.

Chu H.J. 2009. The Muskingum flood routing model us-

Application of the Statistical Index Model in Groundwater Potential Mapping in the Khorramabad Plain

F. Falah^{1*}, M. Daneshfar², S. Ghorbaninejad³

1,2,3 - MS.C. student of Watershed Management, Department of Range and Watershed Management, Lorestan University, Iran.

*(Corresponding Author Email: falahfateme69@gmail.com)

Received: 06-03-2016

Accepted: 06-09-2016

پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم آباد با استفاده از روش شاخص آماری

فاطمه فلاح^{۱*}، مانیا دانشفر^۲، سمیرا قربانی نژاد^۳

۱، ۲، ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه لرستان.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: falahfateme69@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۶/۱۶

Abstract

Both the population growth and the growing trend of industrialization have increased water demand in various fields. Therefore, nowadays groundwater resources are one of the most valuable water supply resources. This study aims at mapping the potential areas for groundwater resources in Khorramabad, Lorestan using the statistical index (SI) method. To achieve this, first the existed 212 wells with a yield greater than 11 L/s were randomly divided into two groups of training (70%) and validation (30%) wells. Afterward, the digital layers of the influencing groundwater potential factors (altitude, slope angle, slope aspect, plane curvature, topographic wetness index (TWI), land use, soil, geology, distance from rivers, drainage density, fault distance and fault density) were generated using ArcGIS 10.2 software. Then, the groundwater potential map of the study area was produced using the statistical index method in four potential zones namely low, moderate, high, and very high classes. Finally, assessment of the accuracy of the generated map was performed using the ROC curve (AUC) method. The Result showed the accuracy of the generated groundwater susceptibility map for the study area is 82%, which indicates the high accuracy of this method in the mapping of groundwater potential zones in the study area.

Keywords: Groundwater potential mapping, SI model, ROC curve, Khorramabad Plain.

چکیده

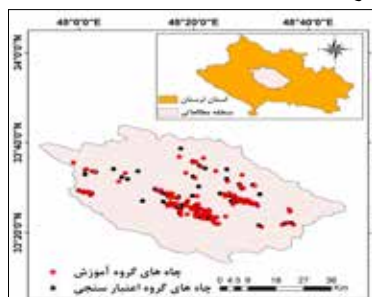
افزایش جمعیت و روند رو به رشد صنعتی نیاز آبی در زمینه‌های مختلف را افزایش داده است. بنابراین امروزه منابع آب زیرزمینی از با ارزش‌ترین منابع جهت تامین آب به شمار می‌روند. در این تحقیق پتانسیل یابی منابع آب‌های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد با استفاده از روش شاخص آماری، انجام شده است. بدین منظور، ابتدا ۲۱۲ حلقه چاه موجود در محدوده با آبدی بیشتر از ۱۱ لیتر در ثانیه به صورت تصادفی به دودسته گروه آموزش (۷۰ درصد) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد) تقسیم شدند. سپس لایه‌های رقومی متغیرهای مؤثر در پتانسیل آب‌های زیرزمینی (لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، کاربری اراضی، خاک، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل و تراکم گسل) در محیط Arc-GIS 10.2 تهیه گردید. سپس با استفاده از روش همپوشانی وزنی نقشه نهایی پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد در چهار طبقه مختلف پتانسیل شامل، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه گردید. در نهایت برای تعیین صحت نقشه نهایی از منحنی ROC استفاده گردید که میزان دقت نقشه نهایی بر اساس این منحنی ۸۲ درصد می‌باشد که بیانگر دقت بالای این روش در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی، مدل شاخص آماری، منحنی ROC، دشت خرم‌آباد.

۲۰۰۸) مبین این مطلب است که عوامل تعیین کننده مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی متفاوت بوده و عواملی همچون خطوط و شکستگی‌ها، تراکم زهکشی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، شدت بارندگی و بافت خاک ازجمله عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی محسوب می‌گردد. همچنین محققین زیادی (Nobre, ۲۰۰۷; Ganapuram, ۲۰۰۹; Saha, ۲۰۱۰; Manap, ۲۰۱۲; Davoodi Moghadam و همکاران، ۲۰۱۳) با استفاده از روش‌های مختلف مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی، اقدام به پتانسیل‌یابی نموده‌اند و نتایج حاکی از این است که پتانسیل‌یابی با استفاده از مدل‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی نتایج قابل قبولی داشته است.

در این مقاله، با استفاده از روش شاخص آماری (SI)^۲ که مبتنی بر وجود تعداد چاه‌ها و تعداد پیکسل‌ها در هر طبقه از هر نقشه می‌باشد، اقدام به پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در دشت خرم‌آباد گردیده است. روش شاخص آماری در بسیاری دیگر از مطالعات پیشین به کار گرفته شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. Regmi و همکاران (۲۰۱۴)، با استفاده از روش شاخص آماری (SI)، مدل وزنی شاهد (WOE)^۳ و روش نسبت فراوانی (FR)^۴ به پتانسیل‌یابی مناطق مستعد زمین‌لغزه در هیمالیا پرداختند. دقت روش‌های SI، WOE و FR با استفاده از منحنی AUC^۵ به ترتیب برابر ۷۵/۵، ۷۵/۶ و ۷۶/۸ درصد می‌باشد که بیانگر دقت بالای روش‌های مذکور در پتانسیل‌یابی مناطق مستعد زمین‌لغزه است. Pourghasemi و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از مدل‌های AHP^۶، LR^۷ و SI به پتانسیل‌یابی مناطق مستعد زمین‌لغزه در شمال تهران پرداختند و با استفاده از روش AUC اقدام به بررسی دقت روش‌های مذکور نمودند. دقت روش‌های AHP، LR و SI به ترتیب برابر با ۷۵/۷، ۸۵/۲۰ و ۸۷/۳۷ درصد می‌باشد که بیانگر دقت بالای روش‌های مذکور در پتانسیل‌یابی می‌باشد. Zhao و همکاران (۲۰۱۵)، از مدل‌های CF^۸ و SI برای پتانسیل‌یابی زمین‌لغزه در منطقه شانسکی در چین استفاده کردند. ۱۰۱ نقطه به‌عنوان گروه آموزش و ۴۴ نقطه جهت اعتبارسنجی با روش AUC استفاده شدند. دقت روش SI و CF به ترتیب ۷۰/۱۹ و ۷۰/۴۸ درصد می‌باشد که میزان قابل قبولی از دقت در پتانسیل‌یابی می‌باشد.

ساله، ۲۰۰۵-۱۹۵۶). موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان لرستان در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در لرستان، ایران

امروزه برداشت از آب‌های زیرزمینی بسیار بیشتر از میزان تغذیه طبیعی آن‌ها می‌باشد و اگر میزان آب در دسترس کم‌تر از تقاضای آب در یک حوزه آبخیز باشد، آنگاه بحران آبی اتفاق می‌افتد. لذا این واقعیت می‌تواند مبین این موضوع باشد که وضع سفره‌های آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق بحرانی است (رنجبرمنش و همکاران، ۱۳۹۲). مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره با مسائلی در زمینه کمبود آب مواجه بوده‌اند. در این بین افزایش جمعیت مزید بر علت شده است تا این منابع مهم وضعیت نابسامان‌تری پیدا کنند. منابع آب‌های زیرزمینی را می‌توان یک منبع مهم دینامیک طبیعی محدود قلمداد کرد که به دلیل نوساناتی که دارد اندازه‌گیری زمانی و فضایی آن مشکل می‌باشد. اگرچه منابع آب‌های سطحی از طریق منافذ و شکستگی‌های سطح زمین و طی فرآیند نفوذ به درون زمین نفوذ می‌یابند، اما برای یافتن سفره‌ی آب مطمئن دانستن این نکته کفایت نمی‌کند و داشتن اطلاعات راجع به سایر متغیرهای مؤثر در پتانسیل‌یابی نظیر ارتفاع زمین، سنگ‌شناسی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، تراکم شبکه‌ی آبراهه‌ها، گسل و شکستگی‌های سطح زمین، خاک و سایر عوامل مؤثر لازم می‌باشد (علائی طالقانی و سعیدی کیا، ۱۳۹۲). سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۱، جهت طبقه‌بندی، تحلیل و بازیابی اطلاعات یکی از ابزارهای توانمند می‌باشد که امروزه به‌صورت گسترده‌ای جایگزین اکتشافات و آزمایش‌های مکانی شده است. صرفه‌جویی در زمان، هزینه، امکان انجام تحلیل‌های پیچیده داده‌های مکانی و غیرمکانی و انعطاف‌پذیری نسبت به موضوعات مختلف از ویژگی‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است که سبب استفاده روزافزون آن‌ها جهت مطالعه آب‌های زیرزمینی شده است. در واقع استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در کنار داده‌های مشاهده‌ای منجر به برآورد آسان و سیستمی مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی می‌گردد (Chowdhury و همکاران، ۲۰۱۰).

نتایج کار بسیاری از محققین (نظیر: محمدنژادآروق و همکاران، ۱۳۹۲; Sander, ۱۹۹۶; Das, ۱۹۹۷; Senar, ۲۰۰۵ و Ganapuram,

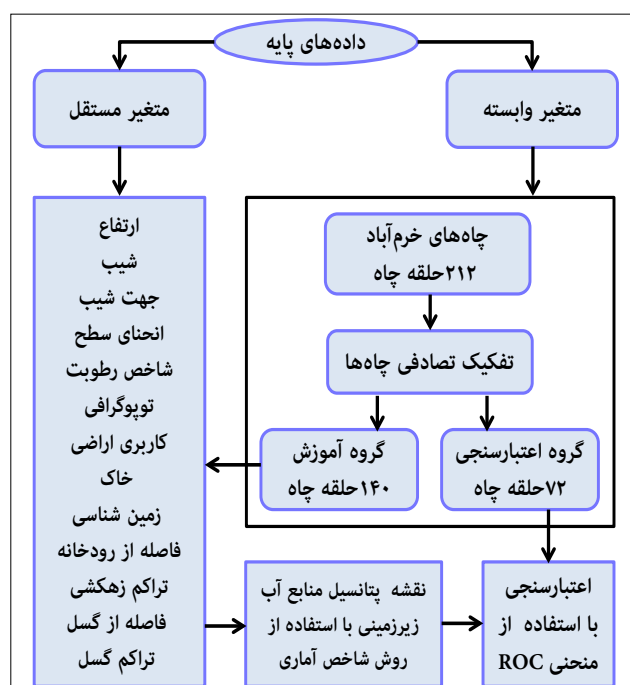
مواد و روش

• منطقه مورد مطالعه

دشت خرم‌آباد در مرکز استان لرستان بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۵ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی واقع گردیده است. حداکثر ارتفاع منطقه ۱۹۰۳ متر و حداقل آن ۹۲۹ متر هست. مساحت محدوده مطالعاتی ۲۵۱۷ کیلومتر مربع می‌باشد. متوسط بارش سالانه محدوده مطالعاتی خرم‌آباد ۵۰۹ میلی‌متر و متوسط دمای آن ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد است (آمار ۵۰

• انتخاب عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی

دوازده لایه مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی (متغیرهای وابسته) در این تحقیق عبارت‌اند از: لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی^(۱) (TWI)، کاربری اراضی، خاک، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل و تراکم گسل. که این لایه‌ها پس از آماده‌سازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به تعداد طبقات مشخصی، بر اساس منابع موجود، طبقه‌بندی شدند. فلوچارت روش تحقیق به کار گرفته شده در این مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- فلوچارت روش تحقیق به کار گرفته شده در پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی خرم‌آباد

• عوامل وابسته به توپوگرافی

ارتفاع، شیب، جهت شیب و انحنای سطح، چهار عامل وابسته به توپوگرافی هستند که در این تحقیق برای پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در دشت خرم‌آباد بکار گرفته شده است. توپوگرافی و ارتفاع زمین بیانگر میزان آب نفوذی به زمین است، زیرا ارتفاع زیاد یک منطقه سبب کاهش نفوذ و افزایش رواناب می‌گردد و هرچه ارتفاع یک منطقه کمتر شود میزان بیشتری از آب‌های سطحی به درون زمین نفوذ می‌کند (ماه‌گلی و همکاران، ۱۳۸۸). لازم به ذکر است که ارتفاع یک منطقه در تعیین جهت و سرعت حرکت رواناب‌های سطحی مؤثر است (Abdalla, ۲۰۱۲). نقشه ارتفاع منطقه بر اساس مدل رقومی ارتفاع با دقت ۳۰ متر در ۵ طبقه در محیط نرم‌افزار ArcGis10.2 تهیه گردید. کمترین ارتفاع دشت مذکور ۹۲۹ متر و بیشترین ارتفاع ۱۹۰۳ متر می‌باشد.

این اختلاف ارتفاع سبب ایجاد شیب سطحی زمین می‌گردد. شیب سطحی زمین منجر به نفوذ آب‌های سطحی و پراکندگی آب‌های زیرزمینی می‌گردد (محمدنژاد آروق و همکاران، ۱۳۹۲).

در واقع وجود یک سفره آب زیرزمینی مطمئن تا حد زیادی به شیب توپوگرافیکی و ساختمانی یک منطقه مرتبط است (Abdalla, ۲۰۱۲). نقشه شیب محدوده مطالعاتی باتوجه به نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه در ۷ طبقه تهیه گردید. نقشه جهت شیب نیز با توجه به نقشه مدل رقومی ارتفاع در محیط نرم‌افزار ArcGis10.2 به دست آمد. این نقشه در نه کلاس، طبقه‌بندی شده است که شامل جهات اصلی، فرعی و مسطح می‌باشد. در نیمکره شمالی، جهت‌های شمالی و شرقی نسبت به جهت‌های جنوبی و غربی دارای پتانسیل بهتری از منابع آب هستند. در شیب‌های شمالی و شرقی میزان دریافت تشعشعات خورشیدی کمتر از شیب‌های جنوبی و غربی می‌باشد. لذا میزان تبخیر کم و رطوبت خاک بیشتر می‌باشد. همین امر در توسعه پوشش گیاهی در شیب‌های شمالی و شرقی مؤثر بوده و پوشش گیاهی متراکم‌تر در این مناطق سبب افزایش نفوذ رواناب‌های سطحی و تغذیه بیشتر آب‌های زیرزمینی می‌گردد.

انحنای سطح در تجزیه و تحلیل‌های محیطی، ضریب رواناب و نفوذپذیری نقش مهمی دارد (محمدنژاد آروق و همکاران، ۱۳۹۲). بر این اساس نقشه انحنای سطح زمین بر اساس مدل رقومی ارتفاع در نرم‌افزار ArcGis10.2 در سه طبقه مقعر، محدب و مسطح به دست آمد.

• نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)

یکی از شاخص‌های مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی، شاخص رطوبت توپوگرافی می‌باشد. این شاخص بیانگر آن است که هر چه شیب یک منطقه بیشتر می‌شود میزان رطوبت موجود، به علت سریع‌تر از دسترس خارج شدن آب‌های سطحی، کاهش می‌یابد و در مقابل در مناطق با ارتفاع کمتر رطوبت بیشتری موجود است. در حقیقت این شاخص بیانگر ارتباط شیب سطحی زمین و میزان رطوبت در سطح زمین است. شاخص مذکور از طریق رابطه زیر به دست می‌آید که در این رابطه S و As به ترتیب بیانگر سطح ویژه حوزه آبخیز و درصد شیب زمین می‌باشد (Manap, ۲۰۱۳; Pourtaghi و Pourghasemi, ۲۰۱۴). در نهایت پس از تهیه نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، این نقشه به سه کلاس ۳-۶، ۶-۸ و ۸-۱۸ طبقه‌بندی شد.

$$TWI = \ln(As/S) \quad (1)$$

• کاربری اراضی، خاک و زمین‌شناسی

بررسی پدیده‌های سطحی و تأثیرگذار انسانی همچون آبیاری و کشاورزی می‌تواند جهت اطلاع یافتن از اوضاع منابع زیرسطحی مؤثر

واقع گردد. از این روست که می توان گفت انواع کاربری های مختلف چه تأثیری بر منابع آب های زیرزمینی دارند. همین گونه است که، پوشش گیاهی مناسب یک منطقه سبب افزایش نفوذ آب های سطحی می گردد و پوشش گیاهی ضعیف یک منطقه سبب افزایش رواناب و کاهش نفوذ می گردد (ماه گلی و همکاران، ۱۳۸۸). نقشه کاربری اراضی دشت خرم آباد بر اساس نقشه کاربری اراضی اداره کل منابع طبیعی استان لرستان در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. این نقشه به کلاس های مختلف زراعت، مرتع، باغ، جنگل و شهر طبقه بندی گردید. بافت و ساختمان خاک، پوشش گیاهی و شیب زمین از جمله عوامل مؤثر در نفوذ آب هستند. بدیهی است که نوع بافت خاک تأثیر مهمی در افزایش یا کاهش میزان نفوذ آب دارد (علیزاده، امین، ۱۳۹۱). نقشه خاک محدوده مطالعاتی با توجه به نقشه خاک ایران در ۳ کلاس انتی سول^۱، اینسپتی سول^{۱۱} و ورتی سول^{۱۳} حاصل گشت (مرکز تحقیقات منابع طبیعی کل کشور، ۱۳۹۲). از طرفی دیگر با توجه به نوع ساختار سنگ ها در هر دوره زمین شناسی، ساخت های گوناگون وجود دارد که دارای میزان تخلخل متفاوتی می باشند. بدیهی است که هرچه میزان منافذ و تخلخل بیشتر باشد میزان نفوذ و تغذیه آب های زیرزمینی بیشتر است (علیزاده، ۱۳۹۱). نقشه سنگ شناسی محدوده مطالعاتی خرم آباد با استفاده از نقشه های سازمان زمین شناسی کشور در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه گردیده و در ۳ دسته طبقه بندی گردید. سه طبقه مورد بحث بر اساس سن زمین شناسی مربوط به دوره مزوزوئیک، سنوزوئیک و مزوزوئیک - سنوزوئیک می باشند که رسوبات این دوره ها دارای مقدار زیادی آهک می باشد و لذا فرسایش های کارستی متنوعی در محدوده مطالعاتی مشهود است. وجود کارست و آهک در مناطق زاگرس موید وجود منابع آب زیرزمینی و پتانسیل بالای این منابع در مناطق مذکور می باشد. درواقع می توان گفت ۱۸۱ حلقه چاه در تراس های آبرفتی دوره سنوزوئیک، ۱۱ حلقه چاه در کنگلومرا و ماسه سنگ دوره سنوزوئیک، ۵ حلقه چاه در سنگ آهک و شیل مربوط به سازندهای دوره مزوزوئیک (مشمول بر سازندهای گروه بنگستان)، ۵ حلقه چاه در چرت و سنگ های آهکی و ماسه سنگ های دوره سنوزوئیک - مزوزوئیک سازند امیران، ۳ حلقه چاه در مارن خاکستری، شیل و گل ولای سازند گورپی در دوره مزوزوئیک، ۲ حلقه چاه در سنگ آهک ضخیم سازند دوره سنوزوئیک، ۴ حلقه چاه در اسماری و سازند شهبازان دوره سنوزوئیک و نهایتاً یک حلقه چاه در رسوبات آئوسن دوره سنوزوئیک موجود است. عمده چاه ها در مناطقی با رسوبات آبرفتی وجود دارد که این رسوبات عمدتاً رسوباتی نفوذپذیر و متخلخل با قابلیت بالای نفوذپذیری و هدایت آب به لایه های زیرین زمین می باشد و دارای نقش مهمی در تغذیه آب های زیرزمینی می باشند. بخشی دیگر از چاه ها نیز در رسوبات سخت و آهکی ایجاد شده است. رسوبات آهکی و ضخیم دارای شکستگی های هستند که موجب نفوذ آب و تغذیه آب های زیرزمینی می شوند.

• فاصله از رودخانه و تراکم زهکشی

نقشه فاصله از رودخانه بر اساس لایه رقومی شبکه آبراهه در دشت خرم آباد در نرم افزار ArcGis10.2 تهیه گشت. این نقشه در نهایت به ۵ دسته طبقه بندی شد. لیتولوژی واحدهای زمین شناسی، توپوگرافی و ساختارهای تکتونیکی و زمین شناسی یک منطقه نقش بسیار مهمی در نوع شبکه زهکشی و تراکم شبکه زهکشی منطقه دارد. درواقع، آبراهه ها را می توان نقاط ضعف سازندها تلقی نمود که بر اثر انحلال توسعه یافته و به شکل کنونی درآمده اند. آبراهه ها با نفوذپذیری رابطه عکس دارند درواقع تراکم شبکه آبراهه بیانگر انتقال آب و کاهش نفوذ می باشد (ماه گلی و همکاران، ۱۳۸۸). نقشه تراکم رودخانه های دشت خرم آباد نیز بر اساس نقشه رقومی شبکه آبراهه ها در این دشت در ۵ دسته طبقه بندی گردید.

• فاصله از گسل و تراکم گسل

نقشه فاصله از گسل بر اساس نقشه رقومی گسل های استان لرستان (اداره آبخیزداری استان لرستان، ۱۳۹۲)، در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ با استفاده از نرم افزار ArcGis10.2 حاصل شد. نقشه مذکور در ۵ کلاس طبقه بندی گردید. شکستگی ها و گسل های موجود در یک منطقه به عنوان نقاط مثبتی در جهت تغذیه آب های زیرزمینی در نظر گرفته می شوند؛ زیرا این نقاط سبب تسهیل نفوذ آب های سطحی و رواناب ها به نقاط پایین تر درون زمین می گردند (ماه گلی و همکاران، ۱۳۸۸). نقشه تراکم گسل با توجه به لایه رقومی گسل های استان لرستان، در محدوده مطالعاتی خرم آباد، تهیه و در ۴ کلاس طبقه بندی گردید.

• بررسی آمار چاه های دشت خرم آباد

به منظور پتانسیل یابی آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم آباد، نقشه موقعیت چاه های دشت مذکور تهیه و به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است. در این محدوده مطالعاتی، ۲۱۲ حلقه چاه با دبی متوسط سالانه بیشتر از ۱۱ لیتر بر ثانیه وجود دارد (شرکت آب منطقه ای استان لرستان، ۱۳۹۲). از این تعداد چاه، ۱۴۰ حلقه چاه (۷۰ درصد) به صورت تصادفی به عنوان گروه آموزش و ۷۲ حلقه چاه (۳۰ درصد باقی مانده) به عنوان گروه اعتبارسنجی، انتخاب شدند. شکل (۱) نشان دهنده موقعیت چاه های محدوده مطالعاتی خرم آباد می باشد.

• تعیین شاخص آماری (SI) عوامل مؤثر در پتانسیل یابی و تهیه

نقشه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی

در این تحقیق، لایه های ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، کاربری اراضی، خاک، زمین شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل و تراکم گسل به عنوان متغیرهای مستقل و دبی متوسط سالانه

چاه‌های گروه آموزش به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده‌اند. لایه‌های مذکور (متغیرهای مستقل)، به تعداد طبقات مشخص، بر اساس منابع علمی موجود و تحقیقات مشابه صورت گرفته، طبقه‌بندی شده و سپس با مشخص بودن تعداد چاه‌های موجود در هر طبقه و تعداد پیکسل‌های هر طبقه از طریق رابطه (۲)، اقدام به محاسبه شاخص آماری برای هر کدام از طبقات لایه‌های مذکور می‌شود. سپس، با اعمال وزن‌های حاصل شده به طبقات لایه‌های مختلف و توابع روی هم گذاری و ماشین حساب رستری در محیط نرم افزار ArcGis10.2 نقشه نهایی پتانسیل یابی منابع آب‌های زیرزمینی حاصل شد.

$$W_{ij} = \ln\left(\frac{f_{ij}}{f}\right) = \ln\left(\frac{A^*_{ij}}{A_{ij}}\right) \times \ln\left(\frac{A}{A^*}\right) \quad (2)$$

در رابطه فوق، W_{ij} وزن هر طبقه در کلاس معین، f_{ij} تراکم چاه‌ها در کلاس i از پارامتر j ، A^*_{ij} مساحت چاه‌ها در کلاس i از پارامتر j ، A_{ij} مساحت کلاس i از پارامتر j ، A^* مساحت کل چاه‌ها در نقشه، A مساحت کلی نقشه و f تراکم چاه‌ها در کل نقشه می‌باشد.

• منحنی ROC^۳

منحنی ROC روش کمی و گرافیکی مناسبی جهت تعیین میزان

نتایج و بحث

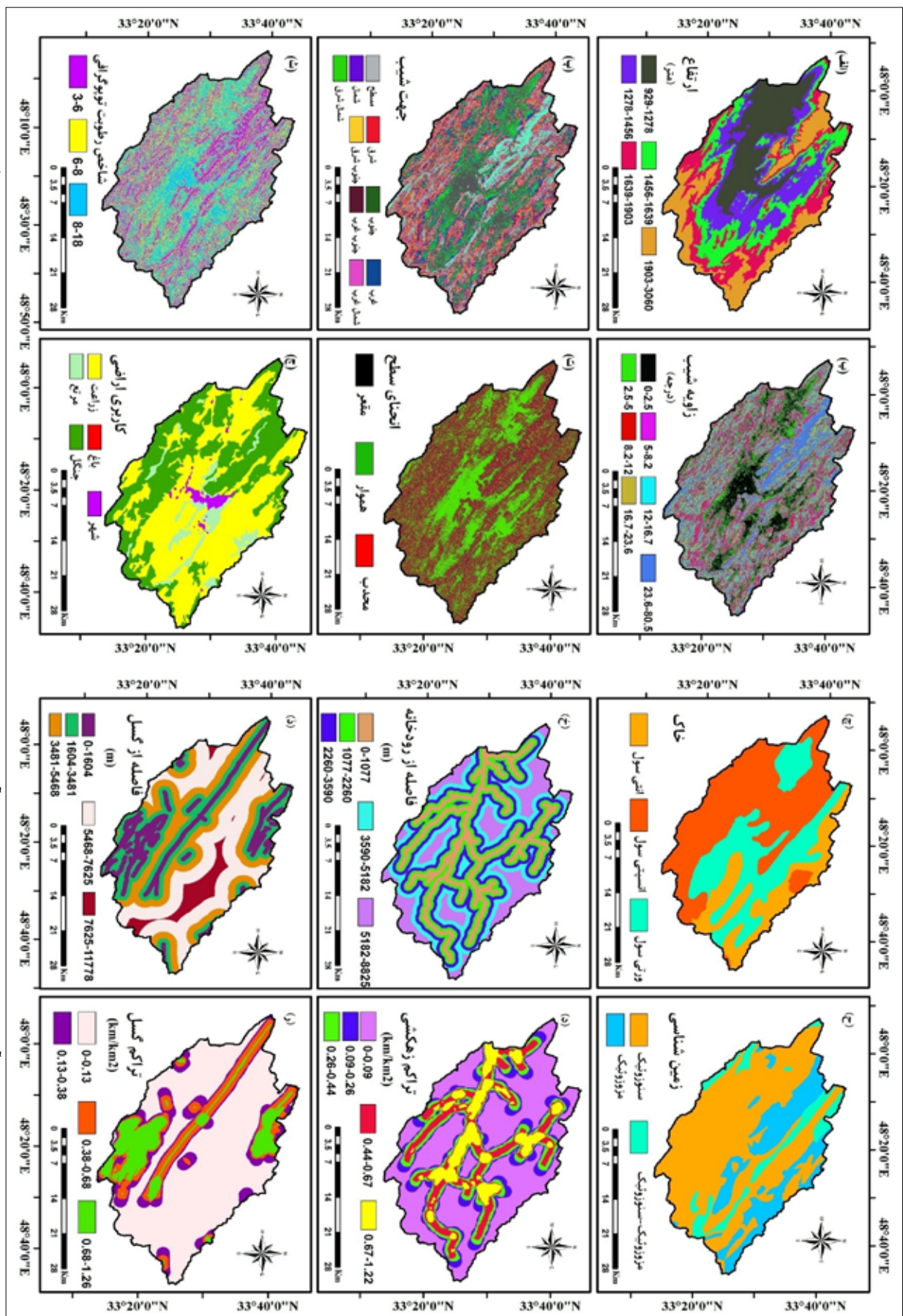
• تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی

پس از تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته بین عوامل محیطی (متغیرهای مستقل) شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، کاربری اراضی، خاک، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل، تراکم گسل و اطلاعات چاه‌های دشت خرم‌آباد (متغیرهای وابسته)، وزن هر کلاس محاسبه شد. وزن‌های هر کلاس در جدول (۱) آمده است. بر اساس نتایج این جدول، با افزایش ارتفاع وزن شاخص آماری کاهش یافته که بیانگر آن است در ارتفاعات بالا پتانسیل آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. به طوری که بیشترین مقدار در طبقه اول یعنی در ارتفاعات بین ۱۸۲۰ تا ۱۸۵۵ دیده می‌شود که این نتیجه با نتایج حاصله برای پارامتر شیب یکسان است. نتایج نشان می‌دهد که در شیب‌های پایین‌تر پتانسیل آب زیرزمینی بالاتر است و بیشترین وزن شاخص آماری به طبقه شیب ۰/۳ تا یک اختصاص یافت. همچنین نتایج حاصل از بررسی جهت و انحنای سطح نشان داد که در مناطق مسطح و هموار محدوده مطالعاتی خرم‌آباد، پتانسیل آب زیرزمینی بیشتر است. بر اساس پارامتر شاخص رطوبت توپوگرافی بیشترین وزن به طبقه با بیشترین شاخص رطوبت توپوگرافی تعلق گرفت. نتایج کاربری اراضی حاکی از آن است بیشترین پتانسیل در مناطق شهری وجود دارد که این

دقت مدل‌های پیش‌بینی مکانی و روش‌های داده‌کاوی محسوب می‌گردد. در این روش برای بررسی دقت نقشه نهایی از سی درصد چاه‌ها -گروه اعتبارسنجی که در پتانسیل‌یابی استفاده نشده- برای بررسی دقت نقشه نهایی استفاده می‌شود (شهبازی و همکاران، ۱۳۹۴). در این منحنی میزان مثبت واقعی (بر روی محور x) و میزان مثبت کاذب (بر روی محور Y) در آستانه‌های مختلف نشان داده می‌شود (Kumar و Indrayan، ۲۰۱۱). هنگامی که حساسیت افزایش پیدا کند، میزان مثبت کاذب نیز افزایش می‌یابد. بنابراین منحنی ROC به ما اجازه می‌دهد تا میزان مثبت واقعی و مثبت کاذب را در هر نقطه بر روی منحنی بررسی و مقایسه کنیم (Akobeng، ۲۰۰۷). مساحت زیر این منحنی (AUC)^۴، بیانگر میزان دقت نقشه نهایی به صورت کمی و توانایی مدل در پیش‌بینی درست می‌باشد. مساحت مذکور توسط نرم‌افزارهای آماری همچون Medcalc13.3 با استفاده از اطلاعات استفاده نشده‌ای که برای اعتبارسنجی به صورت تصادفی در نظر گرفته می‌شود، محاسبه می‌گردد (MedCalc، ۲۰۱۴). در یک حالت ایده‌آل مقدار زیر نمودار برابر یک خواهد بود. این شاخص برای ارزیابی صحت مدل، شاخص مناسبی می‌باشد (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۳).

نتیجه می‌تواند حاکی از وجود تعداد زیاد چاه در مناطق شهری نسبت به وسعت این کاربری باشد. نتایج همچنین نشان داد از میان سه رده خاک موجود در محدوده مطالعاتی خاک‌های ورتی سول پتانسیل بیشتری دارند. نتایج بررسی نقشه فاصله از رودخانه و گسل و همچنین تراکم زهکشی نیز نشان داد که در مناطق با فاصله کمتر از رودخانه و تراکم زهکشی بیشتر، پتانسیل آب‌های زیرزمینی بیشتر است. در نهایت برای تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی خرم‌آباد، دوازده نقشه حاصله در محیط GIS با یکدیگر تلفیق شد و نقشه نهایی تهیه و در چهار طبقه مختلف پتانسیل، شامل مناطق با پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد که این نقشه در شکل (۴) نشان داده شده است. بر اساس این نقشه مناطق با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد ۴۶ درصد و مناطق با پتانسیل کم و متوسط ۵۴ درصد از محدوده مطالعاتی را به خود اختصاص داده‌اند.

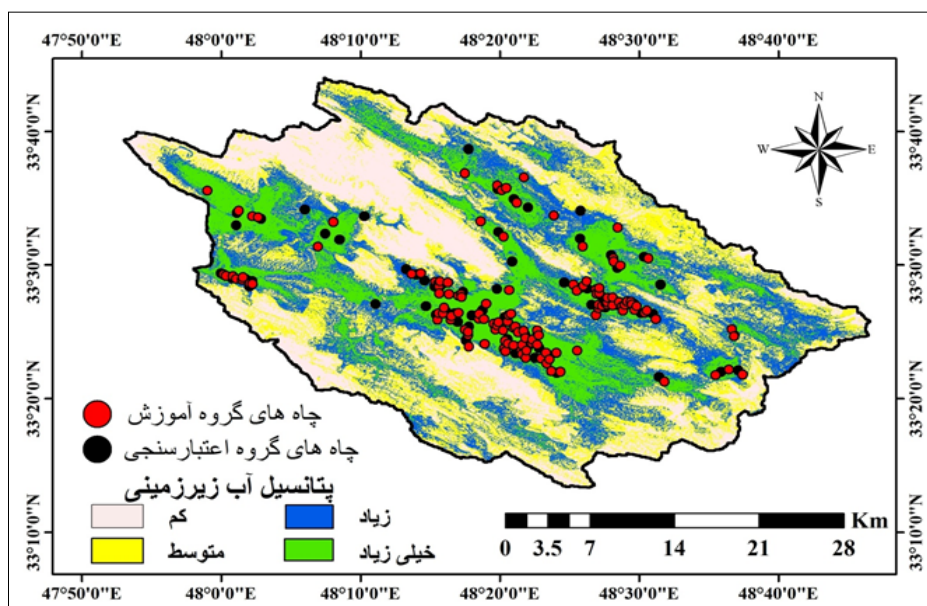
به طور کلی، مناطق با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد در نواحی شمال تا جنوب شرق و همچنین در نواحی مرکزی و غربی محدوده مطالعاتی دیده می‌شوند. این نواحی دارای شیب‌های ۳ تا درصد، مسطح و هموار، با میزان شاخص رطوبت توپوگرافی بالا، دارای خاک‌های ورتی سول، فاصله کم‌تر از رودخانه و تراکم بالای زهکشی می‌باشند و از نظر کاربری اراضی مناطق شهری دارای پتانسیل بالایی هستند که می‌تواند به علت وجود چاه‌های زیاد حفر شده در مناطق شهری باشد.



شکل ۳-۱. لایه‌های مؤثر در پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد، لرستان (الف) ارتفاع، (ب) زاویه شیب، (پ) جهت شیب، (ت) انحنای سطح، (ث) شاخص رطوبت توپوگرافی، (ج) کاربری اراضی، (ح) خاک، (خ) زمین‌شناسی، (ز) فاصله از رودخانه، (د) تراکم زهکشی، (س) فاصله از گسل، (ر) تراکم گسل

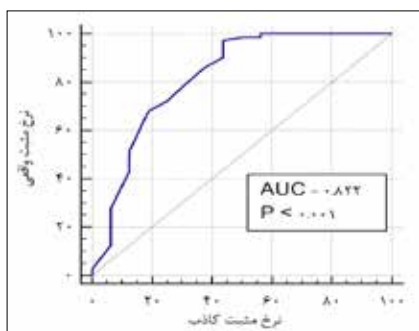
جدول ۱- مقادیر SI، تعداد پیکسل‌ها و چاه‌ها در هر طبقه از لایه‌ها در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد

پارامتر	فاصله طبقات	تعداد پیکسل در هر طبقه	تعداد چاه در هر طبقه	مقدیر SI
ارتفاع	۱۸۲۰-۱۸۵۵	۴۷۶۳۵۴	۷۸	۱/۱۸
	۱۸۵۵-۱۹۳۰	۹۷۶۸۱۷	۵۷	۰/۱۵
	۱۹۳۰-۱۹۶۰	۶۸۰۸۷۱	۵	-۱/۹۲
	۱۹۳۰-۲۰۳۵	۴۳۶۶۵۴	۰	۰/۰۰
زاویه شیب	۲۰۳۵-۲۶۰۰	۲۱۰۹۴۲	۰	۰/۰۰
	مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-
	-۰/۳-۱	۴۷۶۹۱۲	۱۱۶	۱/۵۸
	۱-۱/۵	۴۴۴۱۶۸	۱۸	-۰/۲۲
جهت شیب	-۱/۵-۲	۴۴۵۳۴۷	۴	-۱/۷۲
	۲-۳	۴۴۷۰۷۵	۰	۰/۰۰
	۳-۴	۳۹۸۵۳۱	۱	-۳/۰۰
	۴-۶	۳۲۶۹۳۵	۰	۰/۰۰
انحنای سطح	۶-۵۴	۲۴۲۶۷۰	۱	-۲/۵۰
	مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-
	مسطح	۱۳۶۷۷	۹	۲/۵۷
	شمال	۴۰۲۴۱۶	۲۲	۰/۰۸
شاخص رطوبت توپوگرافی	شمال شرق	۴۵۶۹۱۴	۱۲	-۰/۶۵
	شرق	۲۰۸۳۴۲	۳	-۱/۲۵
	جنوب شرق	۱۸۴۴۱۹	۷	-۰/۲۸
	جنوب	۳۹۳۲۸۰	۲۰	۰/۰۱
کاربری اراضی	جنوب غرب	۵۴۶۱۸۴	۲۶	-۰/۰۶
	غرب	۳۱۸۹۲۰	۲۰	۰/۲۲
	شمال غرب	۲۵۷۴۸۶	۲۱	۰/۴۸
	مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-
تراکم گسل	مقعر	۵۲۴۰۱۳	۴۹	۰/۶۲
	هموار	۱۰۴۶۷۹۳	۸۳	۰/۴۵
	محدب	۱۲۱۰۸۳۲	۸	-۲/۰۳
	مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-
کاربری اراضی	۳-۶	۷۷۳۳۰۰	۱	-۳/۶۶
	۶-۸	۹۵۶۵۷۹	۴۴	-۰/۰۹
	۸-۱۸	۱۰۵۲۷۵۹	۹۵	۰/۵۸
	مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-
تراکم گسل	زراعت	۱۴۱۵۵۷۸	۱۲۹	۰/۵۹
	مزرعه	۱۹۷۷۵۰	۰	۰/۰۰
	باغ	۶۸	۰	۰/۰۰
	مجموع	۲۷۸۱۶۳۸	۱۴۰	-



شکل ۴- نقشه نهایی پتانسیل یابی آب های زیرزمینی در دشت خرم آباد با استفاده مدل شاخص آماری (SI)

این روش در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم آباد می باشد البته باید به محدودیت این روش در اعتبارسنجی اشاره نمود چرا که تعداد کمی از چاه ها در سازندهای سخت منطقه قرار دارد و اکثر چاه های محدوده مطالعاتی در پادگانه های آبرفتی قرار دارد .



شکل ۵- منحنی ROC مربوط به اعتبارسنجی نقشه پتانسیل یابی آب های زیرزمینی دشت خرم آباد با استفاده از مدل شاخص آماری (SI)

مؤثر در پتانسیل آب های زیرزمینی که عبارت اند از: لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحناى سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، کاربری اراضی، خاک، زمین شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل و تراکم گسل که در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و بر اساس منابع موجود طبقه بندی شده به عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شدند. سپس بر اساس مدل شاخص آماری (SI) و تراکم چاه ها

• اعتبارسنجی نقشه پتانسیل یابی منابع آب های زیرزمینی

جهت اعتبارسنجی نقشه نهایی پتانسیل یابی آب های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم آباد، با استفاده از داده های گروه اعتبارسنجی، نقشه ۷۲ حلقه چاه که در پتانسیل یابی بکار گرفته نشده اند، با نقشه ی پتانسیل یابی آب های زیرزمینی در دشت مذکور روی هم گذاری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس برای اعتبارسنجی دقت نقشه نهایی، روش منحنی ROC بکار گرفته شد. در نهایت با استفاده از نرم افزار MedCalc، منحنی ROC مربوط به نقشه پتانسیل یابی آب های زیرزمینی دشت خرم آباد تهیه گردید (نرخ مثبت واقعی به معنی نسبتی از موارد مثبت است که آزمایش آن ها را به درستی به عنوان مثبت علامت گذاری می کند و نرخ مثبت کاذب به معنی نسبتی از موارد مثبت است که آزمایش آن ها را به اشتباه به عنوان منفی علامت گذاری می کند). همان طور که در شکل (۵) نشان داده شده است، نتایج حاصل از این منحنی بیانگر دقت ۸۲ درصدی نقشه ایجاد شده است که نشان دهنده دقت بالای

نتیجه گیری

در این مطالعه به منظور تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی خرم آباد ۲۱۲ حلقه چاه با آبدهی بیشتر از ۱۱ لیتر بر ثانیه که به صورت تصادفی به دو گروه آموزش (۷۰ درصد) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد) تقسیم شده، به عنوان متغیر مستقل انتخاب شدند. همچنین لایه رقومی ۱۲ متغیر

در هر لایه، وزن هر لایه محاسبه و در نهایت با استفاده از روش همپوشانی وزنی نقشه نهایی پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در دشت خرم‌آباد حاصل و در چهار طبقه مختلف شامل مناطق با پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. بر اساس این نقشه، سهم مناطق با پتانسیل زیاد و خیلی زیاد ۴۶ درصد از سطح کل محدوده مطالعاتی می‌باشد که در نواحی شمال تا جنوب شرق و همچنین در نواحی مرکزی و غربی محدوده مطالعاتی دیده می‌شوند. در نهایت جهت اعتبارسنجی نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در دشت خرم‌آباد از منحنی ROC استفاده شد که نتیجه ۸۲ درصدی این منحنی حاکی از دقت بالای این روش در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد دارد.

پی‌نوشت

- 1- Geographic Information System
- 2- Statistical Index
- 3- Weights of Evidence
- 4- Frequency Ratio
- 5- Area Under Curve
- 6- Analytical Hierarchy Process
- 7- Logistic Regression
- 8- Certainty Factor
- 9- Topographic Wetness Index: TWI
- 10- Entisol
- 11- Inceptisol
- 12- Vertisol
- 13- Receiver Operating Characteristic: ROC
- 14- Area Under Curve: AUC

منابع

- دشت ماهیدشت. دوفصلنامه‌ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران، ۱(۲): ۱-۱۸.
- علائی طالقانی، م. و سعیدی‌کیا، م. ۱۳۹۲. نقش مؤلفه‌های ژئومورفولوژی در تشکیل و تغذیه سفره آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ذهاب). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۸(۱۰): ۱۷۱-۱۸۶.
- علیزاده، ا. ۱۳۹۱. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا. چاپ سی و ششم. صفحه ۳۴۳.
- محمدنژاد آروق، و.، اصغری، ص. و محمدزاده، ب. ۱۳۹۲. تهیه نقشه مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS و MIF (مطالعه موردی: شهرستان ارومیه). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲(۳): ۴۸-۵۸.
- ماه‌گلی، آ.، چیت‌سازان، م. و میرزایی، ی. ۱۳۹۰. پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در سازندهای سخت با استفاده از GIS و سنجش از دور (مطالعه موردی: شمال حسینی). همایش ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.
- هاشمی، م.، قربانی، ر. و کاوه‌ای، ب. ۱۳۸۳. تحلیل منحنی‌های ROC برای مقایسه تست‌های تشخیص پزشکی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی سمنان، ۶(۲): ۱۴۵-۱۵۰.
- Abdalla F. 2012. Mapping of Groundwater Prospective Zones Using Remote Sensing and GIS Techniques, A Case Study from the Central Eastern Desert, Egypt. Journal of African Earth Sciences, 70: 8-17.
- Akobeng AK. 2007 Understanding diagnostic tests 3: receiver operating characteristic curves. Acta paediatrica. 96(5): 7-644.
- Chowdhury A., Jha M.K. and Chowdary V.M. 2010, Delineation of Groundwater Recharge Zones and Identification of Artificial Recharge Sites in West Medinipur District, West Bengal, Using RS, GIS and MCDM Techniques, Environmental Earth Science, 59(6): 1209-1222.
- Das S., Behera S.C., Kar A., Narendra P. and Guha S. 1997. Hydrogeomorphological Mapping in Groundwater Exploration Using Remotely Sensed Data, A Case Study in Keonjhar District, Orissa, Journal of Indian Society of Remote Sensing, 25(4): 247-259.
- Davoodi Moghadam D., Rezaei M., Pourghasemi H.R. and Pourtaaghie Z.S. 2013. Groundwater potential spring mapping using bivariate statistical model and

اداره منابع طبیعی استان لرستان. ۱۳۹۲.

شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان. ۱۳۹۲. دفتر مطالعات و بررسی منابع آب‌های زیرزمینی.

شهبازی، ع.، طهماسبی پور، ن.، زینی‌وند، ح. و حقی‌زاده، ع. ۱۳۹۴. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی EBF. کنفرانس ملی کشاورزی پایدار، محیط‌زیست و توسعه روستایی، کوهدشت، اداره جهاد کشاورزی کوهدشت، شرکت پنام خط نوین.

رنجبرمنش، ن.، انتظاری، م. و رامشت، م.ح. ۱۳۹۲. بحران ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در اثر فعالیت تکتونیکی در

- fuzzy logic tool. *J ContamHydrol*, 24: 277–222.
- Pourghasemi H.R., Moradi H.R. and FatemiAghda S.M. 2013. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances, *Nat Hazards*, 69: 749–779.
- Pourtaghi Z.S and Pourghasemi H.R. 2014. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. *Hydrogeology J.*, 22: 643–662
- Regmi A.D., Devkota K.C., Yoshida K., Pradhan B., Pourghasemi H.R., Kumamoto T. and Akgun A. 2014. Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. *Arab J Geosci*, 7(2):725–742.
- Sander P., Chesley M. and Minor T. 1996. Groundwater Assessment Using Remote Sensing and GIS in a Rural Groundwater Project in Ghana: Lessons Learned, *Hydrogeology Journal*, 4(3): 78–93.
- Saha D., Dhar Y.R. and Vittala S.S. 2010. Delineation of groundwater development potential zones in parts of marginal Ganga Alluvial Plain in South Bihar, Eastern India. *EnvironMonit Assess*, 115: 172–121.
- Zhao Ch., Chen W., Wang Q., Wu U. and Yang B. 2015. A comparative study of statistical index and certainty factor models in landslide susceptibility mapping: a case study for the Shangzhou District, Shaanxi Province, China, *Arab J Geosci*, 8(11): 9079–9088
- GIS in the Taleghan watershed, Iran. *Arab J Geosci*, 8 (2): 913–929.
- Ganapuram S., Kumar G., Krishna I., Kahya E. and Demirel M. 2008. Mapping of Groundwater Potential Zones in the Musi Basin Using Remote Sensing and GIS, *Advances in Engineering Software*, 40: 506–518.
- Ganapuram S., Vijaya Kumar G.T., Murali Krishna I.V., Kahya E. and Demirel M.C. 2009. Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *AdvEngSoftw*, 47: 571–515.
- [http:// www.MedCalc.Org](http://www.MedCalc.Org). medcalc version 13.3.3.3. (2014).
- Kumar R. and Indrayan A. 2011. Receiver operating characteristic (ROC) curve for medical researchers. *Indian pediatrics*. 48(4): 87–277.
- Manap M.A., Nampak H., Pradhan B., Lee S., Sulaiman W.N.A. and Ramli M.F. 2012. Application of probabilistic-based frequency ratio model in groundwater potential mapping using remote sensing data and GIS. *Arab J Geosci*, 7(2): 711–724.
- Manap MA., Sulaiman WNA., Ramli MF., Pradhan B. and Surip N. 2013. A knowledge driven GIS modelling technique for prediction of groundwater potential zones at the Upper Langat Basin, Malaysia. *Arab J Geosci*, 1, (5):1121–1107.
- Nobre RCM., Filho OCR., Mansur WJ., Nobre MMM. and Cosenza CAN. 2007. Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and a

Radioisotope Technique of Groundwater Dating using Tritium Enrichment

I. Karimirad^{1*}, M. Hesam², A. Bahrami samani³, A. Ezadpanah⁴, N. Moghadasi⁵

1- Ph.D. Candidate, Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran. 2- Associated Professor of Water Engineering Department of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. 3- Assistant Professor of Nuclear Fuel cycle of Atomic Energy Organization of Iran. 4- Assistant Professor of Physics Department of Golestan University, Iran. 5- M. Sc., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

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

Received: 18-4-2016

Accepted: 10-9-2016

روش رادیوایزوتوپی اندازه گیری سن آب زیرزمینی با استفاده از غنی سازی تریتیوم

ایمان کریمی راد^{۱*}، موسی حسام^۲، علی بهرامی سامانی^۳، عبدالمجید ایزدپناه^۴، نفیسه مقدسی^۵

۱- دانشجوی دکتری منابع آب، دانشگاه تهران. ۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۳- استادیار پژوهشکده چرخه سوخت سازمان انرژی اتمی ایران. ۴- استادیار گروه فیزیک، دانشگاه گلستان. ۵- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

* (E-Mail: Ikarimirad@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۶/۲۰

Abstract

Aquifer overexploitation can cause problems such as salt water intrusion and land subsidence. This condition drives the necessity for the optimal management of aquifers which requires an understanding of aquifer hydrodynamics. In this regard radioisotope dating is one of the useful methods. This paper presents a practical method to determine the age of groundwater using tritium radioisotope. The tritium dating of groundwater includes sampling, initial distillation, enrichment, secondary distillation, measurement of tritium radioactivity, calculation of device parameters, and age of the samples. The electrolytic enrichment method and radioactivity measurement using LSC, which is introduced in this paper, make it possible to measure tritium below 1 TU that means dating water up to 50 years and can overcome the problem of tritium concentration decline in the atmosphere to some extent. The results of a study performed using this method during spring 2012, with interior facilities of the country, showed that the age of the samples were divided into two groups of 5 to 10 years and the mixture of modern recharge and recharged before 1952. Therefore the young parts of aquifer are influenced more readily by qualitative and quantitative climatic and factors. On the contrary, territories with older water reserves are less affected by these changes and have a higher degree of reliability. In the allocation of such resources only the renewable volume should be considered. To achieve this objective imposition of restrictive policies of exploitation seem to be necessary in aquifer management plans.

Keywords: Golestan province, Confined aquifer, Electrolytic enrichment, Aquifer management, LSC.

چکیده

برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی می‌تواند سبب مشکلاتی از قبیل پیشروی آب شور و نشست زمین شود. این شرایط لزوم مدیریت بهینه برداشت از سفره‌ها را ایجاب می‌کند که نیازمند شناخت هیدرودینامیک آبخوان بوده و در این زمینه سن سنجی رادیوایزوتوپی یکی از روش‌های مفید است. این مقاله روشی کاربردی جهت تعیین سن آب زیرزمینی با استفاده از رادیوایزوتوپ تریتیوم ارائه می‌دهد. سن سنجی تریتیوم در آب زیرزمینی شامل نمونه‌برداری، تقطیر اولیه، غنی‌سازی، تقطیر ثانویه، سنجش پرتوایی ناشی از تریتیوم، محاسبه پارامترهای دستگاهی و سن نمونه‌ها است. روش غنی‌سازی الکترولیتی و سنجش پرتوایی توسط LSC که در این مقاله معرفی شده، اندازه‌گیری مقادیر تریتیوم زیر ۱ TU را ممکن می‌سازد که به معنای سنجش سن آب تا ۵۰ سال است و می‌تواند مشکل افت غلظت تریتیوم در افسر را تا حدودی رفع نماید. نتایج مطالعه‌ای که با این روش در بهار سال ۱۳۹۰ و با امکانات داخل کشور انجام گرفت، نشان داد که سن نمونه‌ها در دو گروه بین ۵ تا ۱۰ سال و نیز مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲ قرار می‌گیرد. بر این اساس بخش‌های جوان آبخوان سریع‌تر تحت تأثیر تغییرات کمی و کیفی اقلیمی و انسانی قرار می‌گیرد. در مقابل محدوده‌هایی که ذخائر آب قدیمی دارد، کمتر از این تغییرات اثر پذیرفته و از درجه اطمینان بالاتری برخوردار است و در بهره‌برداری از آن باید حجم تجدیدشونده در نظر گرفته شود که برای دستیابی به این هدف اعمال سیاست‌های محدودکننده برداشت در برنامه‌های مدیریت آبخوان ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: استان گلستان، سفره تحت فشار، غنی‌سازی الکترولیتی، مدیریت آبخوان، LSC.

بخش وسیعی از فلات ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته است. متوسط بارندگی سالیانه ایران تقریباً رقمی معادل ۲۴۰ میلی متر است که کمتر از یک سوم مقدار بارندگی متوسط خشکی های زمین می باشد (علیزاده، ۱۳۸۰). در سال های گذشته افزایش جمعیت در کشور، محدودیت منابع آب های سطحی و بهره برداری بیش از اندازه از آبخوان ها باعث وارد آمدن خسارات جبران ناپذیری به منابع آب زیرزمینی کشور شده است. علاوه بر افت شدید سطح آب آبخوان ها، فعالیت های کشاورزی، صنعتی و شهری، آلاینده های مختلفی را به آبخوان ها تحمیل می کنند. برای جلوگیری از ادامه افت کمی و کیفی، مدیریت بهره برداری و حفاظت از آب های زیرزمینی باید به عنوان یک اصل و پایه در برنامه ریزی های کشور قرار گیرد.

چرخه هیدرولوژیکی با وجود مشخص بودن مراحل، پیچیدگی هایی در فرایندها دارد که همواره موضوع بحث متخصصان بوده است. در سال های پس از جنگ جهانی، هیدروژئوشیمی بطور گسترده ای تحت تأثیر پیشرفت ها در علوم دیگر همچون شیمی- فیزیک، مهندسی مواد و اقیانوس شناسی قرار گرفت و در همین زمان بود که کاربردهای هیدرولوژیکی ایزوتوپ ها نیز به سرعت توسعه یافت (Edmunds, 2009). کاربرد رادیوایزوتوپ ها در شناسایی و درمان بسیاری از بیماری ها، بالا بردن کیفیت محصولات کشاورزی تنها بخشی از کاربردهای علوم و فنون هسته ای است. با توجه به دستاوردهای بزرگ کشور ما در زمینه استفاده صلح آمیز از انرژی هسته ای و پیشرفت های پر شتاب علوم و فنون هسته ای در جهان و نیز توسعه این روش ها در عرصه های مختلف، ضرورت پرداختن به آن امری بدیهی به نظر می رسد. امید است این تحقیق به گسترش کاربردهای دانش هسته ای در مدیریت منابع آب کشور و شناخت بهتر خصوصیات آب های زیرزمینی یاری رساند.

در هیدرولوژی آب های سطحی و زیرزمینی استفاده از ردیاب های ایزوتوپی روش با ارزشی برای مطالعات آب شناسی و مدیریت منابع آب محسوب می شود. در این روش علاوه بر منشاء یابی رسوبات که به منظور تعیین مناطق فرسایش پذیر صورت می گیرد، نسبت های ایزوتوپی پایدار همچون ^2H (D) و ^{18}O و رادیوایزوتوپ های طبیعی ^3H (T) و رادیوکربن ^{14}C و نیز ردیاب های ایزوتوپی مصنوعی، جهت تعیین پارامترهای فرآیندی آب های زیرزمینی مانند درصد اختلاط، زمان اقامت و سرعت جریان استفاده شده اند (Sood و همکاران، ۱۹۹۴). ویژگی های شیمیایی آب تنها در موارد معدودی می توانند به عنوان ردیاب محیطی موثر مورد استفاده قرار گیرند، زیرا در بیشتر موارد بین محیط و آب واکنش رخ می دهد. این امر سبب می شود که ماهیت شیمیایی آب تنها به عنوان ابزاری برای شناخت منشاء و مسیر جریان به کار آید (خلج امیرحسینی و نبی پور، ۱۳۸۵). عناصری با عدد اتمی یکسان و عدد جرمی متفاوت را ایزوتوپ های

یک عنصر گویند. عدد جرمی هیدروژن معمولی یک (یک پروتون)، هیدروژن دو یا دوتریوم (D)، دو (یک پروتون و یک نوترون) و تریتیوم (T)، سه (یک پروتون و دو نوترون) است. در ترکیب اتمی مولکول های آب به طور متوسط ۹۹/۹۸۴ درصد هیدروژن معمولی و ۰/۰۱۶ درصد دوتریوم و ۵×۱۰^{-۶} درصد تریتیوم وجود دارد. تریتیوم پرتوزا است، یعنی به مرور زمان اتم های آن واپاشیده شده و به ^3He تبدیل می شود و پرتو بتا گسیل می کند. این ذرات b توسط لایه ای از هوا با ضخامت mm ۷ یا کاغذی با ضخامت mm ۰/۱ کاملاً متوقف می شوند (WHO, ۱۹۸۹). سرعت واپاشی به صورت قراردادی با نیمه عمر، یعنی مدت زمان کاهش تعداد مشخصی از اتم های یک عنصر رادیواکتیو به نصف میزان اولیه خود بیان می شود (Mazor, 2004). تریتیوم دارای نیمه عمر ۱۲/۳ سال می باشد. ناپایداری تریتیوم این امکان را می دهد که با اندازه گیری غلظت آن در آب مورد نظر سن آن، یعنی مدت زمانی که از بارش آن می گذرد را طبق رابطه زیر محاسبه نمود:

$$\ln[A_t] = -\lambda t + \ln[A_0] \quad (1)$$

که در آن t زمان بر حسب سال، $[A_t]$ غلظت تریتیوم در زمان t، $[A_0]$ غلظت اولیه تریتیوم و λ ثابت واپاشی تریتیوم و برابر ۰/۰۵۶ بر سال می باشد (Edmunds, 2009). غلظت تریتیوم در آب با نسبت اتم های آن به اتم های هیدروژن معمولی بیان می شود و هر 10^{-18} از آن یک واحد تریتیوم (TU) است. تریتیوم دارای دو منشاء طبیعی و انسانی است. در فرآیند طبیعی، نوترون های اشعه کیهانی در لایه های بالایی اتمسفر با نیتروژن واکنش داده و ^{15}N تولید می کنند که بسیار ناپایدار بوده و طبق رابطه (۲) به کربن معمولی (^{12}C) و تریتیوم شکسته می شود. اتم های تریتیوم اکسید شده و به آب تبدیل می گردند و به صورت باران وارد آب زیرزمینی می شود. میزان تولید طبیعی تریتیوم حدود ۵ TU است.



منشاء انسانی تریتیوم به آزمایش بمب های هسته ای مربوط می شود. این آزمایشات در سال ۱۹۵۲ در نیمکره شمالی زمین آغاز شد و مقادیر زیادی تریتیوم را به اتمسفر اضافه نمود. این میزان در زمان اوج خود در سال ۱۹۶۳ در آمریکا به ۱۰۰۰۰ TU در یک ماه بارندگی رسید. معاهده بین المللی آزمایش سطحی بمب های هسته ای را در سال ۱۹۶۳ متوقف کرد و از آن پس غلظت تریتیوم در بارندگی روندی نزولی را طی نمود (Mazor, 2004). این موضوع از نقطه نظر زیست محیطی خوشایند ولی از نظر هیدرولوژیکی نامطلوب است، زیرا غلظت تریتیوم در طبیعت دوباره به میزان طبیعی خود بازگشت و اندازه گیری میزان آن را مشکل ساخت. امروزه با تولید تجهیزات مدرن و دقیق، شمارش مقادیر ایزوتوپ ها در مقیاس بسیار کم و ناچیز امکان پذیر شده و دانشمندان را به استفاده از این ابزار قدرتمند در شناسایی فرآیندهای هیدرولوژیکی امیدوار ساخته است.

CFCS^۱ و CF_۶ از جمله ردیاب های غیر ایزوتوپی هستند که برای سنجش سن آب های زیرزمینی جوان مورد استفاده قرار می گیرند. این

مواد در مقایسه با T که هم برای آب‌های سطحی و هم زیرزمینی کاربرد دارد، به علت گازی بودن نمی‌توانند در مجاورت هوا قرار بگیرند و فقط برای آب زیرزمینی استفاده شوند. در زمان بکارگیری این گازها، عواملی از قبیل دما و ارتفاع تغذیه باید قید شود و در مورد CF_6 پدیده هوای اضافه^۵ نیز می‌بایست در نظر گرفته شود. همچنین هنگام استفاده از CFCs، منابع آلودگی مانند مخازن سپتیک، شبکه فاضلاب، مکان‌های دفن زباله و رواناب شهری که می‌توانند حاوی مقادیری از آن باشند، باید لحاظ شوند (Darling و همکاران، ۲۰۱۲). در هر حال به دلیل افت انتشار CFC در ۲۰ سال گذشته (پس از امضای پروتکل مونترال^۶ در سال ۱۹۹۶ که به موجب آن تولید گازهای مخرب لایه اوزون از جمله CFCs ممنوع شد)، به نظر می‌رسد استفاده از CF_6 کارایی بیشتری دارد.

T تنهاردیابی است که به عنوان نوعی اتم هیدروژن، جزئی از مولکول آب به حساب می‌آید و به این دلیل غلظت آن تحت تأثیر عوامل محیطی قرار نمی‌گیرد و در حرکت نسبت به آب دچار تاخیر نمی‌شود، ولی بین CFCs و CF_6 که گازهای محلول در آب هستند، با عناصر موجود در محیط متخلخل همواره واکنش‌هایی رخ می‌دهد که موجب بروز خطا در محاسبات می‌شود (Morgenstern و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین سن محاسبه شده توسط T، زمان حرکت آب در منطقه غیر اشباع را هم شامل می‌شود که در مورد ردیاب‌های گازی اشاره شده این طور نیست و این در مناطقی که سطح ایستابی در عمق زیادی قرار گرفته باعث اشتباه در محاسبات می‌گردد.

استفاده از T به علت محدودیت‌هایی که دارد، به عنوان روشی تکمیلی توصیه شده است (Kazemi و همکاران، ۲۰۰۶؛ Liu و همکاران، ۲۰۱۴). از نظر هزینه هر چند هزینه‌های سن‌سنجی T حدود ۱/۵ برابر استفاده از CFC است، اما نسبت به روش‌های دیگر اندک است (Kazemi و همکاران، ۲۰۰۶). از جمله مزایای استفاده از CFCs و CF_6 ، اندازه‌گیری سریع‌تر و نتایج کمی‌تر نسبت به T و نیز مخلوط شدن یکسان آن‌ها در اتمسفر زمین است، در حالی که میزان غلظت T در مناطق مختلف متفاوت است (Darling و همکاران، ۲۰۱۲). یکی دیگر از محدودیت‌های استفاده از T افت غلظت آن در آب باران و رسیدن آن به غلظت طبیعی آن (۵ TU) است که با افزایش دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری و روش‌های غنی‌سازی^۷ که به تغلیظ آن در نمونه‌های مورد آزمایش می‌پردازد تا حدودی رفع شده است. البته راه حل مطمئن‌تر استفاده از روش مبتنی بر ترکیب مقادیر T و 3He که حاصل واپاشی آن است، می‌باشد که در این صورت نیز نیاز به اندازه‌گیری میزان T وجود دارد.

مطالعات گسترده‌ای در زمینه سن‌سنجش سن آب زیرزمینی با استفاده از تریتیوم به تنهایی و یا به همراه ردیاب‌های دیگر، از سال‌های ابتدای دهه ۱۹۹۰ میلادی در سراسر جهان انجام شده است. در ادامه به تعدادی از این مطالعات که در سال‌های اخیر صورت گرفته، پرداخته می‌شود. Cartwright و Morgenstern (۲۰۱۲) در اعماق مختلف

آبخوان حوضه آبریز اُونز^۸ واقع در جنوب شرق حوضه آبریز اصلی موری^۹ کشور استرالیا، به سن‌سنجی با استفاده از T پرداختند و به این نتیجه دست یافتند، سرعت قائم آب زیرزمینی حدود ۰/۶ متر بر سال است که با توجه به میزان تخلخل آبخوان میزان نرخ تغذیه آن، ۱۸۰-۱۲۰ میلی‌متر بر سال محاسبه می‌شود. Han و همکاران (۲۰۱۲) نیز بر اساس نتایج مطالعه همزمان T و CFCs سه نوع رژیم آب زیرزمینی را در دشت ساحلی جنوبی خلیج لایژو^{۱۰} واقع در شمال چین که با پیشروی آب شور مواجه است، تشخیص دادند. نوع اول که در جنوب دشت واقع شده دارای آب زیرزمینی جوان با سن کمتر از ۳۴ سال است، نوع دوم در مناطق میانی دشت، مخلوطی از آب جوان تغذیه کننده و آب قدیمی نیست کرده است و نوع سوم که مناطق شمالی دشت را شامل می‌شود و آب شور با سنی بیش از ۵۰ سال بوده که سرعت حرکت آب در آن اندک است.

Tait و همکاران (۲۰۱۴) سن آب زیرزمینی حاوی مواد مغذی را که در زیر سطح آب یک تالاب، به آن تخلیه می‌شود، مورد بررسی قرار دادند. تالاب مورد مطالعه در جزایر کوک^{۱۱} و در میان اقیانوس آرام واقع شده که سن آب زیرزمینی وارد شده به آن، با استفاده از تریتیوم، بین ۱۰ تا ۹۳ سال محاسبه شد. بر این اساس بین نفوذ مواد مغذی خاک سطحی به سفره آب زیرزمینی و تخلیه آن به تالاب، تاخیر زمانی وجود دارد و از این رو اقداماتی که به منظور کاهش ورود مواد مغذی انجام می‌شود، ممکن است تا دهه‌ها باعث کاهش جریان مواد مغذی ورودی به تالاب نشود. Liu و همکاران (۲۰۱۴) در حوضه آبریز هوهوت^{۱۲} واقع در شمال شرق دشت هتائو^{۱۳} کشور مغولستان، با استفاده از T و CFCs نشان دادند که سن آب زیرزمینی به دست آمده از هر یک از دو روش در سطح یک درصد همبسته است و مقادیر آن را بین ۲۱ تا بیش از ۵۰ سال تعیین کردند. همچنین آن‌ها سرعت جریان در سفره کم عمق را در دو مسیر مختلف حدود ۰/۷۳ کیلومتر بر سال محاسبه نمودند.

مهم‌ترین و منحصر به فردترین کاربرد مقوله سن آب زیرزمینی قابلیت تعیین میزان تجدیدشوندگی یا بازپرسازی منابع آب زیرزمینی است. این مفهوم به نوبه خود بیانگر اعتبار مخازن آب زیرزمینی و میزان حساسیت و آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر چالش‌هایی نظیر آلودگی، خشکسالی و برداشت بی‌رویه می‌باشد. همچنین سن آب زیرزمینی تنه‌مفهوم علمی است که نشان می‌دهد، منابع آب زیرزمینی جدیداً با بارندگی تغذیه شده‌اند یا این که آب استخراج شده در سفره با فرآیندهای آهسته نفوذ که در زمان‌های دور اتفاق افتاده جمع شده است (Kazemi و همکاران، ۲۰۰۶). بر اساس مطالعات پیشین که به برخی از آن اشاره شد، اندازه‌گیری تریتیوم به تنهایی و یا به همراه ردیاب‌های دیگر، می‌تواند با مشخص نمودن سن آب زیرزمینی به محاسبه خصوصیات هیدرودینامیک آبخوان کمک نموده و نتایجی کاربردی در مدیریت سفره‌های آب زیرزمینی ارائه دهد. از این رو هدف مقاله حاضر ارائه روش رادیوایزوتوپی اندازه‌گیری سن آب زیرزمینی با استفاده از غنی‌سازی تریتیوم می‌باشد.

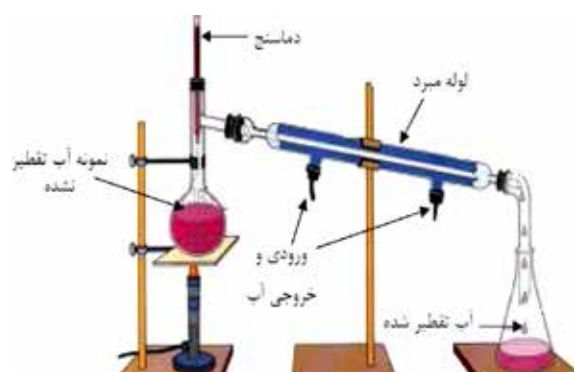
عملیات اندازه‌گیری غلظت تریتیوم در آب زیرزمینی شامل نمونه‌برداری، تقطیر اولیه نمونه‌ها، غنی‌سازی، تقطیر ثانویه نمونه‌ها، سنجش پرتوزایی بر حسب واحد تریتیوم (TU)، محاسبه پارامترهای دستگاهی اندازه‌گیری تریتیوم و سن نمونه‌ها است که در ادامه هر یک از این مراحل تشریح می‌شوند.

• روش نمونه‌برداری تریتیوم

در ابتدا بطری‌های نمونه‌برداری برچسب زده شده و تاریخ، ساعت، شماره نمونه و مختصات محل نمونه‌برداری با ماژیک‌های ضد آب بر روی آن درج می‌گردد. برای اطمینان بیشتر، شماره نمونه در چند محل روی بطری یا برچسب آن نوشته می‌شود. برای شست‌وشو بطری‌ها باید بطری نمونه‌برداری با آبی که نمونه‌برداری از آن انجام می‌شود، پر شده و پس از بستن درب آن، بطری به شدت تکان داده می‌شود تا تمام سطح داخلی آن شسته شود. در ادامه آب شست‌وشو به حالت چرخشی از بطری خارج می‌شود. سپس با تکان دادن، کلیه قطرات چسبیده به بطری بیرون انداخته می‌شود. قبل از نمونه‌برداری لازم است پمپ‌ها برای مدت حداقل یک

• تقطیر اولیه نمونه‌ها

عملیات تقطیر جهت زدودن ناخالصی‌ها و مواد آلی در نمونه‌ها انجام می‌شود. در این فرآیند ۳۰۰ ml از نمونه مورد نظر را با ۲۵۰ mg سدیم تیوسولفات جهت تبدیل یون I^- به I_2 داخل بالن ریخته می‌شود. به منظور قلیایی کردن نمونه، ۵۰۰ mg پودر سدیم کربنات به آن اضافه می‌شود. نمونه آماده شده در دستگاه تقطیر قرار می‌گیرد (شکل ۱). ۷۵-۵۰ ml از آب تقطیر شده اولیه دور ریخته شده و ۱۰۰ ml بعدی جمع‌آوری می‌گردد که با توجه به اینکه میزان نمونه اولیه مورد نیاز جهت عملیات غنی‌سازی الکترولیتی ۲۰۰ ml است، مراحل تقطیر اولیه برای هر نمونه باید دو بار انجام شود.



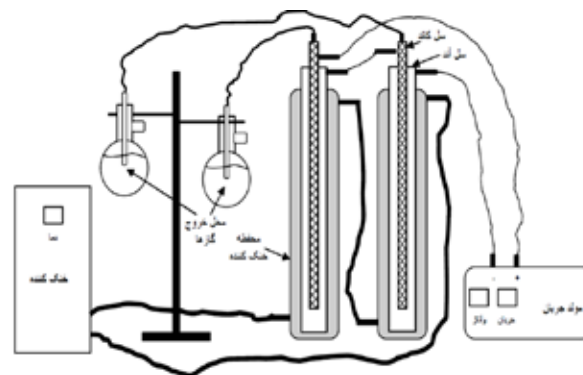
شکل ۱- طرح شماتیک دستگاه تقطیر

ساعت به کار انداخته شود تا آب موجود در چاه که احتمال اختلاط آن با آب باران و یا تبخیر از آن وجود دارد، تخلیه شود. در این نمونه‌برداری، جریان باید کم و یکنواخت و در حدود ۵۰۰ میلی لیتر در دقیقه باشد تا بطری نمونه‌برداری بدون صدا پر شود. به این منظور بطری پلی‌اتیلن نشکن HDPE با غلظت بالا مناسب‌تر است. از هر محل دو نمونه آب یک لیتری جمع‌آوری و دقت شود که قسمت کوچکی از بطری برای انبساط نمونه خالی باشد. در انتها درب بطری به طور کامل بسته و برای جلوگیری از تبخیر و باز شدن در حین نقل و انتقال، با نوار چسب پیچیده شود. این نمونه‌ها نباید نزدیک منابع تریتیوم مانند ساعت‌های تابنده (فلورسنس^{۱۴}) و علامات یا هر وسیله‌ای از جنس نور افشا (لومینسنس^{۱۵}) قرار گیرند (IAEA, ۲۰۰۰). یکی از مراکزی که در داخل کشور می‌توان آزمایشات اندازه‌گیری تریتیوم را در آن به انجام رساند، پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای وابسته به سازمان انرژی اتمی ایران است که هزینه آن در سال ۱۳۹۰ برای هر نمونه حدود سه میلیون ریال بوده است. لازم به ذکر است نمونه‌های مورد نیاز در روش‌های CFCs و CF_6 در ظروف شیشه‌ای نگهداری شده و عملیات جمع‌آوری آن، به علت اهمیت عدم وجود هوا در نمونه، اندکی دشوارتر از تریتیوم است (IAEA, ۲۰۰۰).

• غنی‌سازی نمونه‌ها

بطور کلی ایزوتوپ‌های سنگین‌تر در واکنش‌ها کمتر شرکت می‌کنند و فرآیندها و فشارهای بیرونی نیز روی آن‌ها کمتر موثر است. از نظر شیمیایی، تریتیوم مشابه هیدروژن عمل می‌کند، اما از آنجا که تریتیوم جرم بیشتری دارد، در بسیاری از واکنش‌ها خیلی کندتر از هیدروژن شرکت می‌کند. این اساس یکی از روش‌های افزایش غلظت تریتیوم در آب به منظور اندازه‌گیری مقادیر بسیار کم، به نام غنی‌سازی الکترولیتی می‌باشد. به این معنی که هنگام الکترولیز شدن مولکول‌های آب، عمدتاً مولکول‌هایی که هیدروژن معمولی دارند در واکنش شرکت کرده و مولکول‌های حاوی تریتیوم در آب باقی مانده و در نتیجه غلظت آن افزایش می‌یابد.

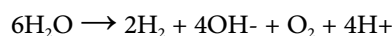
یک واحد دستگاه غنی‌سازی که به آن سلول^{۱۶} می‌گویند، شامل دو بخش اصلی کاتد و آنود می‌باشد. جهت راه‌اندازی دستگاه غنی‌سازی الکترولیتی کاتد داخل آنود قرار می‌گیرد و با عایق‌هایی که در بالا و پایین قرار دارد دو الکتروود کاملاً از هم جدا می‌گردند. الکتروودها با پیچ به هم محکم بسته می‌شوند تا نمونه با رطوبت هوا در ارتباط نباشد. نمونه آب از لوله کوچکی که بالای کاتد قرار دارد، وارد دستگاه غنی‌سازی شده و با اتصال الکتروودها به یک منبع تغذیه، عمل الکترولیز آغاز می‌شود. به منظور جلوگیری از تبخیر و ایجاد بیشترین امکان جداسازی ایزوتوپی، دما با یک سامانه سردکننده نزدیک صفر نگه داشته می‌شود.



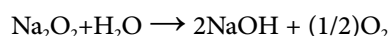
شکل ۲- طرح شماتیک دستگاه غنی‌سازی الکترولیتی

مقطر و خشک کردن به همراه کاتد، روی سیستم نصب می‌شود. برای الکترولیز آن می‌بایست الکترولیتی به آن اضافه کرد که آنیون و کاتیون آن قادر به ترکیب شدن با الکترودها نباشد. به این منظور پراکسید سدیم (Na_2O_2) استفاده می‌شود.

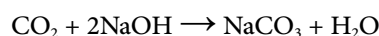
الکترولیز با اعمال اختلاف پتانسیل ۶ ولتی به مجموعه سلول‌ها انجام می‌گیرد. برای الکترولیز نمونه به حدود ۴۵۰ آمپرساعت جریان نیاز است (۲/۹۷۸ آمپرساعت برای الکترولیز هر گرم آب). واکنش رخ داده در سلول عبارت است از:



در نمونه حین تغلیظ واکنش دیگری نیز به صورت زیر انجام می‌شود که محلول را قلیایی می‌کند:



در این واکنش اکسیژن به دست آمده از سلول خارج شده و در آخر نمونه الکترولیز شده حاوی مقداری سود خواهد بود که به دلیل این که خود یک عامل کوئچ محسوب می‌شود باید خنثی شود. عمل خنثی کردن توسط گاز CO_2 انجام می‌شود. با ورود و خروج حدود ۲۵ لیتر گاز، NaOH موجود در نمونه با واکنش زیر به کربنات تبدیل شده و ته‌نشین می‌شود:



این مقدار با قرار دادن یک نمونه فاقد تریتیوم که به آن آب مرده^{۳۱} می‌گویند، در کنار سایر نمونه‌ها قابل اندازه‌گیری است. پس از شمارش همزمان آب مرده و سایر نمونه‌ها هر مقداری که به عنوان پرتوزایی نمونه آب مرده تعیین گردد، زمینه^{۳۲} نامیده می‌شود.

جهت انجام شمارش توسط دستگاه شمارش سوسوزن مایع نمونه‌های زیر را در سینی مخصوص دستگاه LSC قرار می‌دهیم:

۱- نمونه اصلی: ۸ ml از نمونه آب تقطیر شده را به همراه ۱۰ ml محلول سنتیلاتور High Safe به داخل ویال ریخته و درب آن را بسته و آن را مخلوط می‌کنیم تا نمونه هموژن به دست آید.

۲- نمونه زمینه: ۸ ml آب مرده را به همراه ۱۰ ml محلول سنتیلاتور High Safe در ویال ریخته و بعد از آن درب آن را محکم بسته و ظرف را تکان می‌دهیم تا همگن گردد.

۳- نمونه استاندارد: ۸ ml محلول استاندارد را که با توجه به اکتیویته (پرتوزایی) مورد نیاز آماده شده را به همراه ۱۰ ml محلول سنتیلاتور High Safe درون ویال ریخته، درب آن را بسته و تا زمانی که هموژن شود تکان می‌دهیم. مدت شمارش برای نمونه‌های تریتیوم ۵۰۰ دقیقه است.

اولیه اندازه‌گیری و ضریب تغلیظ دستگاه غنی‌سازی نشان‌دهنده میزان افزایش غلظت تریتیوم در نمونه‌ها می‌باشد. با در اختیار داشتن نتایج شمارش نمونه‌ها بازده دستگاه شمارش از این رابطه به دست می‌آید:

در اولین آزمایش سلول کاتد (از جنس آهن) را با اتانول ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) شسته و خشک می‌شود. سپس به مدت نیم ساعت در ظرف حاوی اسید کلریدریک (HCl) 80°C قرار گرفته و پس از شست‌وشو با آب جوش، خشک می‌نمایند. سپس برای نیم ساعت داخل استوانه شیشه‌ای محتوی اسید فسفریک (H_2PO_4) 80°C قرار داده می‌شود، تا فسفاته شود و رنگ آن به خاکستری تبدیل گردد. بالاخره کاتد بارها با آب جوش شست‌وشو داده شده و برای ۲۴ ساعت در حرارت 150°C قرار می‌گیرد. آند نیز پس از شست‌وشو با آب

• تقطیر ثانویه و سنجش پرتوزایی ناشی از تریتیوم

در مرحله بعد باید یکبار دیگر نمونه‌ها تقطیر شوند. یکی از روش‌های دقیق برای اندازه‌گیری مقدار تریتیوم در غلظت‌های بسیار پایین، شمارش سوسوزن مایع (^{18}LSC) است. غلظت تریتیوم ۱۵-۱۰ TU به طور مستقیم با LSC قابل اندازه‌گیری است. برای غلظت‌های پایین‌تر، تریتیوم آب تغلیظ یا غنی‌سازی می‌شود. اساساً فرآیند سنتیلاسیون (سوسوزن) تبدیل انرژی پدیده واپاشی رادیواکتیو به فوتون‌های نور است. هر عاملی که در این فرآیند باعث کاهش بازده انتقال انرژی و یا موجب تضعیف فوتون‌ها گردد، عامل تاریکی یا کوئچ^{۳۱} نامیده می‌شود. اثر کوئچ، کاهش در تعداد فوتون‌های اندازه‌گیری شده است که موجب کاهش میزان شمارش در واحد زمان (cpm)^{۳۲} می‌شود و بازده شمارش در نمونه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. برای تعیین پرتوزایی مطلق نمونه (dpm)^{۳۳} ضروری است که سطح کوئچ اولیه نمونه اندازه‌گیری شود و سپس تصحیحات لازم برای تعیین بازده شمارش اعمال گردد (قنادی مراغه، ۱۳۸۴).

همچنین یک مقدار ثابت از شمارش انجام شده در هر اندازه‌گیری مربوط به محیط بوده و ارتباطی با میزان پرتوزایی نمونه ندارد.

• محاسبه پارامترهای دستگاهی اندازه‌گیری تریتیوم

پارامترهای دستگاهی مورد نیاز جهت اندازه‌گیری تریتیوم نمونه‌ها شامل بازده دستگاه شمارش و ضریب تغلیظ دستگاه غنی‌سازی می‌باشد. بازده دستگاه شمارش بیانگر سطح کوئچ

$$\varepsilon = (N_s/T_s - N_b/T_b)/(A.V) \quad (3)$$

که در آن ε = بازده شمارش دستگاه برای اندازه‌گیری ^3H ، N_s = تعداد شمارش برای نمونه استاندارد، T_s = زمان شمارش نمونه استاندارد (ثانیه)، N_b = تعداد شمارش برای نمونه زمینه، T_b = زمان شمارش نمونه زمینه (ثانیه)، A = پرتوایی ^3H در نمونه استاندارد (Bq)، V = حجم نمونه آب مورد آزمایش (لیتر)

سپس با استفاده از رابطه زیر ضریب تغلیظ دستگاه غنی‌سازی محاسبه گردید:

$$EF = (N_{es}/T_{es} - N_b/T_b)/(N_s/T_s - N_b/T_b) \quad (4)$$

که در آن EF = ضریب تغلیظ، N_{es} = تعداد شمارش برای نمونه

استاندارد بعد از تغلیظ، T_{es} = زمان شمارش استاندارد بعد از تغلیظ (ثانیه) است.

• محاسبه سن نمونه‌ها

سن نمونه‌ها بر اساس پرتوایی نهایی (رابطه ۵) و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود، که زمان (t) در آن همان سن نمونه آب زیرزمینی است.

$$A^3_{(H)} = (N_s/T_s - N_b/T_b)/(\varepsilon.V.EF) \quad (5)$$

که در آن: $A(^3\text{H})$ = پرتوایی ^3H (dpm/gr)، N_s = تعداد شمارش نمونه T_s ، ^3H = زمان شمارش نمونه (ثانیه) است.

نتایج و بحث

در مطالعه سن‌سنجی رادیوایزوتوپی با استفاده از تریتیوم نیاز به وجود سری زمانی مقادیر موجودی تریتیوم آب باران در منطقه مورد مطالعه است که در صورت عدم وجود آن، سن‌یابی کیفی و بدون بیان عدد دقیق سن، بر اساس سال انفجارات هسته‌ای (۱۹۵۲-۱۹۶۳) انجام می‌گیرد. بر طبق دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات آبخوان‌های آبرفتی تهیه شده توسط دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، در حالت کلی

برای مقادیر مختلف تریتیوم موجود در آب زیرزمینی می‌توان طول عمرهای مشخصی را متصور شد (وزارت نیرو، ۱۳۹۰). البته ارقام این دستورالعمل بر اساس سنجش‌های سال ۱۳۷۵ می‌باشد که غلظت‌های مذکور باید اصلاح شوند. به عنوان مثال ارقام جدول (۱) برای سال ۱۳۹۰ تصحیح شده و برای مناطق درون قاره‌ای و ساحلی، آورده شده است. لازم به ذکر است که خطای سن‌سنجی با استفاده از CFC که با استفاده از کروماتوگرافی گازی 3 و با دقت $\pm 3\%$ و حد اندازه‌گیری ۵۰ پیکوگرم بر کیلوگرم انجام شود، کمتر از یک سال است (Dunkle و همکاران، ۱۹۹۳).

جدول ۱- مقادیر تریتیوم مربوط به سنین مختلف آب در روش سن‌یابی کیفی

بازه مقادیر تریتیوم (TU)		سن آب
نواحی ساحلی	نواحی قاره‌ای	
کمتر از ۰/۳۳	کمتر از ۰/۳۳	تغذیه آبخوان قبل از سال ۱۹۵۲
۰/۳۳ - ۰/۸۲	۰/۳۳ - ۲	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۰/۸۲ - ۳/۳	۲ - ۶/۱	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۳/۳ - ۸/۲	۶/۱ - ۱۲/۲۵	تغذیه از سال ۱۹۶۳
بیشتر از ۸/۲	۱۲/۲۵ - ۲۰/۴	سهم عمده تغذیه مربوط به اواخر دهه ۶۰ و اوایل دهه ۷۰
-	بیشتر از ۲۰/۴	عمده تغذیه از سال ۱۹۶۳ تا ۱۹۶۹

بر گرم معادل dpm/gr ۱۵۹۸۸۵۹۹/۸ محاسبه و با رقیق‌سازی به اکتیویته نهایی dpm/gr ۲/۸۳۷ رسانده شد (کریمی‌راد و همکاران، ۱۳۹۲).

همان طور که مشاهده می‌شود در این مطالعه سن‌سنجی نمونه‌ها با روش ذکر شده در جدول (۱) انجام گرفته و در نتیجه سن نمونه‌ها در دو گروه بین ۵ تا ۱۰ سال (تغذیه جدید) و نیز مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲ (سن بیش از ۶۵ سال) تعیین گردیده است. لازم به ذکر است به طور کلی در مطالعات ایزوتوپی توصیه می‌شود نمونه‌برداری در دو فصل تر و خشک انجام شود، ولی در مثال ذکر شده با توجه به امکانات موجود تنها یک مرحله نمونه‌برداری صورت گرفت.

به عنوان مثال جدول (۲) مقادیر تریتیوم اندازه‌گیری شده در نمونه‌های برداشت شده از سفره تحت فشار استان گلستان که فاقد سری زمانی مقادیر موجودی تریتیوم باران است، را نشان می‌دهد (کریمی‌راد و همکاران، ۱۳۹۲). این مطالعه در بهار سال ۱۳۹۰ با جمع‌آوری ۱۶ نمونه آب زیرزمینی و انجام کلیه مراحل آزمایشات در پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای به اجرا درآمد. همچنین به منظور تعیین ضریب تغلیظ در این مطالعه از استاندارد با تاریخ تولید ۲۰۰۴/۴/۲۴ استفاده شد. با توجه به این که اکتیویته این نمونه استاندارد در زمان تولید برابر ۴۰۱۲۳۰/۵ کیلوگرل بر گرم بوده است، با استفاده از رابطه واپاشی تریتیوم (رابطه ۱) اکتیویته استاندارد در زمان نمونه‌سازی ۲۶۲۳۹۹/۸ کیلوگرل

جدول ۲- میزان اکتیویته واقعی تریتیوم و سن آب زیرزمینی نمونه‌ها

شماره نمونه	اکتیویته واقعی تریتیوم (dpm/gr)	اکتیویته واقعی تریتیوم (TU)	سن نمونه
۲۶	۱/۳۰۸۳۱۴	۱/۲۰۰۱۲۴	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۳۴	۰/۹۸۱۱۹۹	۰/۹۰۰۰۵۹	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۳۷	۲/۷۴۹۵۱۶	۲/۵۲۲۱۴۶	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۱۲۷	۱/۲۴۳۶۴۹	۱/۱۴۰۸۰۷	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۱۴۴	۱/۴۱۶۹۹۳	۱/۲۹۹۸۱۵	مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲
۱۴۶	۲/۸۹۹۷	۲/۶۵۹۹۱۱	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)
۱۴۷	۲/۷۰۹۲۹۳	۲/۴۸۵۲۵	تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال)

جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات

مطالعه حاضر می‌تواند به عنوان دستورالعملی کاربردی جهت استفاده محققین کشور به منظور اندازه‌گیری غلظت بسیار پایین تریتیوم در نمونه‌های آب زیرزمینی با توجه به امکانات داخلی ارائه گردد و عرصه‌ای جدید را در مطالعات هیدرولوژیک، ایمنی هسته‌ای و بسیاری زمینه‌های دیگر پیش روی محققین قرار دهد.

با توجه به مطالب گفته شده، روش غنی‌سازی الکترولیتی راهکاری عملی جهت افزایش غلظت در نمونه‌های طبیعی که مقادیر بسیار کمی تریتیوم دارند، می‌باشد. با این روش می‌توان غلظت تریتیوم را به حدی رساند که با روش LSC قابل اندازه‌گیری باشد. با توجه به ضریب تغلیظ به دست آمده، این روش قادر خواهد بود، مقادیر تریتیوم زیر ۱ TU را قابل اندازه‌گیری نماید و می‌تواند مشکل اصلی موجود بر سر راه استفاده از تریتیوم را که افت غلظت آن در اتمسفر است تا حدودی رفع نموده و اندازه‌گیری سن تا ۵۰ سال را ممکن سازد.

از نتایج ارائه شده مربوط به مطالعه موردی که به عنوان مثال آورده شده، می‌توان این گونه نتیجه‌گیری نمود که در مجموع بخش‌هایی از آبخوان مورد مطالعه بسیار جوان بوده و در مدت کمتر از ۱۰ سال تجدید و بازپرسازی می‌شود. این نتیجه می‌تواند در ارزیابی ریسک این پیکره آبی مورد استفاده قرار گیرد؛ به این صورت که در چنین شرایطی این بخش از آبخوان به سرعت تحت تأثیر تغییرات کمی و کیفی قرار می‌گیرد. این تغییرات می‌توانند شامل خشکسالی، برداشت بی‌رویه و یا نشر آلودگی در آبخوان باشد. البته این حساسیت باعث می‌شود که آبخوان پس از رفع عامل تغییر کمی یا کیفی نیز به همان سرعت احیا شود، به شرط آن که ظرفیت نگهداشت آن به دلیلی مانند نشست زمین کاهش پیدا نکرده باشد. بنابراین می‌توان گفت در این بخش از آبخوان فاصله زمانی بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدروژئولوژیکی نسبتاً کم است. همچنین عدم وجود آب‌های ذخیره شده قدیمی در این قسمت آبخوان امکان برنامه‌ریزی برای تمام آب موجود در آن را فراهم می‌آورد. زیرا اگر شرایط آب و هوایی تغییر

خاصی نداشته باشد، می‌توان از تجدیدپذیری کل حجم آبخوان در کوتاه‌مدت مطمئن بود.

در محدوده‌هایی که ذخائر آب قدیمی وجود دارد، از تأثیر تغییرات کمی و کیفی به وجود آمده بر آبخوان کاسته می‌شود و در نتیجه درجه اطمینان آن بالا می‌رود. ولی از سوی دیگر باید در بهره‌برداری از این بخش سفره، برنامه‌ریزی‌ها را تا حد امکان به حجم تجدید شونده آبخوان (آب‌های جوان) معطوف نمود. چرا که با برداشت ذخائر آب قدیمی، ضمن از بین رفتن اطمینان کنونی به آبخوان، آب تجدید شونده باقیمانده پاسخگوی نیازهای تعریف شده نخواهد بود. بنابراین در این بخش از آبخوان، اعمال سیاست‌های محدودکننده برداشت ضروری به نظر می‌رسد.

انتخاب یک مقدار غلظت اولیه تریتیوم همواره یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها در سن‌سنجی دقیق رادیوایزوتوپی محسوب می‌شود. از طرف دیگر اطلاع از روند تغییرات مقدار تریتیوم آب باران امکان سن‌یابی کمی و دقیق‌تر را فراهم آورده و به توسعه روش‌های رادیوایزوتوپیکی خواهد انجامید. لذا توصیه می‌شود برنامه‌ای توسط دستگاه‌های ذیربط، جهت نمونه‌برداری و اندازه‌گیری غلظت تریتیوم در محل‌های تغذیه و نیز سطح آبخوان‌ها تنظیم گردد.

پی‌نوشت

- 1- Deuterium
- 2- Tritium
- 3- Radiocarbon
- 4- Chlorofluorocarbons
- 5- excess air
- 6- Montreal Protocol
- 7- Enrichment
- 8- Ovens
- 9- Murray

- 17- Liquid Scintillation Counting
- 18- Quench
- 19- Count Per Minute
- 20- Disintegration Per Minute
- 21- Dead Water
- 22- Background
- 23- Gas chromatography

- 10- Laizhou
- 11- Cook islands
- 12- Hohhot
- 13- Hetao
- 14- Fluorescence
- 15- Luminescence
- 16- Cell

Han D. M., Song X. F., Currell M. J. and Tsujimura M. 2012. Using chlorofluorocarbons (CFCs) and tritium to improve conceptual model of groundwater flow in the South Coast Aquifers of Laizhou Bay, China. *Hydrological Processes*, 26(23): 3614-3629.

IAEA. 2000. *Generic Procedures for Monitoring in a Nuclear or Radiological Emergency*, IAEA-TEC DOC-1092, Vienna, p. 48.

Kazemi G.A., Lehr J.H. and Perrochet P. 2006. *Groundwater Age*. John Wiley & Sons, 90:1-164.

Liu J., Chen Z., Wei W., Zhang Y., Li Z., Liu F. and Guo H. 2014. Using chlorofluorocarbons (CFCs) and tritium (3H) to estimate groundwater age and flow velocity in Hohhot Basin, China. *Hydrological Processes*, 28(3): 1372-1382.

Mazor E. 2004. *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology Third Edition*. Marcel Dekker, Inc, 97-113, 181-270.

Morgenstern U., Daughney C. J., Leonard G., Gordon D., Donath F. M. and Reeves R. 2014. Using groundwater age to understand sources and dynamics of nutrient contamination through the catchment into Lake Rotorua, New Zealand. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 11(8): 9907-9960.

Sood D.D., Manohar S.B. and Reddy A.V.R. 1994. *Experimentals in Radiochemistry*. Eds, IANCAS Publication, Mumbai.

Tait D.R., Erler D.V., Santos I.R., Cyronak T. J., Morgenstern U. and Eyre B.D. 2014. The influence of groundwater inputs and age on nutrient dynamics in a coral reef lagoon. *Marine Chemistry*, 166: 36-47.

WHO. 1989. *Guidelines for Iodine Prophylaxis Following Nuclear Accidents*, WHO Regional Officer for Europe, Environmental Health Series, 35 (1989): 37.

منابع

خلج امیرحسینی، ی. و نبی‌پور، م. ۱۳۸۵. کاربرد ردیاب‌ها در مطالعات منابع آب. موسسه تحقیقات آب.

علیزاده، ا. ۱۳۸۰. اصول هیدرولوژی کاربردی. دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.

قنادی مراغه، م. ۱۳۸۴. مبانی رادیوشیمی. موسسه فرهنگی انتشاراتی آیه. ص ۳۳۵، ۳۳۶، ۳۴۸، ۳۸۵ و ۳۸۶.

کریمی‌راد، ا.، حسام، م.، بهرامی سامانی، ع. و ایزدپناه، ع. ۱۳۹۲. تعیین سن آب زیرزمینی در سفره تحت فشار استان گلستان از طریق اندازه‌گیری تریتیوم. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۰(۶): ۱۸۳-۱۹۹.

وزارت نیرو، ۱۳۹۰. دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات آبخوان‌های آبرفتی. دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، شماره ۵۵۲: ۷۸.

Cartwright I. and Morgenstern U. 2012. Constraining groundwater recharge and the rate of geochemical processes using tritium and major ion geochemistry: Ovens catchment, southeast Australia. *Journal of Hydrology*, 475: 137-149.

Darling W. G., Gooddy D. C., MacDonald A. M. and Morris B. L. 2012. The practicalities of using CFCs and SF 6 for groundwater dating and tracing. *Applied Geochemistry*, 27(9): 1688-1697.

Dunkle S. A., Plummer L. N., Busenberg E., Phillips P. J., Denver J. M., Hamilton P. A., Michel R. L. and Coplen T. B. 1993. Chlorofluorocarbons (CCl₃F and CCl₂F₂) as dating tools and hydrologic tracers in shallow groundwater of the Delmarva Peninsula, Atlantic Coastal Plain, United States. *Water Resources Research*, 29(12): 3837-3860.

Edmunds W.M. 2009. Geochemistry's vital contribution to solving water resource problems. *Journal of Applied Geochemistry*, 1058-1073.

Literature Review on Dam Removal: A U-Turn Towards the Sustainable Management

B. Khayat rostami^{1*}, A. Safarzadeh², S. Khayat rostami³

1- M.Sc, Civil Engineering Faculty, Hydraulic Structures Department, Young Researchers Club, Iran, 2, 3- Associate Professor in Civil Engineering Faculty & M.Sc student of Hydraulic Structures, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

*(Corresponding Author Email: babak.kh.rostami@gmail.com)

Received: 09-02-2016

Accepted: 05-08-2016

مطالعه مروری رویکرد سدزدایی در مدیریت پایدار آب و محیط زیست

بابک خیاط رستمی^{۱*}، اکبر صفرزاده^۲، سیامک خیاط رستمی^۳

۱- دانش آموخته کارشناس ارشد عمران- سازه های هیدرولیکی، باشگاه پژوهشگران جوان. ۲ و ۳- به ترتیب دانشیار گروه مهندسی عمران و دانشجوی کارشناسی ارشد عمران-سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: babak.kh.rostami@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۱۵

Abstract

Modern dam construction developed rapidly after the industrial revolution and the manufacturing of the heavy construction machinery. The benefits of this industry, such as flood control, agricultural and tourism developments, hydropower generation and drinking water supply, shaded its negative impacts. Dam removal in the developed countries, which have passed the rapid dam construction period, is an outcome of the sustainable development approach. Nowadays negative impacts of rapid dam construction projects are taking place gradually in our country. For the first time in Iran, this paper reviews the history, reasons and literature on dam removal and investigates its relation with the water management paradigms. After introducing the key indicators and decision-making models, the dam removal process has been explained and recent dam removal trends in the United States is presented. Finally, one of the applicability cases in Iran has been investigated in a brief comparative study.

Keywords: Dam removal, Ecosystem, Adaptive management, Decision making.

چکیده

سدسازی مدرن، پس از انقلاب صنعتی و تولید ماشین آلات سنگین ساختمانی رو به گسترش نهاد و تبعات منفی آن برای محیط زیست و اجتماع در سایه دستاوردهای این صنعت نظیر مهار سیلاب، توسعه کشاورزی و توریسم، تولید انرژی برقابی و تأمین آب شرب قرار گرفت. سدزدایی در کشورهایی که دوران سدسازی شتابان را پشت سر نهاده اند، محصول نگرش توسعه پایدار می باشد. تبعات سدسازی شتابان در کشور ما ایران نیز به تدریج در حال رخ نمودن است. مقاله حاضر به عنوان اولین مطالعه مروری سدزدایی منتشر شده در ایران، دلایل، تاریخچه و رابطه آن با پارادایم های مدیریت آب را بررسی می کند؛ پس از معرفی شاخص های کلیدی و مدل های تصمیم گیری، فرایند سدزدایی تبیین و روند کنونی سدزدایی در ایالات متحده ارائه شده است. در نهایت یکی از زمینه های انجام آن در کشور به اجمال مورد بررسی تطبیقی قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: سدزدایی، اکوسیستم، مدیریت تطبیقی، تصمیم گیری.

یکی از رویکردهایی که برای مقابله با اثرات نامطلوب سدها در سطح جهانی شکل گرفته است، سد زدایی^۱ یا انهدام^۲ سدها می‌باشد. هر سد بسته به اندازه و موقعیت خود محدوده محلی، منطقه‌ای، ملی و حتی بین‌المللی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر اساس نظریه سیستم‌ها، هر گونه تغییر در اجزای سیستم به بازخوردهای مثبت یا منفی مجموعه در کوتاه یا بلندمدت می‌انجامد. بیشترین انتقادات به سدها به خاطر تأثیر گسترده آنها بر اکوسیستم می‌باشد (شکل ۱)؛ از جمله، اکوسیستم ۶۰ درصد از ۲۲۷ رودخانه بزرگ جهان به طور کامل یا نسبی با احداث سازه‌های آبی به خصوص سد گسسته شده است^۳ (Revenga و همکاران، ۲۰۰۰)، (Nilsson و همکاران، ۲۰۰۵). سهم مخازن سدها در بین علل انسانی گرم شدن کره زمین بیش از ۴ درصد تخمین زده می‌شود (Lima و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین تأثیر احداث و بهره‌برداری سدها بر آبدهی رودخانه‌ها را بزرگتر از هرگونه تغییرات هیدرولوژیک از جمله

تغییرات اقلیمی دانسته‌اند (Graf، ۱۹۹۹). مجموعه این تأثیرات سدزدایی را در برخی کشورها توجیه‌پذیر نموده است.

سد زدایی عبارتست از اقدام مدیریت شده برای تخریب یک سد یا زنجیره‌ای از سدها در حوضه آبریز رودخانه، به دلایل ذیل:

۱- احیای بستر و رژیم جریان در رودخانه و سیلابدشت (اسحاقی و همکاران، ۱۳۹۲)

۲- حفاظت تالاب‌ها و گونه‌های گیاهی و جانوری

۳- از دست رفتن توجیه اقتصادی سدها به خاطر هزینه‌های بالای تعمیر و نگهداری، یا کاهش آورد در اثر تغییرات اقلیمی

۴- مسائل ایمنی مربوط به ضعف طراحی، فرسودگی سازه، یا بروز زلزله‌های القائی در مخزن سد

۵- پاسخگوئی به تقاضاهای اجتماعی

گذشته از جنبه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی، هزینه تخریب ۱۰ هزار سد بررسی شده در اروپا، دو تا سه برابر کمتر از هزینه تعمیر آنها برآورد گردیده است (Aspen، ۲۰۰۲).

سدزدایی یکی از علل کاهش تدریجی تعداد سدهای در حال بهره‌برداری در آمریکا و اروپا دانسته می‌شود (Kornijów، ۲۰۰۹).

مشخصات اکوسیستم						
نوع سد	زیستگاه	مهاجرت	بیوزلوشیمی	انتقال رسوب	رژیم دما	رژیم جریان
	آبشار	●	■	■	■	■
	واریزه	○	○	○	○	○
	سد سنگ آبی	●	●	●	●	●
ارتفاع سد	ارتفاع تا نیم متر	○	○	○	○	○
	ارتفاع ۱-۵ متر	●	●	●	●	●
	بیشتر از ۱۵ متر	●	●	●	●	●
تأثیر	بی تأثیر	کم	متوسط	زیاد		

شکل ۱- مقایسه سدهای طبیعی و ساخته دست انسان از نظر تأثیر بر اکوسیستم (Hart و همکاران، ۲۰۰۲)

عمران^۵ دستور اکید داشت تا برق و آب مورد نیاز برای توسعه سریع شهرها را با احداث سد تأمین نماید. اما رویکرد مدیریت منابع آب ایالات متحده در نیمه دوم قرن بیستم تغییر یافت. عوارض ناشی از طرح‌های توسعه پیشین به تغییر در قوانین انجامید تا از محیط‌زیست و گونه‌های در حال انقراض محافظت به عمل آید. مفاهیم جدیدی در علوم اکوسیستم و مدیریت آب پدید آمد و وجود ریسک‌های بلند مدت و عدم قطعیت در مدیریت منابع آب مورد پذیرش قرار گرفت (USACE، ۲۰۰۴). منابع مختلف ارقام متفاوتی از تعداد سدهای ایالات متحده

از نظر آماری، به ترتیب کشورهای کانادا (۶ درصد)، تایوان (۴ درصد)، سوئد (۲/۵ درصد) و سایر کشورها (۴/۵ درصد) با اختلاف زیاد نسبت به ایالات متحده (۸۳ درصد) موارد ثبت شده سدزدایی در بانک اطلاعات سازمان مطالعات زمین‌شناسی^۶ را به خود اختصاص می‌دهند و تحقیق حاضر روند سدزدایی در کشور آمریکا را بررسی می‌کند. سدسازی مدرن اندکی پس از انقلاب صنعتی (۱۸۵۰ میلادی) آغاز شد. در نیمه اول قرن بیستم، سدسازی در ایالات متحده به شدت از طرف دولت حمایت می‌شد و در اواسط قرن به اوج رسید. در این زمان، اداره

گزارش نموده‌اند. بالاترین رقم ۲ میلیون سد برآورد شده که بیش از ۲۵ درصد آنها بالاتر از ۵۰ سال عمر دارند (Klumpp, ۲۰۱۱). اولین مورد سدزدایی در سال ۱۹۱۲ ثبت شده که سد مارکوت^۶ در ایالت میشیگان بوده است (American Rivers, ۱۹۹۹). از دهه ۱۹۴۰ روندی شکل گرفت که در سه دهه آخر قرن بیستم شتاب یافت و بیش از ۲۰۰ سد در این کشور تخریب شدند. مشاهده می‌شود که فاصله زمانی بین دوره اوج سدسازی تا شتاب گرفتن سدزدایی در قرن گذشته، کمتر از دو دهه بوده است. یک بررسی تحلیلی در خصوص علل سدزدایی در قرن

پارادیم‌های مدیریت آب و سدزدایی

شکل‌گیری نگرش توسعه پایدار در سه دهه آخر قرن بیستم (خیاط رستمی و همکاران، ۱۳۹۲) و ارائه تئوری عمومی سیستم‌ها (Bertalanffy, ۱۹۶۸) مقارن با شتاب گرفتن روند سدزدایی بود. ارتباط این مفاهیم و سدزدایی را باید در «پارادایم مدیریت آب» جستجو کرد.

پارادایم مدیریت آب، مجموعه‌ای از مفروضات بنیادین درباره ماهیت سیستم مدیریت شونده، اهداف مدیریت و روش‌های دستیابی به آنها است. پارادایم بر اساس مفاهیم مصنوع نظیر زیرساخت‌های فنی، رویکردهای برنامه ریزی، مقررات، تجارب مهندسی، مدل‌ها و ... تبیین می‌شود. پارادایم‌ها از نظر تکوینی به دو دسته غالب و در حال شکل‌گیری^۷ تقسیم می‌شوند. افزایش ذی‌مدخلان^۸ موجب می‌گردد که پارادایم از حالت غالب قبلی به حالت گذار وارد و پارادایم جدیدی شکل بگیرد. جدول (۱) سیر تحول ذی‌مدخلان تأثیرگذار در مدیریت منابع آب از جمله طرح‌های توسعه را نشان می‌دهد.

در حال حاضر، «مدیریت تطبیقی»^۹ پارادایم پذیرفته شده مدیریت آب در سطح بین‌المللی است که ریشه‌های آن را نیز در دهه ۱۹۷۰ میلادی می‌دانند. انعطاف در تصمیم‌گیری حین مواجهه با عدم قطعیت، همگامی با پیشرفت‌های علمی،

بیستم در ایالات متحده نشان می‌دهد که روند سدزدایی به دلایل ایمنی آغاز و در اواخر قرن به دلایل زیست محیطی اهمیت داده شده است (Pohl, ۲۰۰۲). سدزدایی را می‌توان گزینه‌ای در راستای «مدیریت پایدار» اکوسیستم دانست. مدیریت پایدار عبارتست از ادغام تجربیات پایداری حاصل شده در زمینه‌های جامعه، محیط زیست، کشاورزی، کسب و کار و زندگی فردی، به نحوی که منافع نسل کنونی و نسل‌های آینده را برآورده سازد. رعایت شاخص‌های پایداری گاه می‌تواند گزینه عکس، یعنی سدسازی را ضروری نشان دهد (Andre, ۲۰۱۲).

یادگیری مستمر، پایش اهداف با معیار میزان کاهش تنش بین ذینفعان و اهمیت تنوع زیستی، هسته‌های اصلی این مفهوم مدیریت را تشکیل می‌دهند. نگرش‌های مختلفی نسبت به این پارادایم وجود دارد اما یک عنصر مشترک آنها - چه در تئوری و چه در عمل - عبارتست از مدل(های) سیستمی که باید مدیریت شود (USACE, ۲۰۰۴).

Cortner و Moote (۱۹۹۴) پارادایم سنتی مدیریت منابع آب را به خاطر بهره‌کشی مداوم [از طبیعت] مورد نقد قرار دادند. آنان اعلام نمودند پارادایم جدیدی در حال شکل‌گیری است که بر پایه دو اصل مدیریت اکوسیستمی و تصمیم‌گیری مشارکتی قرار دارد. یک سال بعد، پارادایم «مدیریت یکپارچه حوضه آبریز» معرفی شد (Ward, ۱۹۹۵) که می‌توان آن را معروف‌ترین پارادایم در ایران دانست. در سال ۲۰۰۰، نیاز به ادغام ارزش‌های اکولوژیک در سیاست‌های آبی و ایجاد انفصال بین رشد اقتصادی و مصرف آب، به اعلام تغییرات جدید در پارادایم آب انجامید (Gleick, ۲۰۰۰) که اغلب رویکردهای غیر سازه‌ای نظیر افزایش راندمان، مدیریت تقاضا و تخصیص مجدد آب را در بر می‌گیرد. انتشار گزارشات تفصیلی تحت عناوینی نظیر «تجربیات موفق سدزدایی» (American Rivers, ۱۹۹۹) و «تأمین منابع مالی برای سدزدایی» (Bowman و Otto, ۲۰۰۰) از پذیرش این رویکرد در این دوره حکایت دارند.

جدول ۱- سیر تحول ذی‌مدخلان در طرح‌های توسعه منابع آب (بی‌نا، ۱۳۸۸)

دوره زمانی	ذی‌مدخلان
قبل از جنگ جهانی دوم	مهندسان
بعد از جنگ جهانی دوم	مهندسان + اقتصاددانان
اوایل دهه ۷۰	مهندسان + اقتصاددانان + پیوست‌های زیست محیطی
اوایل دهه ۸۰	مهندسان + اقتصاددانان + طرفداران محیط‌زیست، جامعه‌شناسان
اوایل دهه ۹۰	مهندسان + اقتصاددانان + طرفداران محیط‌زیست، جامعه‌شناسان + افراد تحت‌تأثیر
اواسط دهه ۹۰	مهندسان + اقتصاددانان + طرفداران محیط‌زیست، جامعه‌شناسان + افراد تحت‌تأثیر + سازمان‌های غیردولتی
ابتدای قرن ۲۱	مهندسان + اقتصاددانان + طرفداران محیط‌زیست، جامعه‌شناسان + افراد تحت‌تأثیر + سازمان‌های غیردولتی + مردم

درباره‌ی توسعه آب و انرژی انجامید (WCD، ۲۰۰۰). به دلیل کمبود تجربیات در مورد تخریب سدهای بزرگ، این گزارش با سدزدایی با احتیاط برخورد نموده و گشودن دریچه سدها را به عنوان گزینه‌ای دیگر پیشنهاد می‌کند^{۱۰}. تحلیلی که درباره گزارش معروف به «سدها و توسعه: چارچوب جدید برای تصمیم‌گیری» نوشته شده (Baxi، ۲۰۰۱) لزوم بازنگری بر پارادایم‌های توسعه، تصمیم‌گیری مشارکتی و بررسی تأثیرات سدسازی و سدزدایی از نظر حقوقی را لازم دانسته است. بنیاد جهانی آب (WWF، ۲۰۰۵) و برنامه زیست‌محیطی سازمان ملل متحد (UNEP، ۲۰۰۷) از سدزدایی حمایت کرده‌اند.

ابهام در اهداف وقتی پیش می‌آید که سازمان‌های متولی سدزدایی و دلایلی که برای آنها حائز اهمیت است متعدد باشند. قطعیت علمی اندک هنگامی است که فرآیندهای اجتماعی، فیزیکی و زیستی متأثر از سدزدائی کاملاً شناخته شده نباشند. در شرایط عدم قطعیت علمی، سازمان‌ها اغلب استراتژی مدیریت تطبیقی را در پیش می‌گیرند. مرکز مطالعات هینز (HEINZ Center، ۲۰۰۲) روش عمومی تصمیم‌گیری و شاخص‌های کلیدی سدزدایی را تدوین نموده که عبارتند از:

الف) شاخص‌های فیزیکی

- ۱- قطعه‌بندی شبکه رودخانه‌ای
- ۲- گسستگی حوضه آبریز
- ۳- هیدرولوژی پائین‌دست
- ۴- سیستم رسوب پائین‌دست
- ۵- ژئومورفولوژی سیلاب‌دشت
- ۶- ژئومورفولوژی مخزن
- ۷- ژئومورفولوژی بالادست

ب) شاخص‌های شیمیائی

- ۱- کیفیت آب
- ۲- کیفیت رسوب (ناحیه مخزن و پائین دست)
- ۳- کیفیت هوا

ج) شاخص‌های اکولوژیکی

- ۱- اکوسیستم آبرزی
- ۲- اکوسیستم ساحلی
- ۳- ماهیان
- ۴- پرندگان
- ۵- حیوانات خشکی زی

د) شاخص‌های اقتصادی

- ۱- اقتصاد ساختگاه سد
- ۲- ارزش‌های اقتصادی در طول رودخانه
- ۳- ارزش‌های اقتصادی منطقه‌ای

با شدت یافتن مباحثات بر سر اثرات سدهای بزرگ در دهه ۱۹۹۰، کمیسیون جهانی سدها در سال ۱۹۹۸ بعنوان نهادی مستقل و بین‌المللی با حضور ذینفعان مختلف تشکیل شد. موافقان سدسازی، سدها را برای توسعه و کاهش فقر ضروری می‌دانستند و مخالفان مدعی بودند که سدها عملاً فقر را افزایش داده و موجب نابودی اکوسیستم‌ها شده‌اند. هدف کمیسیون برقراری ارتباط بین این دو گروه به منظور شفاف شدن مسأله و ارزیابی مستقل عملکرد سدها بود که به ارایه چارچوب جدید برای سیاستگذاری و تصمیم‌گیری

مدل‌ها و ابزارهای تصمیم‌گیری در سدزدایی

تفاوت در نحوه مدیریت سازه‌های آبی در کشورهای مختلف را ناشی از تفاوت «فرهنگ تکنولوژیک» آن کشورها دانسته‌اند (Bijker، ۲۰۰۶) و سدزدایی را نیز می‌توان یک راهکار سازه‌ای طبقه‌بندی نمود. روند سدزدایی در بستر مدیریت زیست‌محیطی شکل گرفته و از تغییر نگرش نهادهای متولی و جامعه خبر می‌دهد. درک فرایندهای پیچیده فیزیکی و بیولوژیکی حاکم بر اکوسیستم عموماً با ساده‌سازی‌های مدیریتی همراه است (Ludwig و همکاران، ۱۹۹۳). تحت این شرایط زمان زیادی طول می‌کشد تا بین اهل فن و سیاست‌گذاران اجماع به وجود آید. سدزدایی را می‌توان فصل مشترکی در زمان دانست که دغدغه‌های فنی و سیاسی به هم می‌رسند (Haeuber و Michener، ۱۹۹۸). شکل‌گیری این فصل مشترک لزوماً به معنای انجام عملیات سدزدایی نیست بلکه به دوره‌ای اطلاق می‌شود که سدزدایی حداقل به عنوان یک گزینه در تصمیم‌گیری مدیریتی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد، و با تغییر فضای سیاسی یا تحولات علمی می‌تواند منفصل شود. تصمیم‌گیری در مورد مسائل زیست‌محیطی اغلب دشوار و چالش برانگیز است. Shannon (۱۹۹۸) گونه‌شناسی تصمیم‌گیری زیست‌محیطی را در چهار حالت تبیین نموده است (جدول ۲).

جدول ۲- گونه‌شناسی فرایند تصمیم‌گیری زیست‌محیطی

اهداف شفاف	اهداف مبهم	قطعیت علمی زیاد
استفاده از روش‌های محاسباتی برای تصمیم‌گیری	معامله و رایزنی با استفاده از صلاحیت فنی	
تدوین برنامه تجربی	اجماع برای تصمیم‌گیری	قطعیت علمی اندک

هـ) شاخص‌های اجتماعی

۱- ایمنی و امنیت

۲- ارزش‌های فرهنگی و زیبایی شناختی

۳- نیازهای اقلیت‌ها

این شاخص‌ها برای پیش‌بینی وضعیت کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت، با هدف حفظ یا حذف سد، مورد بررسی قرار می‌گیرند. اگر سدزدایی‌های متعدد در پهنه حوضه آبریز مدنظر باشد، اولویت‌بندی بر اساس معیارهایی از جمله موارد زیر صورت خواهد گرفت (Harbor و Doyle، ۲۰۰۳):

۱- کاهش بزرگترین ریسک‌های ایمنی

۲- تحلیل هزینه - فایده از نظر اقتصادی

۳- ایجاد طولی‌ترین بازه برای جریان آزاد رودخانه

۴- نجات حداکثر انواع گونه‌های در خطر

۵- تقویت طرح‌های آبی احیای رودخانه^{۱۱}

اکنون، مدیران منابع آب به پیش‌بینی‌های مدل‌های عددی در زمینه تأثیرات سدزدایی تکیه می‌کنند (Bountry و Randle، ۲۰۱۱). استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در مورد سدهای بزرگ رایج است (به عنوان مثال: Harbor، ۱۹۹۳). جذابیت مدل‌های شبیه‌سازی به خاطر امکاناتی است که برای بررسی گزینه‌های مدیریتی فراهم می‌کنند. روش‌ها و ابزارهایی که برای تسهیل و تدقیق «تصمیم‌گیری»^{۱۲} توسعه یافته‌اند، بالقوه در زمینه سدزدایی نیز قابل استفاده هستند؛ اما از آنجائیکه اغلب این روش‌ها اساساً برای کاربرد در سایر زمینه‌های علمی توسعه داده شده‌اند، استفاده از آنها بایستی پس از ارزیابی اولیه صورت گیرد. بعنوان نمونه، از آنجائیکه پارامتر مکان برای سدزدایی در پهنه حوضه آبریز حائز اهمیت است، می‌توان

از سیستم اطلاعات جغرافیائی (GIS) بهره گرفت (Hoenkea و همکاران، ۲۰۱۴)، با توجه به تعدد عوامل تأثیرگذار فنی، زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده نمود یا از روش‌های فازی سود جست (Changqing، ۲۰۱۰). عدم موفقیت برخی مدل‌ها نظیر مدل رگرسیونی در مطالعات سدزدایی گزارش شده است (Orr و همکاران، ۲۰۰۴). در برخی موارد مدل‌سازی نشان داده است که سدزدائی راهکار مناسبی برای حل مشکل مورد نظر نمی‌باشد (Kareiva و همکاران، ۲۰۰۰). استفاده از روش‌های بهینه‌سازی می‌تواند برای تصمیم‌گیرندگان راهگشا باشد (Zheng و Hobbs، ۲۰۱۳؛ Null و همکاران، ۲۰۱۴). گذشته از انتخاب مدل نامناسب، عدم توجه به تنوع عوامل دخیل در مسأله نیز می‌تواند مشکل آفرین باشد. علیرغم آنکه مجموعه‌ای از دغدغه‌های فنی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی مدیران منابع آب را وادار می‌دارد تا سازه‌های گران قیمت سدها را تخریب کنند، اما همه‌ی پروژه‌های سدزدایی موفق ارزیابی نمی‌شوند. حتی اگر طرح اولیه سدزدایی قادر باشد که به تمامی دغدغه‌های فوق‌الذکر پاسخ دهد، عدم توجه به نکات جزئی نظیر زمان تخریب سد می‌تواند نتیجه عکس به دنبال آورد. به عنوان مثال، اگر هدف اصلی یک پروژه سدزدایی نجات گونه‌ای از ماهیان در حال انقراض بوده ولی انجام عملیات با مهاجرت ماهیان مصادف شود، یا سیلاب پیش‌بینی نشده‌ای بلافاصله بعد از تخریب سد روی دهد، گونه رو به انقراض را با خطر نابودی کامل مواجه خواهد کرد. سدزدایی همانند بسیاری از روش‌های سازه‌ای، یک تیغ دو لبه است و می‌تواند تبعات اجتماعی نیز به دنبال داشته باشد (Renöfalt و Jørgensen، ۲۰۱۲).

فرایند سدزدایی

برنامه‌ریزی انهدام یک سد شباهت زیادی به احداث آن دارد؛ جز اینکه محصول آن کاملاً متفاوت است. از نظر انجمن سدهای ایالات متحده^{۱۳} کلیه پروژه‌های سدزدایی باید مبنای قانونی داشته باشند. فرایند با بررسی همه گزینه‌ها شامل تعمیر، بهسازی یا انهدام شروع می‌شود و اگر گزینه آخر انتخاب گردد، ادامه فرایند طبق مراحل ذیل پیش خواهد رفت:

۱- کسب رضایت ذی‌مدخلان از طریق اجماع

۲- تأمین منابع مالی

۳- اطلاع‌رسانی

۴- طراحی مهندسی و ارزیابی اثرات

۵- سیستم اطلاعات اجرایی (EIS)

۶- درخواست قانونی

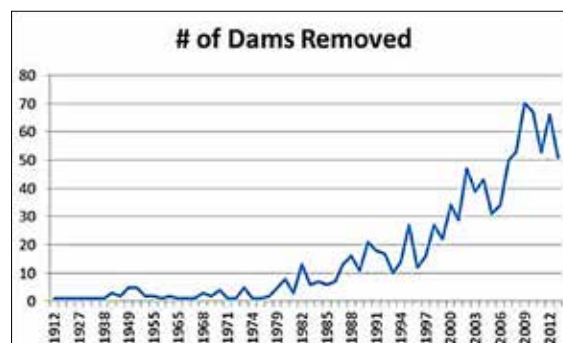
۷- عملیات تخریب و احیاء

۸- پایش مستمر اثرات

پایش مستمر اثرات از نظر کمیت، وسعت و مقیاس زمانی، موجب می‌شود که تصمیم‌گیری در مورد سدزدایی‌های آتی با قطعیت علمی بیشتری صورت گیرد و مجموعه مستنداتی فراهم می‌آورد که بتوان در قوانین و سیاست‌ها تغییر ایجاد نمود. بدون پایش، تعیین موفقیت یا عدم موفقیت پروژه به صورت کمی میسر نخواهد بود (Harbor و Doyle، ۲۰۰۳).

بررسی فرایند تصمیم‌گیری در خصوص تخریب سدهای بزرگ، زمان‌بر بودن آن را نشان می‌دهد. تخریب سد ۶۴ متری گلین کانیون (پایان تخریب در سال ۲۰۱۴) و سد ۳۲ متری الوها (پایان تخریب در سال ۲۰۱۲) روی رودخانه‌ای ۷۲ کیلومتری به همین نام واقع در پارک ملی المپیک ایالت واشنگتن، جدیدترین موارد ثبت شده از تخریب سدهای بزرگ بوده‌اند (شکل‌های ۳ و ۴). طرفداران محیط‌زیست از سال ۱۹۸۶ تقاضای تخریب دو سد برقابی یاد شده را مطرح نمودند و بررسی‌های علمی از ابتدای دهه ۱۹۹۰ میلادی آغاز گردید (Stoker و Harbor, ۱۹۹۱). کنفرانس علمی با موضوع رودخانه الوها در سال ۲۰۱۱ برگزار، و مدل فیزیکی انتقال رسوب این رودخانه نیز در همین سال ساخته شد (Bromley و همکاران، ۲۰۱۱). سدزدایی رودخانه الوها در قالب سلسله مقالات فنی از جنبه‌های حیات آبریزان (Brenkman و همکاران، ۲۰۱۲)، ژئومورفولوژی رودخانه و سیلابدشت (East و همکاران، ۲۰۱۵)، ژئومورفولوژی ساحلی (Gelfenbaum و همکاران، ۲۰۱۵)، کیفیت آب (Foley و همکاران، ۲۰۱۵) و رسوبات رودخانه‌ای (Magirla و همکاران، ۲۰۱۵) مورد بررسی قرار گرفته است.

در قرن بیستم، بلندترین سدهای تخریب شده به دلایل ایمنی ۱۱۱ متر و به دلایل زیست‌محیطی ۷۶ متر ارتفاع داشته‌اند (Pohl, ۲۰۰۲) و سایر موارد اغلب جزو سدهای کوتاه بوده‌اند (Doyle و همکاران، ۲۰۰۰). از آغاز قرن حاضر نیز ۳۵۸ سد دیگر در آمریکا تخریب شده‌اند. انجمن غیردولتی رودخانه‌های آمریکا^{۱۴} روند رو به رشد سدزدایی از آغاز تا سال ۲۰۱۳ را احصاء نموده است (شکل ۲).



شکل ۲- روند سدزدایی از آغاز تا سال ۲۰۱۳ (Singler, ۲۰۱۴)



شکل ۴- سد برقابی الوها به ارتفاع ۳۲ متر، در ابتدای تخریب (بالا) وضعیت دره یکسال بعد از تخریب (پائین)



شکل ۳- سد برقابی گلین کانیون به ارتفاع ۶۴ متر، قبل از تخریب (بالا) و در حال تخریب (پائین)

بررسی مطالعات سدها در کشور پیروی فرمایشی از الگوی دهه ۷۰ میلادی را نشان می‌دهد. اثرات زیست محیطی سدها تنها در حد یک «گزارش ضمیمه» بررسی می‌شود که در نتیجه این روند، سدسازی بی‌رویه مهمترین عامل تخریب اکوسیستم‌ها، از جمله خشک شدن دریاچه ارومیه (چرب‌گو و چرب‌گو، ۱۳۸۹) و رودخانه‌های منتهی به آن (شریفی و محسن‌نژاد، ۱۳۹۲) شناخته شده است. در حال حاضر احداث ۴ سد سیمینه‌رود، باراندوز، نازلو و لیلان‌چای در حوضه دریاچه ارومیه متوقف گردیده و رها سازی دو سد کانی‌سیو و سیلوه مورد بحث قرار دارد؛ اما در بین برنامه‌های احیای دریاچه ارومیه گزینه سدزایی دیده نمی‌شود (کمیته اجتماعی- فرهنگی ستاد احیای دریاچه ارومیه، ۱۳۹۴). از آنجا که تجارب سدزایی نشان می‌دهد بین مطرح شدن و انجام عملیات تخریب سدهای بزرگ بیش از دو دهه زمان صرف مطالعه و تصمیم‌گیری شده است، تخریب سدهای نیمه کاره فوق‌الذکر و سدهای با قدمت بیش از ۴۰ سال می‌تواند به عنوان یک راهکار بلند مدت برای احیای دریاچه ارومیه مورد امکان‌سنجی قرار گیرد.

بهره‌برداری از آن تصمیمی ساده نیست؛ لذا برای تحقق این امر شاخص‌هایی تبیین شده که در ۵ گروه اصلی فیزیکی، شیمیایی، اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی قرار می‌گیرند. تعداد شاخص کلیدی تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن زیرمجموعه‌های شاخص‌های اصلی، ۲۱ عنوان است.

مدل‌های شبیه‌سازی و تصمیم‌گیری چند شاخصه، سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های بهینه‌سازی، از جمله ابزارهایی هستند که تاکنون برای تصمیم‌گیری در سدزایی به کار رفته‌اند؛ که عدم موفقیت برخی از آن‌ها نظیر مدل رگرسیونی نیز گزارش شده است.

سدزایی در صورت جامع نبودن مطالعات قبلی و عدم توجه به جزئیاتی نظیر زمان عملیات، می‌تواند تبعاتی نظیر نابودی کامل گونه‌های رو به انقراض را در پی داشته باشد. با توجه به موارد مذکور، سدزایی در مراحل مختلفی انجام می‌شود و لذا فرایندی زمان‌بر است؛ به‌طوری‌که سدهای برقابی بزرگ بعد از قریب به ۳ دهه بررسی تخریب گردیده‌اند.

بررسی تطبیقی و اجمالی در حوضه دریاچه ارومیه از نظر تعداد سدهای ساخته شده و مطالعات زیست‌محیطی آن‌ها، همچنین اقداماتی نظیر رها سازی آب که هم‌اکنون برای احیای این دریاچه در حال انجام است، نشان می‌دهد که سدزایی به‌عنوان یک راهکار بلندمدت در این حوضه ارزش مطالعه و بررسی دارد.

مدیریت منابع آب در ایران با فاصله‌ای زمانی، متأثر از پارادایم‌های جهانی مدیریت آب بوده ولی سدزایی چه در بین مدیران و چه جامعه دانشگاهی مرتبط با صنعت آب مورد توجه قرار نگرفته است. در دوران معاصر، سدسازی از حوالی سال ۱۳۳۲ جزو برنامه‌های اجرایی دولت ایران قرار گرفت. از جمله در حوضه دریاچه ارومیه، ۳۶ سد ساخته شد که ۱۷ سد طی ۲۵ سال (۱۳۷۴-۱۳۴۹) و ۱۹ سد طی ۱۴ سال (۱۳۸۹-۱۳۷۵) به بهره‌برداری رسیدند (جوادزاده و عاشری، ۱۳۹۲).

با توجه به اینکه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (EIA) سدها از سال ۱۳۷۳ در کشور الزامی شده (البرزی منش، ۱۳۸۹) و روند خشک شدن دریاچه ارومیه نیز از ۱۳۷۵ آغاز گردیده است، مشاهده می‌شود هر چند اکثریت سدهای مذکور پس از الزامی شدن مطالعات زیست‌محیطی احداث گردیده اما در عمل، حقایق زیست‌محیطی اکثراً نادیده گرفته شده و در تخصیص آب سهم قابل توجهی نداشته‌اند (امینی و مریدی، ۱۳۹۳).

نتیجه‌گیری

نقش سد در توسعه و دستاوردهای صنعت سدسازی نظیر مهار سیلاب، تأمین آب کشاورزی، توریسم، تولید انرژی برقابی و تأمین آب شرب همه کشورهای جهان را به گسترش آن ترغیب نموده است. اما همزمان با شکل‌گیری نگرش توسعه پایدار در اواخر قرن بیستم، روند سدزایی در کشورهایی که دوران سدسازی شتابان را پشت سر نهاده‌اند، اوج گرفته است. سدزایی به طور عمده به دلایل احیای رودخانه، حفاظت از گونه‌های گیاهی و جانوری، مسائل ایمنی و هزینه‌های نگهداری سدها و تقاضاهای اجتماعی انجام می‌شود. بیشترین تعداد سدزایی در ایالات متحده انجام شده است.

رشد سدزایی در اواخر قرن بیستم، از نظر زمانی با آغاز نقد پارادایم سنتی مدیریت آب و معرفی پارادایم مدیریت یکپارچه مقارن بوده است. به تدریج، توجه بیشتر به جنبه‌های زیست‌محیطی و مشارکت ذی‌مدخلان، زمینه‌های گذار به پارادایم مدیریت تطبیقی را فراهم نموده که خود هم‌زمان با نقطه اوج دیگری در سدزایی در ابتدای قرن جدید می‌باشد.

با توجه به پیچیده شدن عوامل مختلف از جمله عوامل هیدرولوژیکی، اجتماعی، سیاسی و ... در اجرای یک طرح سازه‌ای، تصمیم‌گیری برای انهدام یک سد و یا محدودیت در

7- Emerging

8- Stakeholders

9- Adaptive Management

۱۰- یکی از اقداماتی که هم اکنون در حوضه دریاچه ارومیه با عنوان آزادسازی یا رهاسازی آب از سدها انجام می‌پذیرد.

11- River restoration

12- Decision-Making

13- United States Society on Dams

14- American Rivers

دیدگاه زمین‌شناسی، با برنامه‌ریزی آبیاری. اولین همایش ملی تأثیر پسروری دریاچه ارومیه بر منابع خاک و آب، تبریز، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی. کمیته اجتماعی- فرهنگی ستاد احیای دریاچه ارومیه. ۱۳۹۴. طرح احیای دریاچه ارومیه، چالش‌ها و راهکارها. ویژه فرمانداران و بخشداران (بسته چهارم).

American Rivers, Friends of the Earth, Trout Unlimited. 1999. Dam Removal Success Stories: Restoring Rivers through Selective Removal of Dams That Don't Make Sense. Washington (DC).

Aspen Institute. 2002. Dam removal: a new option for a new century. Aspen Institute Queenstown, MD., USA.

Andre E. 2012. Beyond hydrology in the sustainability assessment of dams: A planners perspective – The Sarawak experience. Journal of Hydrology, 412–413: 246–255.

Bertalanffy K.L.V. 1976. General System theory: Foundations, Development, Applications. New York: George Braziller.

Baxi U. 2001. What happens next is up to you: human rights at risk in dams and development. American University International Law Review, 16: 1507–1529.

Brenkman S.J., DUDA J.J., Torgersen C.E., Welty E., Pess G.R., Peters R. and McHenry M.L.A. 2012. riverscape perspective of Pacific salmonids and aquatic habitats prior to large-scale dam removal in the Elwha River. Fisheries Management and Ecology, 19: 36–53.

1- Dam removal

2- Decommissioning

۳- منظور گسستن زنجیره زیستی رودخانه است. معادل با fragmented استفاده شده و عکس مفهوم Free-flowing را دارد.

4- United States Geological Survey (USGS)

5- U.S Bureau of Reclamation

6- Marquette Dam

منابع

اسحاقی، آ.، منظریها، م. و مجدزاده طباطبایی، م. ۱۳۹۲. معرفی پارامترها و روش‌های احیای رودخانه مطالعه موردی: رودخانه کن. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان. البرزی منش، م. ۱۳۸۹. سدسازی در کشور آری یا خیر. فصلنامه مهندس مشاور، ۴۸: ۴۸–۵۸.

امینی، م. و مریدی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی راهکارهای مدیریت سازه‌ای و غیر سازه‌ای برای جلوگیری از خشک شدن دریاچه ارومیه. کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و گردشگری، تبریز.

بی‌نا. ۱۳۸۸. تجارب جهانی طرح‌های انتقال میان حوضه‌ای آب و ضرورت تدوین معیارهای تصمیم‌گیری. نشریه پیام آب (ویژه‌نامه هفته پژوهش)، شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۷۶-۷۲

چرب‌گو، ت. و چرب‌گو، ا. ۱۳۸۹. پیامدهای منفی سدسازی درحوضه آبریز دریاچه ارومیه و تأثیر آن در خشک شدن دریاچه ارومیه. پنجمین همایش ملی زمین‌شناسی و محیط‌زیست، اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.

خیاط رستمی، ب.، انوار، ع. و حسن‌زاده، ی. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر ساماندهی رودخانه بر توسعه پایدار شهری. کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری، تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز.

جوادزاده، س. و عاشری، ا. ۱۳۹۲. حق‌آبه محیط‌زیست دریاچه ارومیه با نگرش به سدسازی‌ها روی رودهای تغذیه‌کننده دریاچه و خشک شدن آن. اولین همایش حفاظت از تالاب‌ها و اکوسیستم‌های آبی ایران، همدان.

شریفی، ج. و محسن‌نژاد، ف. ۱۳۹۲. نجات دریاچه ارومیه از

- J.A., Ogston A.S. and Eidamc E. 2015. Large-scale dam removal on the Elwha River, Washington, USA: Coastal geomorphic change. *Geomorphology*, 246: 649–668.
- Gleick P.H. 2000. The Changing Water Paradigm: A Look at Twenty-first Century Water Resources Development. *Water International*, 25: 127-138.
- Haeuber R.A. and Michener W.K. 1998. Policy implications of recent natural and managed floods. *BioScience*, 48: 765–772.
- Harbor J.M. 1993. Proposed measures to alleviate the environmental impacts of hydroelectric dams on the Elwha River, Washington, USA. In Y. Eckstein and A. Zaporozec (eds.), *Industrial and agricultural impacts on the hydrologic environment: proceedings of the second USA/CIS joint conference on environmental hydrology and hydrogeology*. American Institute of Hydrology, St. Paul, Minnesota.
- Hart D.D., Johnson T.E., Bushaw-Newton K.L., Horwitz R.J., Bednarek A.T., Charles D.F., Kreeger D.A. and Velinsky D.j. 2002. Dam Removal: Challenges and Opportunities for Ecological Research and River Restoration. *BioScience*, 52: 669-682.
- HEINZ Center. 2002. DAM REMOVAL Science and Decision Making, The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, Washington, D.C.
- Hoenke K.M., Kumar M., Batt L. 2014. A GIS based approach for prioritizing dams for potential removal. *Ecological Engineering*, 64: 27–36.
- Jørgensen D. and Renöfalt B.M. 2012. Damned if you do, dammed if you don't: debates on dam removal in the Swedish media. *Ecology and Society*, 18(1): 18.
- Kareiva P., Marvier M. and McClure M. 2000. Recovery and management options for spring/summer Chinook Salmon in the Columbia River Basin. *Science*, 290: 977–979.
- Kornijów R. 2009. Controversies around dam reservoirs: benefits, costs and future, *Ecohydrology & Hydrobiology*, 9(2): 141–148.
- Bijker W.E. 2006. Dikes and Dams. Thick with Politics. *Isis*, 98(1): 109-123.
- Bromley C., Randle T., Grant G. and Thorne C. 2011. Physical Modeling of the Removal of Glines Canyon Dam and Lake Mills from the Elwha River, Washington. *Sediment Dynamics upon Dam Removal*, p. 97-114.
- Changqing Q. 2010. Research on Priority Decision-Making Method of Dam Removal, ICIII, International Conference on Information Management. *Innovation Management and Industrial Engr*, 472-476.
- Cortner H.J. and Moote M.A. 1994. Trends and Issues in Land and Water Resources Management: Setting the Agenda for Change. *Environmental Management*, 18: 167-173.
- Doyle M.W., Stanley E.H., Luebke M.A. and Harbor J.M. 2000. Dam removal: Physical, biological, and societal considerations. In R. H. Hotchkiss and N. Glade (eds.), *Proceedings of the 2000 Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management*, CD-ROM. ASCE, New York.
- Doyle M.W. and Harbor J.M. 2003. Toward Policies and Decision-Making for Dam Removal. *Environmental Management*, 31: 453–465.
- East A.E., Pess G.R., Bountry J.A., Magirl C.S., Ritchie A.C., Logan J.B., Randle T.J., Mastin M.C., Minear J.T., Duda J.J., Liermann M.C., McHenry M.L., Beechie T.J. and Shafroth P.B. 2015. Large-scale dam removal on the Elwha River, Washington, USA: River channel and floodplain geomorphic change. *Geomorphology*, 246(1): 687-708.
- Foley M.M., Duda J.J., Beirne M.M., Paradis R., Ritchie A. and Warrick J.A. 2015. Rapid water quality change in the Elwha River estuary complex during dam removal. *Limnology and Oceanography*, 60(5): 1719-1732.
- Graf W.L. 1999. Dam nation: A geographic census of American dams and their large-scale hydrologic impacts. *Water Resources Research*, 35: 1305–1311.
- Gelfenbauma G., Stevensa A.W., Millerb I., Warricka

- Washington, DC, USA.
- Shannon M.A. 1998. Social organizations and Institutions In R. J. Naiman, and R. E. Bilby (eds.), *River ecology and management: lessons from the Pacific coastal ecoregion*, Springer-Verlag, New York, (p. 705).
- Singler A. 2014. Mapping Dam Removal Success: Lessons from United States Dam Removals, University of Massachusetts, P.7.
- Stoker B. and Harbor J.M. 1991. Dam removal methods, Elwha River, Washington. In R. M. Shane, (ed.), *Hydraulic engineering, proceedings of the national conference on hydraulic engineering*, American Society of Civil Engineers, NY, 668–673.
- UNEP DDP. 2007. Dams and Development. Relevant practices for improved decision-making. A compendium of relevant practices for improved decision-making on dams and their alternatives. UNEP Dams and Development Project.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE). 2004. Panel on Adaptive Management for Resource Stewardship, Committee to Assess the U.S. Army Corps of Engineers Methods of Analysis and Peer Review for Water Resources Project Planning, National Research Council. Adaptive Management for Water Resources Project Planning.
- Ward R.C. 1995. Special Issue on Integrated Watershed Management – A New Paradigm for Water Management, *Journal of Contemporary Water Research and Education*, (p. 100).
- World Commission on Dams (WCD). 2000. Dams and Development: A New Framework for Decision-Making, Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA.
- WWF. 2005. To dam or not to dam? Five years on from the World Commission on Dams. WWF. Global Freshwater Programme.
- Zheng P.Q. and Hobbs B.F. 2013. Multiobjective Portfolio Analysis of Dam Removals Addressing Dam Safety, Fish Populations, and Cost, *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 139(1): 65-75.
- Klumpp C. 2011. Bureau of Reclamation Case Studies of Dam Removal. *Sediment Dynamics upon Dam Removal*, P. 57-65.
- Lima I.B.T., Ramos F.M., Bambace L.A.W. and Rosa R.R. 2008. Methane emissions from large dams renewable energy sources: a developing nation perspective. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13: 193-206.
- Ludwig D., Hilborn R. and Walters C. 1993. Uncertainty, resource exploitation, and conservation: lessons learned from history. *Science*, 260: 17-36.
- Magirla C.S., Hilddaleb R.C., Curranc C.A., Dudad J.J., Straube T.D., Domanskie M. and Foreman J.R. 2015. Large-scale dam removal on the Elwha River, Washington, USA: Fluvial sediment load, Geomorphology, 246(1): 669–686.
- Nilsson C., Reidy C.A., Dynesius M. and Revenga C. 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308: 405-408.
- Null S.E., Medellin-Azuara J., Escriva-Bou A., Lent M. and Lund J.R. 2014. Optimizing the dammed: Water supply losses and fish habitat gains from dam removal in California, *Journal of Environmental Management*, 136: 121-131.
- Orr C.H., Roth B.M., Forshay K.J., Gonzales J.D., Papenfus M.M. and Wassell R.D.G. 2004. Examination of Physical and Regulatory Variables Leading to Small Dam Removal in Wisconsin, *Environmental Management*, 33(1): 99-109.
- Otto B. and Bowman M. 2000. Paying for Dam Removal: A Guide to Selected Funding Sources, American Rivers.
- Pohl M.M. 2002. Bring Down Our Dams: Trends in American Dam Removal Rationales, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 38(6): 1511-1519.
- Randle T. and Bountry J. 2011. Guidelines for Numerical Modeling of Dam Removals. *Sediment Dynamics upon Dam Removal*, P. 141-155.
- Revenga C., Brunner J., Henninger N., Kassem K. and Payne R. 2000. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems. World Resources Institute,

Integrated Drought Management Program

Translated by: A. Motamedi^{1*}, D. Baharlooee Bardshahi²

1- Ph.D in Water Resources Engineering, Water and Environment Models center, Khuzestan Water and Power Authority, Iran. 2- Ph.D. student of Water Engineering, Water Resources Planning and controlling center, Khuzestan Water and Power Authority, Iran.

*(Corresponding Author Email: motamedi238@gmail.com)

Received: 26-04-2016

Accepted: 08-06-2017

برنامه مدیریت بهم پیوسته خشکسالی

ترجمه: علی معتمدی^{۱*}، داریوش بهارلویی بردشاهی^۲

۱- دکتری مهندسی منابع آب، دفتر مدل‌های آب و محیط زیست، سازمان آب و برق خوزستان. ۲- دانشجوی دکتری منابع آب، دفتر برنامه‌ریزی و کنترل منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: motamedi238@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۱۸

Abstract

In the past decades, we have seen drought in several different countries of the world: in developed, developing, and poor countries. Drought is a natural disaster, however, its impact on people and the environment is disastrous. The prediction of the onset, severity, duration, and the end of this phenomenon, is very difficult. Damages caused by drought include economic (decreased production of crops and livestock), environmental (reducing the quality of water resources), and social (mortality and migration) effects. The side effects of the aforementioned impacts are part of the destructive nature of drought on a community. What is clear is that the causes of drought are not in the control of human beings. However, management tools and compatibility with this event are one of the initiatives of major experts and decision-makers of risk management and crisis in a country. In 2014, the World Meteorological Organization (WMO) and the Global Water Partnership (GWP) provided and published a journal entitled "National Guidelines on Drought Policy" or "Continuous Drought Management" that is the result of the efforts of specialists of the two organizations in collecting experiences of successful countries in the management of drought. The conclusion of all of these experiences led to offering a 10-step approach in the National Directorate of drought. What is presented in this paper is a summary of the translation of this publication that deals with strategies of drought management, which our country also faces.

Keywords: Drought, Crisis Management, World Meteorological Organization (WMO), Global Water Partnership (GWP).

چکیده

در دهه‌های اخیر شاهد بروز خشکسالی‌های متعددی در کشورهای مختلف دنیا، چه در کشورهای توسعه یافته و چه در کشورهای در حال توسعه و فقیر بوده‌ایم. خشکسالی از بلایای طبیعی‌ای است که تأثیر گسترده آن بر مردم و محیط‌زیست، فاجعه‌آمیز بودن آن را تعیین می‌کند. تعیین زمان شروع، شدت، مدت و پایان این پدیده، امری بسیار مشکل است. خسارات ناشی از خشکسالی شامل اثرات مستقیم اقتصادی (کاهش تولید محصولات کشاورزی و دامی)، زیست‌محیطی (کاهش کیفیت منابع آبی)، اجتماعی (مرگ و میر و مهاجرت) و نیز تأثیرات جانبی آن، گوشه‌ای از نتایج مخرب خشکسالی بر یک جامعه است. بدون تردید عوامل بروز خشکسالی هواشناسی در کنترل بشر نیستند، اما ابزار مدیریت و سازگاری با این رخداد از ابتکارات متخصصان و تصمیم‌گیران اصلی مدیریت ریسک و بحران در یک کشور است. در سال ۲۰۱۴، سازمان هواشناسی جهانی (WMO)^۱ و سازمان مشارکت جهانی آب (GWP)^۲ نشریه‌ای را با عنوان "رهنمودهای سیاست ملی خشکسالی" یا "مدیریت بهم پیوسته خشکسالی" تهیه و چاپ کردند که حاصل تلاش متخصصان این دو سازمان در جمع‌آوری تجربیات کشورهای موفق در مدیریت خشکسالی است. جمع‌بندی تمامی این تجربیات منجر به ارائه راهکاری ۱۰ مرحله‌ای در مدیریت ملی خشکسالی شد. آنچه در این مقاله ارائه می‌شود، خلاصه‌ای است از ترجمه این نشریه که به بیان راهکارهای مدیریت خشکسالی، می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، مدیریت بحران، سازمان هواشناسی جهانی، مشارکت جهانی آب.

ترجمه و تلخیص از :

WMO and GWP. 2014. National Drought Management Policy Guidelines, A Template for Action. Available in:

http://www.gwp.org/Global/About%20GWP/Publications/Integrated%20Drought%20Management%20Programme/GWP_NDMPG_final_web.pdf (visited 14 April 2015)

دو عاملی هستند که آسیب‌پذیری یک منطقه، بخش‌های اقتصادی و یا گروه‌های جمعیتی را تعریف می‌کنند. عوامل بسیار دیگری، مانند فقر و آسیب‌پذیری روستایی، حکمرانی ضعیف و یا بی‌اثر، تغییرات کاربری زمین، تخریب محیط زیست، دانش زیست محیطی و آگاهی از مقررات و سیاست‌های منسوخ شده و یا بی‌اثر دولت، از جمله عواملی هستند که در تغییر آسیب‌پذیری‌ها نقش دارند.

اگر چه توسعه سیاست‌های خشکسالی و طرح‌های آماده‌سازی، تعهد و مسئولیتی چالش برانگیز و مسئله‌ساز محسوب می‌شوند، با این حال نتایج و خروجی این فرآیندها به طرز قابل توجهی می‌توانند انعطاف‌پذیری اجتماعی را نسبت به این شوک‌های آب و هوایی افزایش دهد. یکی از اهداف اصلی دستورالعمل‌های ارائه شده در این سند ارائه چارچوبی برای توسعه سیاست‌های ملی خشکسالی و برنامه‌های آمادگی در برابر خشکسالی مرتبط در سطح محلی (ملی) است. البته به گونه‌ای که کمتر دله‌ر آور باشند. به بیان ساده، سیاست ملی خشکسالی باید مجموعه‌ای روشن از اصول و یا دستورالعمل‌های اجرایی برای کنترل و نظارت بر مدیریت خشکسالی و اثرات آن را فراهم کند. اصل مهم سیاست خشکسالی باید بر مدیریت ریسک (خطرات احتمالی) از طریق به‌کارگیری اقدامات و تدابیر آمادگی و کاهش (تعدیل) خطر تأکید داشته باشد (HMNDP، ۲۰۱۳). کاهش خطرات احتمالی به وسیله توسعه آگاهی و درک درست از خطر خشکسالی و علل اساسی آسیب‌پذیری اجتماعی کانون توجه این سیاست قرار دارد. درک بیشتر از نحوه چگونگی پیشگیری و اتخاذ بسیاری از اقدامات آمادگی، می‌تواند انعطاف‌پذیری اجتماعی را افزایش دهد. مدیریت ریسک و خطرات احتمالی را می‌توان بوسیله راهکارهای زیر ارتقا داد:

- ایجاد انگیزه برای بهبود و استفاده از پیش‌بینی‌های فصلی و کوتاه مدت
- نظارت یکپارچه بر سیستم‌های هشداردهنده اولیه خطر خشکسالی و سیستم‌های انتقال اطلاعات مرتبط
- توسعه برنامه‌های آمادگی در سطوح مختلف دولت
- اتخاذ اقدامات و برنامه‌های مربوط به تعدیل (کاهش) خطر
- ایجاد یک شبکه امن برای برنامه‌های پاسخ اضطراری که امداد به موقع و هدفمند را اطمینان می‌بخشد.
- ارائه یک ساختار سازمانی که هماهنگی داخلی و بین سطوح دولت و ذینفعان را افزایش می‌دهد.
- سیاست باید برای همه مناطق، گروه‌های جمعیتی و بخش‌های اقتصادی منصفانه و یکتواخت بوده و با اهداف توسعه پایدار مطابقت داشته باشد.

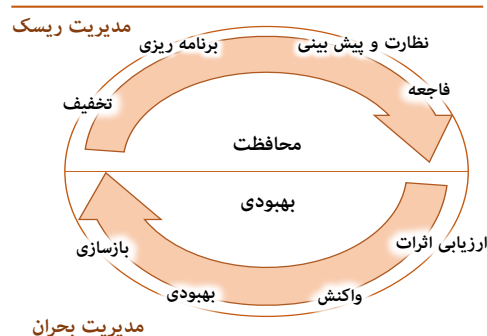
از آنجا که آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی و بروز آن در سطح جهان افزایش یافته است، کاهش مخاطرات ناشی از وقوع خشکسالی به وسیله برنامه‌ریزی بهتر برای بهبود قابلیت‌های عملیاتی (به عنوان مثال نظارت بر آب و هوا و منابع آب، ایجاد ظرفیت سازمانی) و اقدامات تعدیل خطر در جهت کاهش پیامدهای خشکسالی، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. این تغییر مورد تأکید، اصطلاحاً دیگر

اجرای سیاست مقابله با خشکسالی بر اساس فلسفه کاهش خطر، می‌تواند رویکرد یک ملت را برای مدیریت خشکسالی همراه با کاهش اثرات (خطرات) مرتبط با آن تغییر دهد. ایده‌ای که انگیزه اصلی برخی سازمان‌های جهانی و بین‌المللی برای برگزاری نشست در رابطه با سیاست ملی خشکسالی (HMNDP)^۲ شد. این نشست از تاریخ ۱۱ تا ۱۴ مارس ۲۰۱۳ به همت سازمان جهانی هواشناسی (WMO)، دبیرخانه کنوانسیون مبارزه با بیابان‌زایی سازمان ملل متحد در مبارزه با بیابان‌زایی (UNCCD)^۳، سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO)^۴، تعدادی از آژانس‌های سازمان ملل، سازمان‌های منطقه‌ای و بین‌المللی با موضوع HMNDP «کاهش آسیب‌پذیری اجتماعی و کمک به جامعه (جوامع و بخش‌ها)» در ژنو برگزار شد. امروزه اثرات فزاینده خشکسالی، موجب بروز نگرانی‌های قابل توجه و روز افزونی در بسیاری از بخش‌ها می‌شود. چراکه اثرات خشکسالی تنها با از بین رفتن و کاهش محصولات کشاورزی تعریف و مرتبط نمی‌شود. بلکه تأثیرات قابل توجهی بر بخش‌های انرژی، حمل و نقل، بهداشت، تفریح، گردشگری و ... دارد. کمبود آب بر مسئله تأمین آب، انرژی و امنیت غذایی تأثیر مستقیم و بسیار با اهمیتی دارد. با افزایش دفعات وقوع خشکسالی و شدت و مدت آن در شرایط حاضر و نیز پیش‌بینی افزایش آن در آینده که منجر به تغییرات اقلیمی خواهد شد، اکنون زمان حرکت و تغییر الگوی مدیریت بحران به مدیریت ریسک است. رویکردی انعطاف‌پذیر که توانایی مقابله کشورها با خشکسالی را هدایت کرده و به آن بهبود و ارتقاء آن می‌بخشد. نتایج و توصیه‌های HMNDP موجب افزایش توجه دولت‌ها، سازمان‌های بین‌المللی و منطقه‌ای، و دیگر سازمان‌های غیردولتی به این موضوع شده است. راه‌اندازی برنامه یکپارچه مدیریت خشکسالی (IDMP) توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) و مشارکت جهانی آب (GWP) یکی از نتایج خاص HMNDP بوده است. IDMP با مشارکت تعدادی از سازمان‌های مرتبط، به ارائه سیاست‌ها و هدایت روش‌های مدیریتی پرداخته و با تولید اطلاعات علمی هماهنگ در سراسر جهان و به اشتراک‌گذاری بهترین شیوه و دانش برای مدیریت یکپارچه خشکسالی از ذینفعان برنامه در تمامی سطوح حمایت می‌کند. حمایت از مناطق و کشورهای برای توسعه سیاست‌های فعال‌تر خشکسالی و مکانیسم‌های پیش‌بینی بهتر، از اهداف اصلی IDMP بوده و دستورالعمل‌های آن کمکی برای رسیدن به این هدف می‌باشند.

سیاست و آمادگی در برابر خشکسالی: تعیین مراحل

خشکسالی خطر و تهدید طبیعی پیچیده‌ای محسوب می‌شود. اثرات این پدیده در نتیجه‌ی شرایط آب و هوایی متعدد و طیف گسترده‌ای از عوامل اجتماعی که سطح انعطاف‌پذیری جامعه را تعریف می‌کنند، رخ می‌دهد. رشد و توزیع مجدد جمعیت، و تغییر الگوهای تولید و مصرف

موعدش رسیده است. به منظور کاهش (تعدیل) خطر تأثیرات خشکسالی، استفاده از تمام اجزای چرخه مدیریت بحران به جای فقط استفاده از بخش مدیریت بحران این چرخه، مورد نیاز است (شکل ۱). به طور معمول، هنگامی که خشکسالی رخ می‌دهد، دولت‌ها و حمایت‌کنندگان، مراحل ارزیابی اثرات، پاسخ، بهبود و فعالیت‌های بازسازی برای بازگشت منطقه یا محل به حالت قبل از واقعه را دنبال می‌کنند. از لحاظ تاریخی، تدابیر آمادگی، کاهش (تعدیل) خطر و یا اقدامات پیش‌بینی و هشداردهنده اولیه (یعنی مدیریت ریسک) و توسعه سیاست‌های ملی مدیریت خشکسالی ملی مبتنی بر ریسک که می‌توانند از اثرات منفی در آینده جلوگیری کرده و نیاز به مداخلات حکومتی و واقفان را در آینده کاهش دهد، بسیار کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در مدیریت بحران نیز تنها علائم خشکسالی مورد توجه قرار گرفته‌اند، در صورتی که این علائم، خود به عنوان نتیجه مستقیم یا غیر مستقیم حاصل از خشکسالی بروز می‌کنند. از سوی دیگر، مدیریت ریسک بر شناسایی مناطقی که آسیب‌پذیری بیشتری دارند (بخش‌های خاص، مناطق، اجتماعات و یا گروه‌های جمعیتی) متمرکز شده است. در این نوع مدیریت خطرات (ریسک‌ها) از طریق اجرای سیستماتیک کاهش (تعدیل) خطر و اقدامات انطباقی که از خطر مربوط به خشکسالی‌های آینده می‌کاهند، مورد رسیدگی قرار می‌گیرند. از آن‌جا که جوامع در اقدامات گذشته خود برای مدیریت خشکسالی، بر مدیریت بحران تأکید داشته‌اند، عموماً از یک رویداد خشکسالی تا واقعه دیگر، با توجه به کاهش اندک خطرات حرکت کرده‌اند. علاوه بر این، در بسیاری از مناطق مستعد خشکسالی، اصطلاحاً قبل از خروج کامل یک منطقه از آخرین رویداد خشکسالی، احتمال اینکه رویداد خشکسالی دیگری رخ دهد، بسیار زیاد است. اگر فرکانس و تکرار خشکسالی در آینده افزایش یابد، همان‌طور که برای بسیاری از مناطق پیش‌بینی شده، زمان بهبودی کمتری در بین این وقایع وجود خواهد داشت.



شکل ۱- چرخه مدیریت بحران (منبع: مرکز ملی کاهش خشکسالی، دانشگاه نبراسکا- لینکلن)

روند پیشرفت کسب آمادگی برای خشکسالی و توسعه سیاست‌های کارآمد، به دلایلی کند بوده است. دلیل این امر قطعاً به ویژگی‌های مربوط به شروع آهسته‌ی خشکسالی و عدم وجود یک تعریف

جهانی برمی‌گردد. همین ویژگی تدریجی بودن علت تمایز خشکسالی با دیگر تغییرات آب و هوایی می‌باشد. تشخیص تغییراتی که به آرامی یا به صورت تدریجی در یک دوره زمانی طولانی رخ می‌دهند، برای مردم مشکل است. این ویژگی‌های خشکسالی، هشدار زود هنگام (اولیه) و ارزیابی اثرات را برای دانشمندان، مدیران منابع طبیعی و سیاست‌گذاران مشکل و دشوار کرده است.

سیاست خشکسالی: ویژگی‌ها و راه‌های پیش‌رو

شناسایی انواع مختلف سیاست‌های خشکسالی که در دسترس بوده و برای مدیریت از آن‌ها استفاده شده است، به عنوان نقطه آغازین در بحث‌های سیاست خشکسالی، مهم می‌باشد. اولین و رایج‌ترین روش دنبال شده توسط کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته، مداخله دولتی (یا غیر دولتی) پس از بروز تأثیرات (post-impact) می‌باشد. این مداخلات به طور معمول اقدامات امدادی است که در قالب برنامه‌های اضطراری کمک‌رسانی با هدف تأمین پول و یا سایر انواع خدمات امدادی به قربانیان خشکسالی (به عنوان مثال خوراک دام، آب، غذا) صورت می‌گیرد. این رویکرد واکنشی که با چرخه آبی غیر منطقی (شکل ۲) مشخص می‌شود، قطعاً از منظر کاهش آسیب‌پذیری دارای کاستی است. زیرا از دریافت‌کنندگان این کمک‌ها انتظار نمی‌رود که رفتارها و یا شیوه‌های مدیریت منابع را به عنوان یک پیش شرط برای دریافت کمک تغییر دهند.



شکل ۲- چرخه آبی-غیرمنطقی (منبع: مرکز ملی کاهش خشکسالی، دانشگاه نبراسکا- لینکلن)

سیاست ملی مدیریت خشکسالی: یک فرآیند

چالش‌هایی که کشورهای در حال توسعه در مواجهه با سیاست ملی مدیریت خشکسالی مبتنی بر ریسک با آن مواجه می‌شوند، پیچیده است. این فرآیند به اراده سیاسی راسخی در بالاترین سطح و یک رویکرد هماهنگ داخلی و بین دولت و ذینفعان گوناگون، که باید در فرآیند توسعه سیاست مشارکت داشته باشند، نیاز دارد. سیاست ملی خشکسالی می‌تواند به عنوان سیاستی مستقل، در سیاست ملی کاهش خطرات بلایای طبیعی و با رویکرد نگرش جامع و چند خطر (Multi-Hazard)

با محوریت اصول مدیریت ریسک، سهمیم بوده و یا بخشی از آن باشد. این سیاست باید برای تغییر مسیر الگوی سنتی متمرکز بر مدیریت بحران واکنشی به الگوی متمرکز بر رویکرد مبتنی بر ریسک پیشگیری کننده، چارچوبی ارائه کند. رویکردی که با افزایش ظرفیت مقابله‌ای کشور در نظر گرفته شود و در نتیجه انعطاف پذیری بیشتری برای حوادث ضمنی بعد از خشکسالی ایجاد کند. اگرچه ارائه این چارچوب برای تغییر الگوست، اما تدوین سیاست ملی خشکسالی، تنها گام و مرحله اول از فرآیند کاهش آسیب پذیری قلمداد می‌شود. توسعه سیاست ملی خشکسالی باید به طور کامل با توسعه و پیاده‌سازی طرح‌های آمادگی و کاهش/تعدیل خطر در سطح محلی (ملی) در ارتباط باشد. این برنامه‌ها ابزاری برای اجرای سیاست ملی خشکسالی خواهند بود.

در مرحله بعدی طرحی کلی از فرآیند برنامه‌ریزی سیاست و آمادگی ارائه می‌شود. فرآیند مورد نظر یک قالب کلی یا نقشه راه محسوب می‌شود؛ به عبارت دیگر، استفاده از این روش به تطبیق پذیری با ظرفیت نهادی فعلی، زیرساخت‌های سیاسی و ظرفیت فنی در کشور مورد نظر نیاز دارد. این روش اصلاح و تغییر یافته فرآیند برنامه‌ریزی خشکسالی ۱۰ مرحله‌ای است که در ایالات متحده در سطح ایالتی اجرا شده است. در حال حاضر ۴۷ ایالت از ۵۰ ایالت آمریکا برنامه‌های مدیریت خشکسالی را اجرا کرده و اکثر آنها این دستورالعمل‌ها را برای طرح‌های آمادگی و اصلاح برنامه‌های خشکسالی دنبال می‌کنند. در کشورهای دیگر نیز روش برنامه‌ریزی خشکسالی برای توسعه استراتژی‌های ملی خشکسالی دنبال شده‌اند. به عنوان مثال کشور مراکش در اوایل سال ۲۰۰۰ از این رویکرد به عنوان بخشی از برنامه‌ای برای توسعه استراتژی ملی مدیریت خشکسالی استفاده نموده و طی ده سال گذشته آن را توسعه داده‌اند.

ده مرحله در سیاست خشکسالی و روند آمادگی

مرحله ۱: تعیین کمیسیون سیاست ملی مدیریت خشکسالی

فرآیند ایجاد سیاست ملی مدیریت خشکسالی بهتر است با ایجاد یک کمیسیون ملی، جهت نظارت و تسهیل توسعه سیاست آغاز شود. با توجه به پیچیدگی‌های خشکسالی به عنوان یک خطر و ماهیت چندگانه و متنوع آن، مدیریت تمام جنبه‌های نظارت، هشدار اولیه، برآورد اثرات، پاسخ، کاهش (تعدیل) خطر دارای اهمیت است. همچنین برنامه‌ریزی، هماهنگی و یکپارچه‌سازی فعالیت‌های بسیاری از سازمان‌ها/وزارتخانه‌های دولتی در تمام سطوح؛ و بخش‌های خصوصی از جمله گروه‌های کلیدی ذینفع و جامعه مدنی، بسیار حیاتی است. برای اطمینان از هماهنگی فرآیند، رئیس‌جمهور/نخست‌وزیر و یا دیگر رهبران سیاسی کلیدی، باید رهبری کمیسیون سیاست ملی خشکسالی را برعهده بگیرند. در غیر این صورت، ممکن است حمایت کامل و مشارکت همه طرف‌های مربوطه جلب نشود.

ایجاد این کمیسیون دو هدف عمده را دنبال می‌کند. اول: توسعه و ایجاد هماهنگی‌های فرآیند به عهده کمیسیون است. این هدف شامل گردآوری تمام منابع لازم دولتی و یکپارچه‌سازی این منابع با منابع وزارتخانه‌ها و

سطوح مختلف دولت به منظور توسعه سیاست و حمایت از طرح‌های آمادگی می‌باشد. با ادغام و یکپارچه‌سازی منابع دولت، به احتمال زیاد این مرحله اولیه به حداقل منابع جدید حمایتی با در نظر گرفتن منابع موجود (به عنوان مثال مالی، داده‌ها، انسانی) نیاز دارد. دوم: پس از ایجاد سیاست، این کمیسیون مسئول اجرای آن در تمام سطوح دولتی خواهد بود. اصول این سیاست مبنایی برای توسعه و اجرای برنامه‌های آمادگی و یا برنامه‌های مبتنی بر کاهش خطر در سطح محلی/ملی خواهند بود. علاوه بر این، در زمان بروز خشکسالی، مسئولیت انجام بخشی از فعالیت‌ها طبق مولفه‌های مختلفی به عهده کمیسیون گذاشته خواهد شد. کمیسیون اقدامات را هماهنگ کرده و برنامه‌های تعدیل خطر و اقدامات را پیاده‌سازی کرده و یا انجام آن‌ها را به مسئولان ذیربط در سطح محلی واگذار خواهد کرد. هم چنین به رهبران سیاسی و/یا هیئت قوه مقننه توصیه‌های سیاسی کرده و توصیه‌های ارائه شده در حیطه اختیارات خود و وزارتخانه‌ها را اجرا می‌کند.

مرحله ۲: بیان و یا تعریف اهداف و مقاصد سیاست ملی مدیریت خشکسالی مبتنی بر ریسک (خطرات احتمالی)

خشکسالی یک بخش طبیعی از شرایط آب و هوایی است، اما شواهد و نگرانی‌های قابل توجهی در رابطه با تکرار، شدت و مدت خشکسالی که در بسیاری از نقاط جهان رو به افزایش است، وجود دارد. در مارس ۲۰۱۳ جلسه HMNDP عمدتاً در پاسخ به نگرانی‌های تغییرات آب و هوایی ناشی از نحوه برخورد انسان با طبیعت، و همچنین در رابطه با علل ناکارآمدی رویکرد سنتی مدیریت بحران در مواقع بروز خشکسالی برگزار شد که منجر به تشکیل انجمن IDMP گردید. طبق رویکرد HMNDP، عناصر و ارکان اساسی سیاست ملی مدیریت خشکسالی عبارتند از:

- ایجاد اقدامات کاهش (تعدیل) خطر و برنامه‌ریزی‌های پیشگیرانه، روش‌های مدیریت ریسک، توسعه و ابلاغ عمومی و نظارت صحیح بر منابع.

- افزایش همکاری بین شبکه‌های ناظر ملی، منطقه‌ای و جهانی و ایجاد سیستم‌های تحویل اطلاعات که باعث بهبود درک عمومی و آمادگی برای خشکسالی می‌شود.

- ایجاد استراتژی‌های مالی و بیمه‌های جامع دولتی و خصوصی.

- به رسمیت شناختن نیازهای مربوط به ایجاد یک شبکه ایمن برای کمک‌های اضطراری، نظارت بر منابع طبیعی و خودیاری (بدون استفاده از منابع خارجی) در سطوح گوناگون دولتی.

- ایجاد هماهنگی در برنامه‌های مدیریت خشکسالی و اقدامات واکنشی به شیوه‌ای کارآمد، مشتری‌مدار و کاربردی

- اولین اقدام رسمی پس از تشکیل کمیسیون می‌بایست تعیین اهداف خاص و قابل دستیابی برای سیاست ملی خشکسالی و تهیه جداول زمانی برای اجرای جوانب مختلف سیاست و دستیابی به اهداف باشد. زمانی که کمیسیون استراتژی‌ای را برای حرکت مدیریت بحران به سمت رویکرد کاهش (تعدیل) خطر خشکسالی تدوین می‌کند، چند اصل راهبردی باید در نظر گرفته شود. نخست، اقدامات امدادی که در صورت اجرایی شدن، می‌بایست شهرداری‌ها، بخش‌های کشاورزی

و بخش‌ها و گروه‌هایی را که در کاهش اثرات خشکسالی تاثیرگذار هستند، به سوی اتخاذ شیوه‌های مدیریت مناسب و کارآمدتر ترغیب کند. یعنی این اقدامات باید باعث استحکام و تقویت اهداف مربوط به افزایش انعطاف‌پذیری و یا افزایش ظرفیت‌های مقابله با خشکسالی شوند. این تدابیر و اقدامات امدادی باید به ایجاد حسی از خوداتکایی در حوادث ضمنی خشکسالی‌های آینده کمک کند. دوم، خدمات امدادی و یاری‌رسان می‌بایست در شرایط برابر و به صورت عادلانه به افراد و مناطقی که بیشترین تأثیر و آسیب را دیده‌اند و نیز به شیوه‌ای یکنواخت و قابل پیش‌بینی بدون توجه به شرایط اقتصادی، بخش یا منطقه جغرافیایی توزیع شود. این نکته نیز باید مورد توجه قرار گیرد که کمک‌های ارائه شده نباید ضدتولید (نقطه مقابل قابلیت تولید و بهره‌وری) و یا یک مانعی بر سر راه استقلال و خوداتکایی باشد. سوم، حفاظت از منابع اصلی طبیعی و کشاورزی از اولویت برخوردار است، به طوریکه هر نوع اقدامات اتخاذ شده جهت کمک‌رسانی و یا کاهش ریسک به هیچ وجه نباید با اهداف و مقاصد سیاست خشکسالی ملی و اهداف بلند مدت توسعه پایدار در تناقض باشد.

• پس از آغاز به کار کمیسیون، باید لیستی از همه برنامه‌های واکنش در شرایط اضطراری و نیز برنامه‌های کاهش (تعدیل) خطر، از طریق وزارتخانه‌های مختلف تهیه شود. همچنین ارزیابی اثربخشی این برنامه‌ها، مخارج و هزینه‌های پیشین و منابع مالی‌شان اهمیت دارد. در سطح ایالتی یا استانی نیز باید مانوری در ارتباط با توسعه برنامه‌های آمادگی برای خشکسالی و کاهش خطر خشکسالی اجرا شود.

• برای ارائه دستورالعمل‌های تهیه سیاست‌های خشکسالی ملی و تکنیک‌های برنامه‌ریزی، تعریف مولفه‌های کلیدی سیاست خشکسالی، اهداف و مراحل روند پیاده‌سازی آن مهم است. اعضای کمیسیون، کارشناسان و ذینفعان باید پرسش‌های بسیاری را به عنوان اهداف سیاست پاسخ دهند:

- هدف و نقش دولت در تلاش برای کاهش خشکسالی چیست؟
- حدود و چشم‌انداز سیاست چیست؟
- آسیب‌پذیرترین بخش‌ها و مناطق اقتصادی و اجتماعی کشور کدام‌اند؟
- قابل توجه‌ترین اثرات خشکسالی از لحاظ تاریخی چه بوده است؟
- پاسخ دولت به خشکسالی در گذشته چه بوده و سطح و میزان اثربخشی آن چقدر بوده است؟
- نقش سیاست در پرداختن و حل و فصل درگیری بین کاربران آب و سایر گروه‌های آسیب‌پذیر در طول دوره کمبود آب چیست؟
- روندهای فعلی (به عنوان مثال آب و هوا، بروز خشکسالی، استفاده از زمین و آب، رشد جمعیت) می‌توانند موجب آسیب‌پذیری و افزایش درگیری‌ها در آینده باشند؟
- دولت نسبت به چه منابعی (انسانی و مالی) در فرآیند برنامه‌ریزی تعهد دارد؟
- چه منابع انسانی و مالی دیگری (به عنوان مثال بودجه‌های مخصوص سازگاری با تغییرات آب و هوا) در دسترس دولت هستند؟

- پیامدهای اجتماعی و حقوقی طرح در سطوح مختلف اداری و قضایی چیست، از جمله آن‌هایی که گستره‌شان به خارج از مرزهای ایالت (کشور) کشیده می‌شود؟
- کدام یک از نگرانی‌های اصلی زیست‌محیطی توسط خشکسالی تشدید می‌شود؟

مرحله ۳: تعریف و حل و فصل درگیری‌های بین بخش‌های کلیدی مصرف‌کننده آب با مشارکت ذینفعان و توجه به پیامدهای فرامرزی
همانطور که در مرحله ۱ اشاره شد، حضور متخصصان در مشارکت عمومی، عاملی مهم در روند توسعه سیاست محسوب می‌شود. به دلیل پیچیدگی‌های خشکسالی که با بخش‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی جامعه رابطه متقابل دارد و وابستگی این بخش‌ها به دسترس بودن کافی منابع آب در حمایت از مسکن و معیشت و زندگی بسیاری از موجودات، به موازات تشدید شرایط خشکسالی، رقابت بر سر منابع کمیاب آب افزایش پیدا کرده و در بسیاری موارد درگیری‌هایی به وجود می‌آید. به این درگیری‌ها می‌توان در طول یک بحران رسیدگی کرد. به این ترتیب رسیدگی و پرداختن به درگیری‌های احتمالی در طول دوره تنش آبی، زمانی که تنش بین این گروه‌ها بسیار ناچیز است، ضروری و لازم می‌باشد. به عنوان بخشی از فرآیند توسعه سیاسی، شناسایی تمام گروه‌های شهروندی (یعنی ذینفعان)، از جمله بخش خصوصی که در فرآیند توسعه سهیم بوده و منفعت دارد، ضروری است. این گروه باید در ابتدا و به طور مداوم برای اطمینان از روند توسعه موثر سیاست خشکسالی در سطوح ملی و محلی (کشوری یا استانی)، به صورت عادلانه در این فرآیند حضور و مشارکت داشته باشند. در مورد رودخانه‌های بین‌المللی، تعهدات بین‌المللی تحت توافق‌هایی که دولت به آن‌ها متعهد است، باید در نظر گرفته شود. بحث درباره نگرانی‌های اولیه موجود در مورد فرآیند برای شرکت کنندگان، این فرصت را فراهم می‌کند تا اصول دیدگاه‌های افراد مختلف، نیازها و نگرانی‌ها را هرچه بهتر و درست‌تر درک کنند، که این امر خود منجر به یافتن راه‌حل‌های مشترکی می‌گردد. اگر چه سطح دخالت و مشارکت این گروه‌ها به ویژه از کشوری به کشور دیگر و حتی در داخل کشورها متفاوت است، با این حال قدرت و اختیارات گروه‌های مربوط به منافع عمومی در سیاست‌گذاری‌ها، در بسیاری از شرایط مهم و قابل ملاحظه است. در واقع، در صورتی که این گروه‌ها در روند توسعه این سیاست لحاظ نشوند، به احتمال زیاد مانع پیشرفت فرآیند توسعه سیاسی می‌گردند.

مرحله ۴: تهیه فهرستی از داده‌ها و منابع مالی در دسترس و شناسایی گروه‌های در معرض خطر

موجودی و ذخایر منابع طبیعی، بیولوژیکی، مالی و انسانی، از جمله محدودیت‌هایی است که می‌توانند مانع توسعه سیاست شوند، لذا ابتدا باید شناسایی این محدودیت‌ها توسط کمیسیون صورت گیرد. در بسیاری از موارد، اطلاعات زیادی از قبل در مورد منابع طبیعی و بیولوژیکی به واسطه اقدامات صورت گرفته توسط آژانس‌ها، سازمان‌ها/وزارتخانه‌های مختلف استانی و ملی وجود دارد. تعیین آسیب‌پذیری‌های این منابع نسبت به دوره‌های کمبود آب ناشی از

خشکسالی مهم است. واضح ترین منبع طبیعی حائز اهمیت، آب است (یعنی تعیین موقعیت، قابلیت در دسترس بودن، کمیت، کیفیت)، اما ایجاد درک روشنی از دیگر منابع طبیعی مانند آب و هوا و خاک نیز مهم می باشد. منابع بیولوژیکی، اکولوژی به کمیت و کیفیت مراتع، چمنزارها، جنگل ها، حیات وحش، تالاب ها و غیره اشاره دارند. منابع انسانی، نیروی کار مورد نیاز برای توسعه منابع آبی، تأسیس خطوط لوله، تغذیه خوراک و آب به دام، فرایند رسیدگی و پاسخ به شکایات شهروندان، ارائه کمک های فنی و تخصصی، ارائه مشاوره و ارائه مستقیم خدمات در دسترس به شهروندان را در بر می گیرد.

مرحله ۵: تهیه/نگارش اصول و پایه های کلیدی سیاست ملی مدیریت خشکسالی و طرح های آمادگی برای خشکسالی، از جمله این ارکان: دیده بانی، هشدار اولیه و پیش بینی. برآورد خطرات احتمالی و تأثیرات؛ و کاهش خطر و پاسخ

همان طور که قبلاً گفته شد طرح های آماده سازی مقابله با خشکسالی و کاهش خطرات آن ابزارهایی محسوب می شوند که از طریق آن سیاست ملی مواجهه با خشکسالی شکل می گیرد. ضروری است که این طرح ها منعکس کننده ی آن دسته از اصول سیاست ملی خشکسالی باشند که بر مفهوم کاهش خطر متمرکزند. برنامه ریزی برای ایجاد این آمادگی می تواند دو شکل داشته باشد. اولین شکل: برنامه ریزی پاسخ ها، که در راستای ایجاد یک طرح که تنها در طول خشکسالی و معمولاً به منظور پاسخ به اثرات، فعال می گردند، صورت می گیرد. این نوع از برنامه ریزی، واکنش پذیر و انعکاسی است و اقداماتی که انتظار می روند در آینده چه از سوی دولت یا سازمان های ملی انجام شوند، باید جهت رسیدگی به تأثیرات خاص در بخش، گروه های جمعیتی و جوامع در نظر گرفته شود و در این صورت است که منعکس کننده زمینه های کلیدی آسیب پذیری های اجتماعی می باشند. در اصل، در پاسخ به تأثیرات از طریق اقدامات اضطراری، تنها علائم خشکسالی مورد توجه قرار می گیرند و این واکنش ها و پاسخ های معمولاً ناهنگام، با هماهنگی ضعیف بوده و اغلب بخش هایی که بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته اند، نادیده گرفته می شوند. همانطور که قبلاً اشاره شد، این روش که تا حد زیادی واکنشی و انعکاسی بوده، در واقع به افزایش آسیب پذیری های اجتماعی دریافت کنندگان خدمات امدادی و یا کمک های برنامه خشکسالی وابسته به دولت و دیگر برنامه ها از طریق کمک های ارائه شده به زنده ماندن و حفظ بقاء از شرایط بحرانی، می انجامد. این رویکرد مانع ایجاد انعطاف پذیری و بهبود اجرای شیوه های مدیریت منابع که خطرات را در بلند مدت کاهش می دهند، می شود. روش دیگر بیان می نماید که چرا دریافت کنندگان بالقوه کمک های اضطراری، باید اقدامات کاهش خطر فعال تر و پیشگراانه تری را ایجاد کنند، در صورتی که با احتمال زیاد دولت و یا سایر سازمان ها، آن ها را اصطلاحاً به قید وثیقه از وضعیت بحرانی نجات می دهند؟ اقدامات اضطراری در برخی از موارد و به ویژه با توجه به ارائه کمک های انسان دوستانه مناسب هستند، اما باید به صورت محدود و هم راستا با اهداف بلندمدت سیاست ملی

خشکسالی استفاده شوند، یعنی اهدافی که بر بهبود انعطاف پذیری نسبت به حوادث آینده متمرکز دارند.

مرحله ۶: شناسایی نیازهای تحقیقاتی و پرکردن شکاف های نهادی کمیسیون سیاست ملی خشکسالی باید نیازهای تحقیقاتی خاصی را شناسایی نماید که به درک هرچه بهتر خشکسالی، اثرات آن، راهکارهای کاهش خطر و ابزارهای سیاستی مورد نیاز کمک کرده و در نتیجه منجر به کاهش خطرات احتمالی می شوند. منشا این نیازها به احتمال زیاد به نیروهای کار خشکسالی در سطح دولتی (کشوری-استانی) که برای توسعه برنامه های کاهش اثرات خشکسالی فعالیت می نمایند، برمی گردد. از وظایف کمیسیون، تطبیق این نیازها در مجموعه ای از اولویت ها برای اقدامات آینده و تأمین بودجه می باشد.

به نمونه های بسیاری از نیازهای پژوهشی بالقوه می توان اشاره کرد. نخست، بهبود نحوه ی درک چگونگی تأثیرگذاری تغییر اقلیم بر احتمال بروز رویدادهای خشکسالی و شدت آن ها، به خصوص در مقیاس منطقه ای، که زمینه ساز کسب اطلاعات حیاتی گردیده و موجب تسهیل اندازه گیری و اقدامات کاهش خطر می شود. این اطلاعات به جهت بهبود و پیشرفت علوم مربوط به تغییرات آب و هوا و افزایش کارایی و دقت مدل های کامپیوتری، برای سیاست گذاران، مدیران و دیگر تصمیم گیرندگان ارزشمند خواهد بود. همچنین تکنیک های هشداردهنده، درک بهتر ارتباط بین نمایه ها و شاخص ها و اثرات برای ارائه نکات کلیدی تصمیم گیری و یا آستانه ها برای اجرای اقدامات مربوط به کاهش خطر و توسعه ابزارهای پشتیبانی از تصمیم برای مدیران بسیار مهم می باشد.

در طول فرایند برنامه ریزی برای کسب آمادگی و توسعه سیاست، آشکار شده است که شکاف هایی نهادی وجود دارد. شکاف هایی که مانع سیاست گذاری و برنامه ریزی می شوند. برای مثال، ممکن است شکاف هایی جدی در شبکه های ایستگاه نظارت وجود داشته باشد، و یا لازم باشد شبکه های هواشناسی، هیدرولوژیکی و زیست محیطی موجود خودکار و اتوماتیک گردند و به صورت شبکه در بیایند؛ به گونه ای که داده ها در حمایت از یک سیستم هشدار دهنده، به موقع بازایی گردند. آرسیوندی و ثبت اثرات خشکسالی جزء حیاتی و مهمی از این فرایند است که برای کمک به شناسایی و تعیین کمیت تلفات و تشخیص روندها در کاهش تأثیرات کاربرد دارد. انتظار می رود که مرحله ۶ به طور همزمان با مراحل ۴ و ۵ که مربوط به اجرای توسعه سیاست و طرح است، انجام شود.

مرحله ۷: ادغام جوانب علمی و سیاسی مدیریت خشکسالی یکپارچه سازی جنبه های علمی و سیاسی مدیریت خشکسالی، از جمله جنبه های ضروری فرایند سیاست گذاری و برنامه ریزی است. درک سیاست گذاران از مسائل علمی و محدودیت های فنی در مشکلات مربوط به خشکسالی در بسیاری موارد محدود و اندک می باشد. به همین ترتیب، دانشمندان و مدیران ممکن است درک ضعیفی از محدودیت های سیاست های موجود برای پاسخ به اثرات خشکسالی داشته باشند. در بسیاری از موارد، اگر موفقیت در فرایند برنامه ریزی مد

نظر باشد، ارتباط و درک متقابل بین جوامع علمی و سیاسی باید افزایش یابد. این مسئله قدم مهمی در توسعه سیاست ملی خشکسالی قلمداد می‌شود. اعضای کمیسیون ملی سیاست خشکسالی درک صحیحی از روند توسعه سیاست و محدودیت‌های سیاسی و مالی مرتبط با تغییرات پیشنهادی در سیاست‌های عمومی دارند. همچنین آن‌ها از مشکلات ذاتی مربوط به تغییرات الگو برای دریافت کنندگان کمک‌های اضطراری در شرایط خشکسالی آگاه بوده و یک رویکرد جدید متمرکز بر کاهش خطرات خشکسالی را انتخاب می‌نمایند. با این حال، اشخاصی در سطح دولت و یا جامعه در فرآیند برنامه‌ریزی وجود دارند که آگاهی کمتری از این محدودیت‌ها داشته، اما درک بسیار خوبی از اقدامات مدیریت خشکسالی، شرایط محلی و بخش‌های کلیدی تحت تأثیر و نیازهای عملیاتی دارند. برای پیوند فرآیند سیاست با نیازهای حیاتی، باید کانال ارتباطی قوی‌ای بین نیروهای درگیر با خشکسالی دولتی (کشوری-استانی) و کمیسیون ایجاد شود.

مرحله ۸: تبلیغ سیاست مدیریت ملی خشکسالی و برنامه‌های آمادگی و ایجاد آگاهی و اجماع عمومی

اگر ارتباط خوبی در سراسر فرآیند نهادینه کردن یک سیاست و برنامه خشکسالی با مردم وجود داشته باشد، آگاهی بهتری از اهداف سیاست خشکسالی، منطق اجرای سیاست‌ها، و فرآیند برنامه‌ریزی خشکسالی، در زمان اجرا و پیاده‌سازی سیاست وجود خواهد داشت. متخصصان اطلاعات عمومی که در این فرآیند در سطح کمیسیون و در سطح کشوری/استانی مشارکت دارند، نقش حیاتی در این زمینه به عهده خواهند داشت. در طول روند توسعه سیاست و برنامه‌ریزی، استفاده از رسانه‌های محلی و ملی در انتشار هرچه موثرتر اطلاعات مربوط به این روند ضروری است. موضوعاتی که باید در نوشتن اخبار مربوط به سیاست و برنامه‌ریزی خشکسالی مورد تأکید قرار گیرند، می‌توانند شامل موارد زیر باشد:

- چگونه انتظار می‌رود که سیاست و طرح‌های خشکسالی باعث کاهش اثرات خشکسالی در هر دو دوره کوتاه‌مدت و بلندمدت شود. در این گزارش‌ها می‌توان بر روی ابعاد اجتماعی خشکسالی، مانند چگونگی تأثیرگذاری خشکسالی بر اقتصاد محلی و خانواده‌ها، پیامدهایی زیست‌محیطی مانند کاهش زیستگاه‌های حیات وحش، سلامتی انسان و اثرات آن بر اقتصاد منطقه‌ای و ملی و ایجاد توسعه تمرکز کرد.
- تغییرات رفتاری برای کاهش اثرات خشکسالی، جوانب مختلف برنامه‌های آمادگی دولت برای خشکسالی، سیاست‌های جدید مرتبط با تخصیص آب و نهایتاً مدیریت آب در طول مراحل مختلف خشکسالی، مهم خواهد بود.

در سال‌های پس از آن، با مطلع کردن مردم از وضعیت فعلی منابع آب و پیش‌بینی‌های صورت گرفته در مورد در دسترس بودن آب، انتشار اخبار مربوط به سیاست‌ها و برنامه‌ریزی خشکسالی و تازگی اخبار در شروع حساس‌ترین فصل منجر به خشکی می‌تواند مفید واقع شود. همچنین جنبه‌های مختلف سیاست و طرح خشکسالی می‌تواند کانون توجه و تمرکز اخبار قرار گیرد. گزارش‌های موفق در

مورد استفاده از طرح در بخش‌های گوناگون و یا جوامع به تقویت اهداف برنامه کاهش خطر و سیاست‌های ملی کمک خواهد کرد. به روزرسانی اطلاعات مردم جلوتر از زمان، در مورد شرایطی که به استفاده محدود آب منجر می‌شود نیز می‌تواند مفید واقع گردد. زمان‌بندی انتشار اخبار با جلسات منظم کمیته نظارت در سطح محلی و ملی، تعیین مناطق و یا بخش‌های خاص نگران‌کننده در ارتباط بوده و تنظیم می‌گردد.

مرحله ۹: توسعه برنامه‌های آموزشی برای همه گروه‌های سنی و ذینفعان

آموزش گسترده متمرکز بر تمام گروه‌های سنی، آگاهی از استراتژی‌های جدید مربوط به مدیریت خشکسالی، اهمیت آمادگی و کاهش خطر، مسائل تأمین آب در کوتاه‌مدت و بلندمدت و دیگر پیش‌شرط‌های حیاتی برای پذیرش عموم مردم و پیاده‌سازی سیاست‌های خشکسالی و اهداف آمادگی، لازم و ضروری است. برنامه آموزشی به حصول اطمینان از آگاهی مردم در خصوص چگونگی مدیریت خشکسالی هنگام وقوع خشکسالی و اینکه (برنامه آمادگی) باعث آسیب زدن به زمین در طول سال‌های بدون خشکسالی نمی‌شود، کمک می‌کند. این امر می‌تواند برای متناسب کردن اطلاعات در راستای نیازهای گروه‌های خاص (به عنوان مثال آموزش ابتدایی و متوسطه، کسب و کارهای کوچک، صنعت، مدیران آب، تولیدکنندگان کشاورزی، صاحب‌خانه‌ها، آب و برق) مفید واقع شود. نیروی کار خشکسالی در هر ایالت یا استان و سازمان‌های شرکت‌کننده باید ارائه و ترویج مطالب آموزشی را برای رویدادهایی خاص در نظر گیرند. رویدادهایی از قبیل هفته آگاهی از آب، مشاهدات جامعه از روز زمین، مراسم‌هایی که بر آگاهی‌های زیست‌محیطی متمرکزند، نمایشگاه‌های تجارت مربوطه، کارگاه‌های تخصصی، و دیگر گردهمایی‌هایی که بر نظارت صحیح بر منابع طبیعی و یا مدیریت آن تمرکز می‌کنند.

مرحله ۱۰: ارزیابی و بازبینی سیاست ملی مدیریت خشکسالی و حمایت از طرح‌های آماده‌سازی

اصول سیاست ملی خشکسالی و هر یک از طرح‌های آماده‌سازی یا کاهش خطر که به عنوان ابزارهای اجرای سیاست به کار گرفته می‌شوند، باید به صورت دوره‌ای به منظور استفاده از فن‌آوری‌های جدید، درس‌ها و تجربه‌های آموخته شده از خشکسالی‌های اخیر، تغییرات در آسیب‌پذیری و سایر موارد، ارزیابی و بازبینی شوند. ایجاد مجموعه‌ای مفصل از روش‌ها برای اطمینان از ارزیابی مناسب موفقیت و شکست سیاست‌ها و برنامه‌های آماده‌سازی در تمام سطوح، یک گام مهم و مرحله‌نهایی در فرآیند توسعه سیاست و آماده‌سازی می‌باشد. نظارت بر انجام ارزیابی توسط کمیسیون سیاست ملی خشکسالی صورت می‌گیرد. اما بررسی اقدامات خاص انجام شده و نتایج و برآمدهای اعمال شده در کشورها و یا استان‌های متأثر از خشکسالی، باید مشارکت فعال نیروهای کار مخصوص خشکسالی را به همراه داشته باشد. روند سیاست و آماده‌سازی باید پویا باشد. در غیر این صورت، سیاست‌ها و برنامه‌ها به سرعت از رده خارج می‌شوند. آزمون‌ها، ارزیابی‌ها و به روزرسانی‌های

دوره‌ای سیاست خشکسالی برای حفظ طرح‌های مسئول و پاسخگوی نیازهای کشور، استان‌ها و بخش‌های کلیدی، لازم و ضروری است. برای به حداکثر رساندن اثربخشی و کارایی سیستم، باید دو حالت ارزیابی وجود داشته باشد: ارزیابی مداوم و ارزیابی پس از خشکسالی.

ارزیابی مداوم: ارزیابی مداوم و یا عملیاتی، موجب نظارت و ثبت چگونگی تأثیرگذاری تغییرات اجتماعی مانند فن‌آوری‌های جدید، تحقیقات جدید، قوانین جدید و تغییرات رهبری سیاسی بر خطر خشکسالی و جنبه‌های عملیاتی سیاست خشکسالی و حمایت از طرح‌های آماده‌سازی می‌گردد. خطر و ریسک مربوط به خشکسالی در بخش‌های مختلف (اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی) باید به طور مرتب مورد ارزیابی قرار گیرد، در حالی که برنامه کلی سیاست و آماده‌سازی خشکسالی ممکن است کمتر مورد بررسی قرار گیرد. توصیه شده است که ارزیابی در شرایط خشکسالی شبیه‌سازی شده (به عنوان مثال مانور و تمرین خشکسالی مبتنی بر مدل‌سازی کامپیوتری) قبل از سیاست و طرح‌های خشکسالی سطح ایالتی (استانی) و در دوره‌ای پس از آن انجام شود. به یاد داشته باشید که روند سیاست خشکسالی و برنامه‌ریزی برای آماده‌سازی باید پویا و متغیر باشد، نه یک رویداد گسسته و مجزا.

جنبه مهم دیگر از فرآیند ارزیابی و مفهوم تمرینات خشکسالی با تغییرات پرسنل دولت، که اغلب رخ می‌دهد، مرتبط است. اگر اهداف و ارکان سیاست ملی خشکسالی به صورت دوره‌ای بررسی نشوند و مسئولیت‌های همه سازمان‌ها چه در سطح ملی یا در سطح ایالتی بازبینی نگردند، مقامات دولتی از نقش‌ها و مسئولیت‌های خود در زمان وقوع خشکسالی شدید، کاملاً آگاه نخواهند بود. گسترش و به روزرسانی حافظه سازمانی جنبه مهمی از سیاست خشکسالی و روند آماده‌سازی محسوب می‌شود.

ارزیابی پس از خشکسالی: با ارزیابی‌های پس از خشکسالی و یا اسناد حسابرسی و تجزیه و تحلیل ارزیابی‌ها (برآوردهای مالی) و اقدامات پاسخی دولت، سازمان‌های غیر دولتی و سایر سازمان‌ها، مکانیزمی برای پیاده‌سازی توصیه‌های مربوط به بهبود سیستم فراهم می‌شود. بدون انجام ارزیابی‌های پس از خشکسالی، سیاست خشکسالی و طرح‌های آماده‌سازی در سطح محلی، عبرت‌گیری از موفقیت‌ها و اشتباهات گذشته دشوار خواهد بود، چراکه حافظه سازمانی به تدریج ضعیف و سپس محو می‌شود.

نتیجه‌گیری

در اکثر موارد، واکنش‌های قبلی به خشکسالی در تمام نقاط جهان واکنشی بوده که منعکس‌کننده همان چیزی است که معمولاً به آن رویکرد مدیریت بحران گفته می‌شود. این رویکرد بی‌اثر و بی‌فایده بوده، (یعنی رسیدگی‌ها و خدمات امدادی و کمک‌ها به صورت ضعیف و ناقص، تنها برای اثرات و یا گروه‌های جمعیتی خاص در نظر گرفته شده) و هماهنگی ضعیفی در این رویکرد مشاهده می‌شود.

این پاسخ‌ها به‌ویژه نا به هنگام و بدموقع صورت گرفته و مهم‌تر از آن بر کاهش خطرات مرتبط با خشکسالی تأثیر ناچیزی داشته است. در واقع تأثیرات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی خشکسالی به طور چشمگیری در دهه‌های اخیر افزایش یافته است. روند مشابهی برای تمام مخاطرات طبیعی وجود دارد.

هدف از فرآیند توسعه سیاست و برنامه‌ریزی در این گزارش ارائه مجموعه‌ای از مراحل و یا رهنمودهای کلی بوده تا کشورها بتوانند با استفاده از آن‌ها، اصول فراگیر سیاست ملی مدیریت خشکسالی را با هدف کاهش خطرات احتمالی توسعه و گسترش دهند. این سیاست در سطح ملی (محلی) از طریق توسعه و پیاده‌سازی برنامه‌های آمادگی در برابر خشکسالی که تابع چارچوب و اصول سیاست ملی مدیریت خشکسالی هستند، اجرا می‌شود. این برنامه‌ها و طرح‌ها ابزارهایی برای اجرای سیاست‌های ملی خشکسالی مبتنی بر اصول کاهش خطر محسوب می‌شوند. با دنبال کردن این دستورالعمل‌ها، یک کشور می‌تواند به طور قابل توجهی روش عکس‌العمل نشان دادن و آماده‌سازی در برابر خشکسالی را با تأکید بیشتر بر رسیدگی فعالانه به خطرات مرتبط با خشکسالی از طریق اتخاذ اقدامات مناسب مربوط به کاهش خطر تغییر دهد. دستورالعمل‌های ارائه شده در این جا به منظور توانمندسازی دولت‌ها در انتخاب مراحل و مولفه‌های قابل اجرا بسته به وضعیتی که در آن قرار دارند، کلی و جامع هستند. روش ارزیابی ریسک و خطرات احتمالی در نظر گرفته شده در این فرآیند برای هدایت دولت، بر مبنای ارزیابی و اولویت‌بندی اثرات و شناسایی اقدامات و ابزارهای مربوط به کاهش خطر که می‌توانند برای کاهش اثرات رویدادهای خشکسالی آینده مورد استفاده قرار بگیرند، طراحی شده است. هر دو فرآیند توسعه سیاست و برنامه‌ریزی باید یک فرآیند دائمی و در حال پیشرفت در نظر گرفته شوند و همواره تغییرات مربوط به نحوه‌ی در معرض خطر قرار گرفتن و آسیب‌پذیری کشور و راه‌هایی که دولت‌ها و ذینفعان با مشارکت هم می‌توانند برای کاهش خطر همکاری کنند، مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله لازم می‌دانند که از دفتر پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان به پاس حمایت‌های مالی از انتشار این مقاله تشکر کنند.

پی‌نوشت

- 1- World Meteorological Organization
- 2- Global Water Partnership
- 3- High-Level Meeting on Nation drought Policies
- 4- United Nation Convention to Combat Desertification
- 5- Food and Agriculture Organization of United Nation

Investigation of Consumption Management and Estimation of the Drinking Water Demand in the Vision 1420 for the City of Mashhad (Technical Note)

H. Ansari^{1*}, A. Boostani², A.R. Tabatabaee³, M. Forouzes⁴

1,2- Associate Professor & Ph.D. Student, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. 3, 4- Ph.D. Student, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad Water and Wastewater Company, Iran.

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

Received: 07-10-2015

Accepted: 26-06-2016

بررسی مدیریت مصرف و برآورد میزان تقاضای آب شرب شهری مشهد در افق ۱۴۲۰ (یادداشت فنی)

حسین انصاری^{۱*}، آرمین بوستانی^۲، علیرضا طباطبایی^۳، مجید فروزش^۴

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری تخصصی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. ۳ و ۴- دانشجوی دکتری تخصصی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، شرکت آب و فاضلاب مشهد

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۵

Abstract

The new management of water resources, due to the limitations in available water resources utilization and the development of urban communities, should be based on the demand management rather than supply management. However, achieving sustainable consumption patterns, with status indicators such as consumption patterns, culturing, tariff reform and incentive policies either corrective or preventative, is possible in macro management. The factors that determine water demand as well as the consumption reduction actions, should be considered as a connection between the policies for water supply and the availability of renewable resources. Due to the location and pilgrimage to the city of Mashhad, in addition to the urban community decision variables, the supply of water for drinking and other domestic uses is of considerable importance for decision makers. The lack of a program or a pilgrims schedule makes it difficult to estimate the level of water consumption or its demand in the network. Because the Mashhad plain is located in a restricted area the possibility of creating new wells in this critical plain does not exist. Therefore, considering future crisis and the unique location of the city of Mashhad, due to its religious status and the necessity of providing drinking water, investigating the ability to supply water from reservoirs must be included in the Vision 1420. Proposals relying on both conventional and unconventional sources of water must be included in urban domestic water management. By correctly estimating all the determinants of water consumption (30 year forecast) it is possible to predict the level of drinking water demand in the city of Mashhad and develop a suitable management approach.

Keywords: Consumption Management, Water Supply, Domestic Water, Mashhad, Vision 1420.

چکیده

در مدیریت جدید منابع آب با توجه به محدودیت در بهره‌برداری و توسعه منابع آبی در دسترس جوامع شهری، بایستی به مدیریت تقاضا بیشتر از مدیریت تأمین توجه گردد. از طرفی رسیدن به الگوی مصرف پایدار، تنها با اعمال مولفه‌هایی نظیر رعایت الگوی مصرف، فرهنگ‌سازی، اصلاح قوانین تعرفه‌گذاری و سیاست‌های تشویقی، اصلاحی و یا بازدارنده در بخش مدیریت کلان امکان‌پذیر است. در نظر گرفتن فاکتورهای تعیین‌کننده تقاضای آب از یک سو و اقدامات کاهنده مدیریت مصرف از سوی دیگر، بایستی به عنوان یک راه ارتباطی مخصوص بین سیاست‌گذاری تأمین آب، قابلیت در دسترس بودن و منابع تجدیدپذیر تلقی شود. با توجه به موقعیت مکانی و زیارتی در شهر مشهد، علاوه بر متغیرهای تصمیم‌گیری جامعه شهری، تأمین آب شرب و بهداشتی برای زائران، اهمیت بالایی نزد مدیران تصمیم‌گذار دارد. عدم تبعیت برنامه ورود زائران از یک الگوی زمانی خاص و یکنواخت، برآورد میزان مصرف و تقاضای موجود در شبکه را مشکل می‌کند. به دلیل قرارگیری دشت مشهد در محدوده ممنوعه، امکان حفر چاه جدید در این دشت بحرانی وجود ندارد. لذا با توجه به بحران‌های آبی و موقعیت خاص شهر مشهد به لحاظ مذهبی و لزوم تأمین آب شرب این شهر، بررسی وضعیت تأمین آب از مخازن شرب برای برنامه‌ریزی کلان در تأمین آب شرب شهر در افق ۱۴۲۰ و ارائه رهیافت‌هایی برای بهره‌برداری از منابع آب متعارف و غیرمتعارف ضروری به نظر می‌رسد. با تعیین صحیح کلیه عوامل تعیین‌کننده مصرف (چشم انداز ۳۰ ساله)، می‌توان تخمین مناسبی برای میزان تقاضای آب شرب شهری مشهد با رویکرد مدیریت مصرف ارائه نمود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت مصرف، تأمین آب، آب شرب مصرفی، شهر مشهد، افق ۱۴۲۰.

مجموع آب در دسترس شیرین برای تأمین جمعیت حال حاضر جهان با تکیه بر حداقل مصرف مورد تقاضا کافی به نظر می‌رسد. اما عدم توزیع یکنواخت منابع آب در دسترس و جمعیت؛ شرائط را به خصوص برای کشورهای در حال توسعه بسیار بحرانی کرده است. تنوع و دگرگونی شرایط اقلیمی ایران، پراکندگی نامناسب مکانی و زمانی بارندگی در سطح کشور (وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های شدید)، وجود فرهنگ‌ها، عقاید و شیوه‌های مختلف زندگی در ایران، نبود قوانین و مقررات مشخص و فراگیر در برگیرنده حقوق تمام مردم و برآوردنده نیازهای حال و آینده آن‌ها از يك سو و از سوی دیگر عدم هماهنگی، انسجام و هم‌سوئی سیاست‌های بخش‌های مختلف مرتبط با آب سبب شده است که همزمان با افزایش جمعیت و توسعه کشور، مدیران بخش آب کشور با مسائل و معضلات بسیاری در این بخش مواجهه باشند. برنامه‌ریزی برای مدیریت مصرف با تکیه بر روش‌های تأمین پایدار آب شهری از سوی دانشمندان، محققان و کارشناسان بین المللی به‌عنوان چالش استراتژیک مهمی در قرن بیست یکم محسوب می‌گردد.

کمبود آب در ایران یکی از عوامل محدودکننده اصلی توسعه فعالیت‌های اقتصادی در دهه‌های آینده به‌شمار می‌رود. کارشناسان بارها هشدار داده‌اند که ایران با متوسط نزولات جوی ۲۶۰ میلی‌متر در سال از کشورهای خشک جهان و دارای منابع آب محدود است. در ایران، کم بودن حجم آب تجدیدپذیر و عدم مدیریت صحیح منابع آب موجود، علاوه بر موارد فوق، عامل اصلی و زمینه‌ساز بحران آب می‌باشد. با توجه به رشد جمعیت در سال‌های اخیر، سرانه منابع آب تجدیدپذیر از ۷۱۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۳۴ به ۲۱۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۷۰ کاهش پیدا کرده است و در سال ۱۴۰۴ به میزان ۸۰۰ متر مکعب در سال خواهد رسید (نظرزاده و همکاران، ۱۳۸۲). کمبود آب در کشور و توزیع نامناسب منابع آبی و وجود مشکلات فوق، بیانگر لزوم نگرش دقیق به مساله عرضه و تقاضای آب می‌باشد. مسلماً مدیریت تقاضا در این شرایط از اهمیت خاصی برخوردار است. در این راستا استفاده از محققین کشور و متناسب‌سازی مراجع علمی موجود در دنیا با شرایط موجود می‌تواند در چگونگی مدیریت و توسعه منابع آب مفید باشد.

با توجه به محدودیت منابع آب قابل دسترس در کشور و افزایش روز افزون تقاضا برای مصارف مختلف آب در کلیه جنبه‌های آن و در نتیجه رسیدن به مرز بحرانی استفاده از منابع آب تجدیدپذیر ایجاب می‌کند که مدیریت تقاضا، مبنای کنترل مصرف و مدیریت منابع آب قرار گیرد تا ضمن تأمین امنیت آبی، قوانین مدون بر این مبنا جهت ایجاد تعادل بین مصرف و تأمین آب ایجاد گردد.

بطور کلی مدیریت منابع آب، دارای دو جنبه است:

- ۱- مدیریت تأمین آب که به تقاضای آب به عنوان نیازی می‌نگرد که باید برآورده شود و شامل فعالیت‌هایی برای شناسایی، توسعه و استحصال منابع جدید آب به اقتصادی‌ترین شیوه می‌باشد.
- ۲- مدیریت تقاضا که به مصرف آب به عنوان يك تقاضا می‌نگرد که می‌تواند توسط روش‌های فنی و اقتصادی- اجتماعی اصلاح شود و شامل فعالیت‌ها و رویکردهایی برای تخصیص و استفاده بهینه از منابع آبی موجود می‌باشد (انصاری، ۱۳۹۴). آگاهی مدیران، تصمیم‌گیران و به طور کلی کلیه اقشار ذی‌ربط از شیوه‌های مختلف مدیریت تقاضا و به خصوص تعیین و تخمین تابع تقاضای افراد مصرف‌کننده با اصلاح نظام تعرفه‌گذاری از جمله ضروری‌ترین اقدامات و برنامه‌های مدیریت آب تلقی می‌گردد.

در کلان شهر مشهد بطور تقریبی با احتساب میانگین‌گیری از روزهای پیک مناسبتی (در این روزها جمعیت ساکن و مسافران شهر مشهد گاهی به بیش از ۵ میلیون نفر نیز می‌رسد) و روزهای عادی سال و با احتساب جمعیت میانگین ۲/۵ میلیون نفر و سرانه ۲۰۰ لیتر در روز، حداقل به بیش از ۱۸۰ میلیون متر مکعب آب شرب بهداشتی در طول سال نیاز است. مصارف شرب شهر مشهد در سال ۱۴۲۰، حدود ۴۰۰ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. با توجه به انتقال حدود ۳۰ میلیون مترمکعب آب از مخازن سدهای موجود (طرق و کارده)، انتقال به طور متوسط ۱۰۰ میلیون متر مکعب آب از سد دوستی (خارج از حوضه)، انتقال ۱۵ میلیون متر مکعب آب از سد اردک و انتقال ۳۰ میلیون متر مکعب آب از ارتفاعات هزار مسجد (خارج از حوضه)، به طور میانگین حدود ۱۷۵ میلیون متر مکعب آب از این برآورد در سال توسط منابع سطحی داخل و خارج از حوضه تأمین می‌شود. با توجه به این‌که در بهترین شرایط بتوان سطح تأمین آب حال حاضر را تا سال ۱۴۲۰ نگاه داشت، حدود ۲۲۵ میلیون متر مکعب در سال کسری آب وجود دارد که باید از منابع آب زیرزمینی دشت ممنوعه مشهد تأمین شود. منابع زیرزمینی شهر مشهد از لحاظ کمی و کیفی بسیار متنوع بوده و به علت برداشت‌های اضافی از منابع آبی این دشت، کیفیت آب در این منطقه به شدت درحال تنزل بوده و بطور مستقیم سلامت شهروندان را تهدید می‌کند. اگر روند برداشت از منابع زیرزمینی تا سال ۱۴۰۰ افزایش یابد، بحران جدی‌تری پیش رو خواهد بود.

به دلیل قرارگیری دشت مشهد در محدوده‌ی ممنوعه، امکان حفر چاه جدید در این دشت بحرانی وجود ندارد. لذا با توجه به بحران‌های آبی و موقعیت خاص شهر مشهد به لحاظ مذهبی و لزوم تأمین آب شرب این شهر، بررسی وضعیت تأمین آب از مخازن شرب برای برنامه‌ریزی کلان در تأمین آب شرب شهر در افق ۱۴۲۰ و ارائه رهیافت‌هایی برای بهره‌برداری از منابع آب متعارف و غیرمتعارف ضروری به نظر می‌رسد.

موضوع کمیابی و کمبود نسبی آب و توأمان بالارفتن هزینه‌های سرمایه‌گذاری در استحصال منابع آبی جدید، هزینه‌بر بودن ایجاد این ذخایر را باعث شده است. به منظور برآورده ساختن این تقاضای روزافزون در هزینه‌های منطقه‌ای، مدیران آبی به دنبال روش‌هایی می‌باشند تا به مدد آن‌ها منابع جدید عرضه آب موجود را به گونه‌ای مطلوب‌تر تخصیص داده و کاربران را نسبت به ذخیره آب تشویق و تهییج نمایند. این مطلب درست در مقابل گذشته است که دولت‌ها تقاضای جدید آبی را اساساً به واسطه یافتن تکنولوژی‌هایی در حد بضاعت مالی مردم برآورده می‌ساختند که می‌توانستند با این کار ذخایر آبی را افزایش دهند. بنابراین مدیریت تقاضای آب به عنوان رویکردی جدید جلوه نموده و متعاقب آن نیز اصلاح تعرفه‌ها می‌بایست به نحوی صورت پذیرد که در آن آب به عنوان یک دارایی ارزشمند تلقی گردد. همچنین با رشد سریع جمعیت، مدیریت پایدار آب که بتواند در برگیرنده فقیرترین افراد جامعه نیز باشد؛ به امری ضروری برای حیات بشر درآمده است.

در نتیجه اجرای سیاست منابع آب بانک جهانی در سال ۱۹۹۳، اعطای وام برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌های آب اغلب مستلزم اجرای برخی روش‌های اصلاح تعرفه‌های آب شرب است (بوستانی، انصاری، ۱۳۹۰). Macupadia و همکاران (۲۰۰۱) به نقل از صالح نیا و همکاران (۱۳۸۶)، در یک بررسی بر روی تغییرات مصرف سرانه خانگی آب در کویت، درآمد خانوار، بُعد خانوار و... را عواملی تأثیرگذار دانسته و مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی را برای پیش‌بینی مدیریت مصرف و تقاضای آب مورد استفاده قرار دادند. Memon و Butler (۲۰۰۶) نیز پتانسیل‌ها و شرایط عمومی اجرای مدیریت تقاضای آب را بررسی کردند. تدوین تعرفه‌ها به عنوان ابزاری برای کنترل مصرف نیز توسط Sandbach در ۲۰۰۴ صورت گرفت. البته نتایج حاصل از این تحقیقات در حالت کلی و آموزه‌ای مفید بوده ولی با توجه به اینکه قیمت‌گذاری و تعرفه‌ها ریشه در فرهنگ و شرایط معیشتی مردم یک جامعه دارد؛ نمی‌توان از نتایج این تحقیقات به طور مستقیم در مطالعات آب‌بهای کشورمان بهره برد. با وجود سابقه کم مدیریت آب به خصوص در بخش شرب، اتخاذ روش‌هایی چون کنترل نشت، مدیریت فشار، اعطای تجهیزات

مجانی به مصرف‌کنندگان و ساختار جدید تعرفه در بخش شرب از راه کارهای ممکن در مدیریت تقاضا و کنترل مصرف می‌باشد (Garcia و Reynaud, ۲۰۰۴). وجود امور زیربنایی متمرکز و یا خدمات گسترده آبرسانی از جانب شرکت‌های متولی آبرسانی تأثیر بسزایی در مدیریت مصرف و به تبع آن مدیریت تقاضا خواهد داشت (Vanvliet و همکاران، ۲۰۰۵).

Memon و Butler (۲۰۰۶)، نشان دادند که طیف وسیعی از متغیرهای اقتصادی-اجتماعی و جمعیتی-اجتماعی وجود دارند که بر میزان تقاضای آب تأثیرگذارند که مهم‌ترین آن‌ها بُعد خانوار و سن افراد می‌باشد. Tylor و Downward (۲۰۰۷)، به این مطلب اشاره داشتند که پیش‌بینی تقاضای شرب خانگی و تعیین عوامل موثر بر مصرف آب، در توسعه برنامه‌ریزی‌های مربوط به خانوارهای کشورهای اروپایی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. Ansari و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی مدیریت تقاضا و وزن‌دهی فاکتورهای مرتبط در کشور اردن پرداختند. قسمت عمده‌ای از آب مصرفی این خانوارها از منابع آبی با کیفیت بالا تأمین می‌شود و موازنه آن با میزان تقاضا در بیشتر مناطق، منفی است. تابش و همکاران (۱۳۸۷)، نشان دادند که روش‌های نروزمانی و سری‌های زمانی در تخمین میزان تقاضا روش‌هایی بسیار کارآمد می‌باشند. روش نروزمانی با الگو گرفتن از شبکه‌های پرسپترون (عصبی) و شبکه‌های چندلایه به برآورد میزان تقاضا می‌پردازد.

بررسی مطالعات در نهایت نشان می‌دهد متغیرهای زیادی از جمله متغیرهای مرتبط با عرصه و اعیان، وسائل و تجهیزات مدیریت فشار و ذخیره آب، پارامترهای اقلیمی، خصوصیات سیستم توزیع حتی مشخصه‌های فرهنگی-اقتصادی و اجتماعی مشترکان، شرایط مصرف در دوره‌های قبل؛ بر مصرف بلندمدت مشترکان آب شرب موثر می‌باشد. در تمامی مطالعات تفاوت‌های کمی و کیفی موجود است که در مطالعات به آن‌ها اشاره مستقیم نشده است و از جمله عوامل تأثیرگذار بر مصرف آب شرب در بازه‌های زمانی مختلف می‌باشند. در مطالعات انصاری و صالح‌نیا (۱۳۹۳)، ابعاد و عوامل موثر بر تقاضا - که می‌تواند برای پژوهش‌ها با روش‌های آماری موجود (رگرسیون و توابع نرمال و آزمون‌های آماری معیار) مورد استفاده محققین قرارگیرند- با توجه به گستردگی و میزان اهمیت، طبق جدول (۱) دسته‌بندی شده است.

جدول ۱- دسته بندی عوامل موثر بر تقاضا آب شرب در مطالعات انصاری و صالح‌نیا (۱۳۹۳)

گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴
قیمت آب	قیمت آب	متوسط تعرفه آبی	قیمت آب
عمر بنا (تعداد اتاق / استخر)	وسایل ذخیره آب در بنا	وجود توريسم	درآمد خانوار
نوع مالکیت	درجه حرارت و بارندگی	تعداد افراد خانوار	بُعد متوسط (سن خانوار)
بُعد خانوار	فاصله از مرکز شهر	متوسط درجه حرارت ماهانه	مساحت حیاط و باغچه
بودن یا خالی از سکنه	وضعیت اقتصادی و اشتغال	تراکم جمعیتی مناطق	نحوه مالکیت

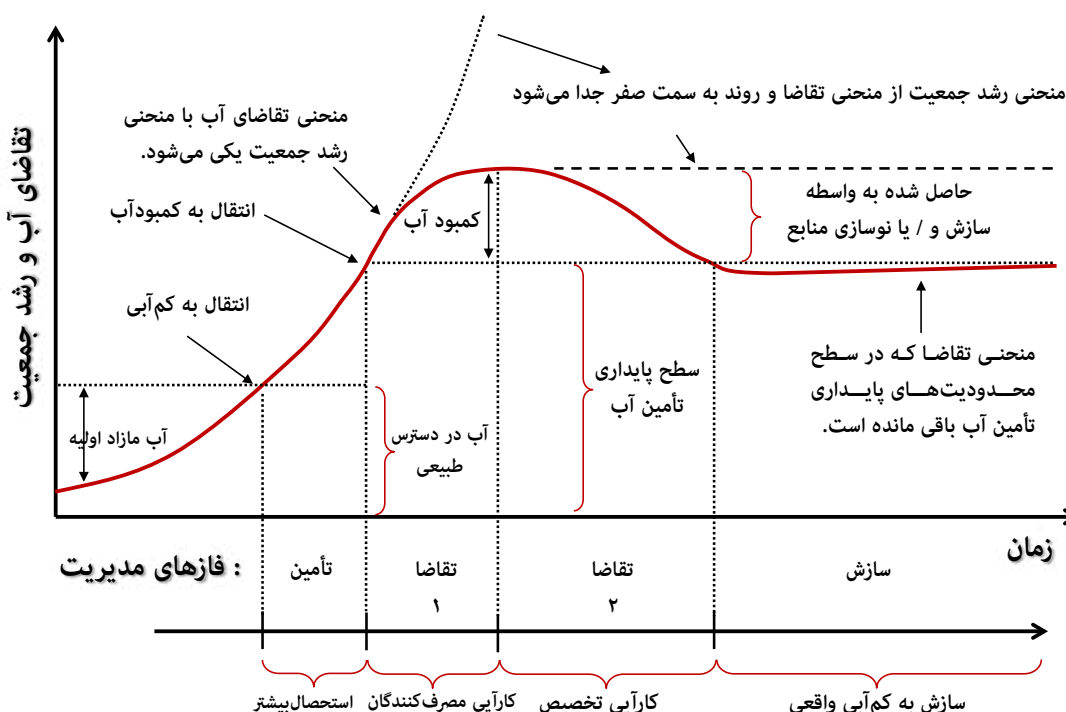
در کشور ما نیز در زمینه تقاضای آب و تخمین توابع تقاضا کارهایی انجام شده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. صدر و همکاران (۱۳۷۳) بر مبنای آمار سری زمانی و مدل لگاریتمی به بررسی تابع تقاضای آب مصرفی در شهر تهران پرداختند. محمدی دینانی و همکاران (۱۳۷۹) دریافتند که زیربنای واحد مسکونی، تأثیر مثبت و معنی‌داری با میزان مصرف آب هر خانوار دارد و وجود باغچه (مصرف خارج از منزل)، بر مصرف آب سرانه هر خانوار تأثیر چندانی ندارد. خوش اخلاق و همکارانش (۱۳۸۰)، در مطالعه‌ای به برآورد تابع تقاضای آب شهر تهران پرداخته‌اند و توابع تقاضای ۵ منطقه مصرفی آب این شهر مشتمل بر ۱۷ حالت را تخمین زدند. نظرزاده و همکاران (۱۳۸۲)، در زمینه مدیریت تقاضای آب شهر کاشان تحقیقی را انجام و نشان دادند که آگاهی‌ها و نگرش‌های مردم نسبت به آب در رفتار آن‌ها به سمت صرفه‌جویی در مصرف آب تأثیر بسزایی دارد.

بحث و بررسی

مدیریت مصرف و تقاضا به هر فعالیت اجتماعی و غیر اجتماعی اطلاق می‌شود که متوسط (حداکثر) مصرف یا برداشت آب از منابع را با حفظ کیفیت آب کاهش داده و یا اصلاح کند (Herbertson و Tate، ۲۰۰۱). اجرای یک استراتژی توسط یک نهاد آبی به منظور رسیدن به اهدافی از قبیل کارایی اقتصادی، توسعه اجتماعی،

تابش و دینی (۱۳۸۹)، اظهار داشتند که پیچیدگی و تأثیر عوامل و پارامترهای مختلف بر میزان تقاضای آب در سیستم‌های آبرسانی شهری سبب شده است که روش‌های تحلیلی و ریاضی کارایی لازم را در این زمینه نداشته باشد، بنابراین آن‌ها روش شبکه‌های عصبی مصنوعی را برای برآورد تقاضای روزانه آب شهر تهران بکار بردند. سجادی‌فر و خیابانی (۱۳۹۰)، به وجود رابطه بین متغیرهای جوی نظیر میزان بارندگی و درجه حرارت با میزان مصرف آب خانگی پی بردند. انصاری و صالح‌نیا (۱۳۹۳)، در بررسی مصرف آب شهر نیشابور به این نتیجه رسیدند که مصرف بلندمدت مشتریان و تقاضای هر شهر به پارامترهایی بیشتر حساس می‌باشد که در خصوص نیشابور، بیشتر به فشار شبکه حساس می‌باشد. مشخص است که در اکثر مطالعات، در نهایت پیش‌بینی تقاضای آب بخش خانگی به دلیل فقدان داده‌های تجربی مرتبط با مصرف آب شرب شهری، امری بسیار دشوار است.

حفاظت از محیط زیست و پایداری منابع، مدیریت تقاضا را تشکیل می‌دهد. این بخش از مدیریت، منابع آب را بهبود بخشیده، سود حاصل از یک بهره‌برداری معین را افزایش داده و هزینه‌ها را در جهت رسیدن به منابع خاص کاهش می‌دهد. یکی از اهرم‌های مدیریت تقاضا تعیین میزان تقاضای آب مصرفی با کمک توابع تقاضا می‌باشد. در حقیقت مدیریت تقاضای آب شامل چندین مرحله می‌باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- شماتیک فازهای تاریخی رشد تقاضا و تأمین آب (انصاری، ۱۳۹۶)

در صورتی که تلاش برای کنترل تقاضا موفق نباشد، مدیران منابع آب مجبورند فعالیت‌های شدیدتری انجام دهند و سیاست تخصیص مجدد منابع آب به مصرف‌کنندگان با کارایی بیشتر (کارایی تخصیص) را از طریق روش‌های مناسب قیمت‌گذاری و با

در نظر گرفتن رفاه کل اجتماعی اجرا کنند (شکل ۱). در حال حاضر در کشورهای عرب همسایه و خاورمیانه، اکثر کشورها برنامه‌هایی را برای هدفمند کردن تقاضا و اصلاح تعرفه‌ها انجام داده‌اند که برخی از این اقدامات در جدول (۲) آمده است:

جدول ۲- بررسی اقدامات مدیریت مصرف در برخی کشورهای منطقه

کشور	اقدامات مدیریت مصرف
بحرین	نظام این کشور برنامه‌های هشداردهنده معرف عمومی و کمبود منابع را به اجرا درآورده و با وضع قوانین جدید در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در جهت کاهش مصرف (برداشت)، تعرفه‌های جدید مصرفی را وضع کرده است.
مصر	با توجه به این که این کشور عربی از دیرباز در بخش منابع آب مصرفی شرب و آب آبیاری کشاورزی قوانینی را وضع کرده بود که این قوانین به بیش از ۲۰ سال پیش باز می‌گردد، هم اینک با تکیه بر خصوصی سازی در این بخش به وزارت منابع آبی و آب آبیاری، سیاست‌های جدیدی را برای خصوصی سازی ابلاغ کرده است.
اردن	در سال ۱۹۹۷ میلادی این کشور یک استراتژی جامع مدیریت تقاضای آب مصرفی برای کشور خود ارائه داد. در این برنامه علاوه بر تکیه بر سیستم‌ها و تبلیغات هشداردهنده مصرف آب، در دیارتمان‌ها و آژانس‌های منشعب از وزارت آب در بخش خصوصی، سیاست‌ها و قوانینی را برای اجرا در محدودیت استفاده مازاد بر الگوهای مصرف در بخش آب شرب و کشاورزی تاکید شده است.
نوار غزه	با توجه به وضعیت بحرانی این منطقه، تمامی تصمیمات به اوضاع سیاسی همان زمان منطقه برمی‌گردد و با این تغییر، مسئولین هر دو بخش این کشور قوانینی منعطف با اصلاح تعرفه‌ها پایه‌گذاری کرده‌اند تا در مواقع بحرانی، تعرفه‌ها و الگوهای مصرف تغییر کرده و در زمان صلح و عاری از تنش این وضعیت به حالت قبلی خود بازگردد (Decaluwe و همکاران، ۱۹۹۹).

در مطالعات انجام شده توسط سازمان ملل متحد در کشور سنگاپور، حداقل آب مصرفی هر شهروند برای حفظ بهداشت و سلامت جامعه ۹۹ لیتر در روز تعیین گردید. اما در کشور ما بر طبق برنامه سوم توسعه، الگوی مصرف آب هر خانوار ۲۲/۵ متر مکعب در ماه تعیین شده است که هر نفر به طور متوسط در شبانه‌روز می‌تواند ۱۵۰ لیتر آب مصرف نماید (حسینی و کریمی، ۱۳۸۱). با توجه به رشد بی رویه شهرنشینی در کشور، آمار چند سال اخیر مصرف سرانه، به طور متوسط ۲۵۰ تا ۳۰۰ لیتر در شبانه‌روز را نشان می‌دهد. در سال ۱۳۷۳ متوسط تقاضای سرانه آب شهری در کشور برابر ۲۴۲ لیتر نفر روز بوده است. در سال ۱۳۷۹، فقط ۴۷ درصد مشترکان کشور کمتر از الگوی مصرف، آب مصرف کرده و در مجموع ۲۴ درصد آب شرب تولیدی در کشور را به کار بردند (تجربیشی و ابریشم چی، ۱۳۸۳).

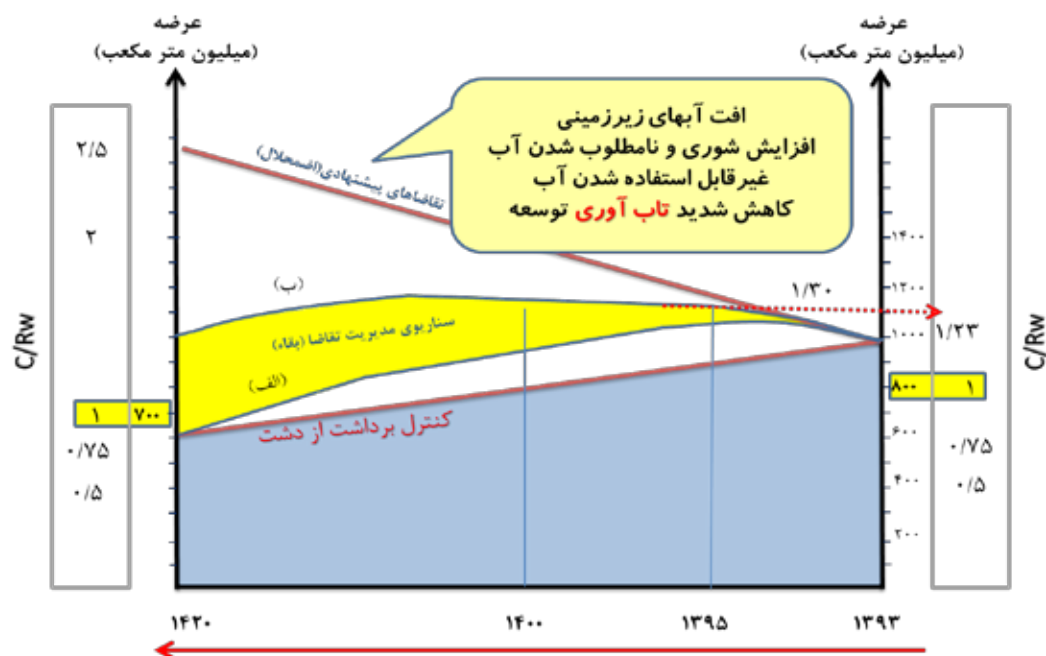
محدوده مطالعاتی مشهد یکی از پهناورترین محدوده‌های مطالعاتی استان خراسان رضوی می‌باشد. به علاوه، به دلیل قرارگیری شهر مشهد در این محدوده مطالعاتی، به لحاظ اجتماعی، اقتصادی و سیاسی مهم‌ترین محدوده مطالعاتی استان نیز محسوب می‌گردد. با ادامه روند توسعه فعلی محدوده مطالعاتی مشهد، میزان تقاضای آب در سال ۱۴۲۰ بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده شرکت آب و فاضلاب مشهد از دستگاه‌های اجرایی در جدول (۳) ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، با فرض مصرف آب مشابه با شرایط موجود، میزان تقاضا در افق ۱۴۲۰ در حدود ۱۵۶۵ میلیون متر مکعب و با فرض افزایش ۵٪ مصرف آب به دلیل گرم شدن هوا تحت تأثیر تغییر اقلیم، این میزان ۱۶۱۵ میلیون مترمکعب پیش‌بینی می‌گردد.

جدول ۳- میزان تقاضای آب محدوده مطالعاتی مشهد در افق ۱۴۲۰ (میلیون متر مکعب)

نوع تقاضا	مصرف آب مشابه شرایط موجود	با فرض افزایش ۵٪ مصرف آب به دلیل گرم شدن هوا
نیاز آبی سکونت‌گاه‌های واقع در محدوده مشهد (به جز شهر مشهد)	۱۳۶	۱۳۶
نیاز آبی شهر مشهد (به جز فضای سبز)	۴۰۰	۴۰۰
کشاورزی (با فرض سطح زیر کشت ثابت)	۹۱۸	۹۶۴
فضای سبز (مشهد ۵۲/۴ + سایر شهرها ۱۱/۹)	۶۴	۶۸
صنعت (برآورد غیر مستند)	۴۷	۴۷
جمع کل	۱۵۶۵	۱۶۱۵

را در مدیریت تقاضا و کنترل برداشت تحت روش‌های مختلف مدیریتی را نشان می‌دهد. بر اساس مستندات ارائه شده آب منطقه‌ای خراسان رضوی، میزان برداشت‌های کنونی حدود ۱۱۳۰ میلیون متر مکعب و برداشت‌ها در افق ۱۴۲۰ معادل ۱۷۶۵ میلیون متر مکعب فرض گردیده است. علاوه بر این، بایستی دقت کرد که مقادیر آب تجدیدپذیر در محورهای عمودی سمت راست (سال ۱۳۹۳) و سمت چپ (سال ۱۴۲۰) متفاوت خواهند بود. در واقع با توجه به گرمایش تدریجی و تغییر رژیم بارندگی (کاهش شدید ذخایر برفی کوهستانی) میزان آب تجدیدپذیر از حدود ۸۰۰ میلیون متر مکعب در حال حاضر به حدود ۷۰۰ میلیون متر مکعب (با ۱۵٪ کاهش) خواهد رسید. به همین دلیل برای رسیدن به شاخص C/RW برابر با یک، میزان عرضه در این دو سال با هم متفاوت است. لازم به ذکر است که سطح زیر منحنی کنترل برداشت (پایین‌ترین منحنی) میزان برداشت از آبخانه زیرزمینی را نشان می‌دهد.

در مطالعه‌ای دیگر (کارگروه تدبیر آب مشهد، ۱۳۹۴) نشان می‌دهد که در افق ۱۴۲۰، حدود ۱۰۰۰ میلیون متر مکعب تفاوت میان تقاضا و آب قابل تخصیص وجود دارد (یعنی حدود ۵۹٪ تقاضا!). در واقع بررسی مقدار نسبت C (مصرف) به RW (آب تجدیدپذیر) در دشت مشهد در سال ۱۳۹۰ نشان داد که این شاخص به حدود ۱/۲۳ رسیده و دشت مشهد در شرایط بحرانی کامل می‌باشد. باتوجه به میزان تقاضاهای گزارش شده، در افق ۱۴۲۰ این نسبت ۲/۵ برابر اعلام شده است (کارگروه تدبیر آب مشهد، ۱۳۹۴). پیش‌بینی شده است که روند افزایش C/RW در مقدار ۱/۳ تا سال ۱۳۹۵ کنترل شده و پس از آن روند کاهشی یافته و این نسبت در سال ۱۴۰۰ به ۱ و سپس در افق ۱۴۲۰ به ۰/۷۵ برسد. یادآوری می‌شود بر اساس جلسه شورای عالی آب کشور سقف تخصیص از منابع آب زیرزمینی معادل ۷۵ درصد آب تجدیدپذیر می‌باشد (کارگروه تدبیر آب مشهد، ۱۳۹۴). در شکل (۲)، فضای زرد رنگ توانایی مدیران



شکل ۲- روند عرضه و سناریوی مدیریت تقاضا (کارگروه تدبیر آب مشهد، ۱۳۹۴)

که در آن $Q_{(i,t)}$ همان مصرف آب بر حسب متر مکعب برای خانوار i در زمان t است. $P_{(i,t)}$ بردار متغیر قیمت است. $H_{(i)}$ یک بردار ویژه اجتماعی است (بعد خانوار و فرهنگ و مسائل اقتصادی). $\xi_{(i,t)}$ همان عبارت خطای استاندارد در آمار است. a, b, c ضرایب تخمین زده شده هستند.

از مطالعات گزارش‌ها و پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت، تقاضای آب نسبت به قیمت، کم کشش است. بدین مفهوم که کشش قیمتی تقاضای آب کمتر از یک است. در هر حال مفهوم کشش قیمت برای تعیین تعرفه‌ی آب در بسیاری از شهرها استفاده

مدل تقاضای آب شهری:

تعیین میزان تقاضای آب شهری پیش‌نیاز طراحی سیاست‌های تقاضامحور آب می‌باشد. برای تخمین تقاضای آب شهری روش‌های متنوع و روش‌های اقتصادی گوناگونی بر اساس داده‌های در دسترس و طبیعی استفاده می‌شود. تخمین میزان تقاضای آب معمولاً به صورت تابعی از $Q = f(P, H)$ است. منظور از Q میزان تقاضای آب، P قیمت آب و H نسبت خانوار می‌باشد. مدل اقتصادی که برای تقاضای آب شهری استفاده می‌شود، از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$Q_{(i,t)} = a + bP_{(i,t)} + cH_{(i)} + \xi_{(i,t)} \quad (1)$$

می‌شود و براساس آن تعرفه‌های معقول و مؤثری حاصل گردیده است. در یک نمونه در هاوایی افزایش ۴۰ درصدی قیمت موجب ۱۰ درصد کاهش مصرف گردید. البته، این افزایش قیمت مربوط به مدیریت توزیع آب در دوره خشکسالی بوده است (انصاری، ۱۳۸۹). سه سناریو «خوش‌بینانه» (برآورد غیر محافظه‌کارانه آب تجدیدپذیر و تعدیل مصرف)، «بر اساس اطلاعات آمایش» و «بدبینانه»، در تبیین وضعیت حاضر و آینده (افق ۱۴۲۰) مدیریت تقاضای آب مصرفی می‌تواند ارائه گردد. سه سناریو مذکور تا افق ۱۴۲۰ و ۱۴۵۰ مورد توجه

قرار می‌گیرد که در هر سه سناریو افزایش تقاضا بایستی مد نظر قرار گرفته و مورد بررسی قرار گیرد. اما این سه سناریو در برآورد منابع آب تجدیدپذیر و راندمان مصارف با یکدیگر تفاوت دارند. سناریوی اول: ثابت ماندن منابع آب دشت؛ سناریوی دوم: کاهش منابع آب تحت اثر گرمایش جهانی؛ و سناریوی سوم: افزایش منابع تحت اثر انتقال بررسی خواهد شد. در نهایت سناریوی شمای کلی مدیریت تقاضای آب شرب مشهد با اتخاذ سیاست‌های فعلی باید سناریو "بقا" باشد. اطلاعات جدول (۴) براساس سناریوی سوم پیش‌بینی و برآورد شده است.

جدول ۴- میزان تقاضای آبی سالانه شهر مشهد (آمار دفتر مهندسی آبفای کشور، ۱۳۹۳)

شرح	سال ۱۳۹۵	سال ۱۴۰۰	سال ۱۴۰۵	سال ۱۴۱۰	سال ۱۴۱۵	سال ۱۴۲۰
جمعیت (نفر)	۳۱۲۶۰۰۰	۳۵۰۶۸۰۰	۳۸۶۸۰۰۰	۴۲۲۶۸۰۰	۴۵۸۰۴۰۰	۴۹۴۹۳۰۰
سرانه کل مصرف آب LPCD	۲۱۸	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۴	۲۱۲	۲۰۸
متوسط نیاز آبی جمعیت ساکن MCM	۲۴۹/۵	۲۷۶/۵	۳۰۵	۳۳۰/۲	۳۵۴/۲	۳۷۵
سرانه زائر (لیتر در روز)	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵
حجم آب مورد نیاز زائر MCM	۸/۶	۱۰/۲	۱۲/۲	۱۴/۵	۱۷/۴	۲۱/۲
متوسط کل نیاز آبی شهر مشهد MCM	۲۵۸/۱	۲۸۶/۷	۳۱۷	۳۴۴/۷	۳۷۱/۸	۳۹۶

پیش‌بینی‌های اولیه رشد تقاضای آب براساس شرایط ویژه شهر مشهد تا افق ۱۴۲۰ بیانگر آن است که حداقل نیاز آب شرب، فضای سبز و صنایع مجاز این شهر به همراه روستاها و سه شهر طبقه، شاندیز و چناران حداقل یک میلیارد متر مکعب خواهد بود؛ این درحالی است که کل آب تجدیدپذیر دشت به طور خوشبینانه حدود ۱/۲ میلیارد متر مکعب در سال می‌باشد (کارگروه تدبیر آب مشهد، ۱۳۹۴). این وضعیت در کنار پیش‌بینی‌های نتایج تغییر اقلیم نحوه تأمین آب را برای این کلان شهر مذهبی (با عدم تبعیت زائران از یک برنامه زمانی مشخص) پیچیده‌تر می‌نماید. در این میان و با توجه به پیچیدگی‌های

نحوه و میزان تأمین منابع آبی شهر مشهد، محتمل‌ترین و اجرایی‌ترین روش در تأمین کفایت منابع آبی، مدیریت و تعادل‌بخشی و کاهش تقاضای آب در حوزه شهری می‌باشد. راه‌های پیشنهادی بهبود مدیریت تقاضای آب شهری را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- تعیین تابع تقاضای آب مصرفی مشترکان با توجه به متغیرهای زمانی و مکانی و تعیین حداکثر مصرف.
- تعیین پراکندگی و چگونگی تغییرات مصرف سرانه مشترکان.
- ارائه راهکارهای مناسب در جهت مدیریت بهینه تقاضای آب مصرفی مشترکان.

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

پیشنهاد می‌گردد تا در جهت مدیریت بهینه مصرف، ابتدا روند تقاضاهای گذشته و سپس شرایط تغییر روند تقاضاهای موجود در چشم انداز ۱۴۲۰ بطور جامع مورد بررسی قرار گیرد. میزان عرضه منعکس کننده آب تجدیدپذیر، میزان منابع موجود و میزان تقاضا منعکس کننده رفتار مصرف کنندگان به نسبت منابع خواهد بود. فهم فاکتورهای مؤثر بر عرضه و تقاضا در گذشته، به مدیران کمک خواهد نمود تا حالت‌های مختلف عرضه و تقاضا در آینده را شناسایی نمایند. اتخاذ روش‌هایی چون کنترل نشت، مدیریت فشار، اعطای تجهیزات مجانی به مصرف‌کنندگان و ساختار جدید تعرفه در بخش شرب نیز از راه‌کارهای ممکن در مدیریت تقاضا و کنترل مصرف می‌باشند. مدیریت مصرف در یک شبکه با بکارگیری توأمان روش‌های

اجرایی زیر امکان پذیر خواهد شد (شکل ۳):



شکل ۳- راهکارهای مدیریت مصرف در شبکه‌های توزیع آب شهری

در پایان پیشنهاد می‌شود تا برای تدوین و بهبود مدیریت مصرف، مجموعه‌ای از فعالیت‌ها و تخصص‌ها در قالب یک کارگروه که هم دارای توانایی فنی و تخصصی و هم دارای اهرم‌ها و قدرت اجرایی باشند در زیرمجموعه‌های ارگان‌های مسئول و ذی‌ربط (وزارت نیرو) ساماندهی شوند.

پی‌نوشت

1-Consumption

2-Renew water

منابع

- انصاری، ح. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی روش‌های موجود قیمت‌گذاری آب در بخش کشاورزی جهت انتخاب مناسب‌ترین روش تدوین تعرفه‌های آب کشاورزی، طرح پژوهشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.
- انصاری، ح. و صالح‌نیا، ن. ۱۳۹۳. ارزیابی پارامترهای موثر بر مصرف آب شرب شهری با استفاده از تکنیک تست گاما، مجله آب و فاضلاب، (۱): ۲-۱۳.
- بوستانی، آ. و انصاری، ح. ۱۳۹۰. بررسی مدیریت تقاضای آب در راستای هدفمند کردن تعرفه‌های مصرفی، مجله نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، ۹(۳۳): ۴۸-۵۲.
- تابش، م. و دینی، م. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تقاضای روزانه آب شهری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مطالعه موردی: شهر تهران. آب و فاضلاب، ۱: ۸۴-۹۵.
- تابش، م.، دینی، م.، خوش‌خلق، ع.ج. و زهرائی، ب. ۱۳۸۷. برآورد مصرف روزانه آب تهران با استفاده از سری‌های زمانی. تحقیقات منابع آب ایران، ۴(۲): ۶۵-۵۷.
- تجریشی، م. و ابریشم‌چی، ا. ۱۳۸۳. مدیریت تقاضای منابع آب در کشور، مجموعه مقالات کنفرانس روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع ملی: ۲۴-۳۹، فرهنگستان علوم، تهران، ایران.
- حسینی، ش. و کریمی، ب. ۱۳۸۱. قیمت‌گذاری آب آبیاری: بررسی ادبیات موضوع، ویراسته فریود، نعمت اله، چاپ اول، تهران، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- خوش‌اخلاق، ر.، صمدی، س.، عمادزاده، م. و هادی‌زاده خیرخواه، ح. ۱۳۸۰. برآورد تابع تقاضای آب شهر تهران، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۹: ۱۰۹-۱۲۸.
- سجادی‌فر، س.ح. و خیابانی، ن. ۱۳۹۰. مدل‌سازی تقاضای آب خانگی با استفاده از روش مدل عوامل تصادفی، مطالعه موردی شهر اراک، مجله علمی-پژوهشی آب و فاضلاب، ۲۲(۳): ۵۹-۶۸.

صالح‌نیا، ن.، فلاحی، م.ع.، انصاری، ح. و داوری، ک. ۱۳۸۶. بررسی تعرفه‌های آب شرب شهری و تأثیر آن بر الگوی مصرف آب مشترکان، مجله آب و فاضلاب، ۱۸(۳): ۵۰-۵۹.

صدر، ک.، عبدیان، م. و خدارحمی، ر. ۱۳۷۳. برآورد تابع تقاضای آب شهر تهران، مجله آب و فاضلاب، ۱۳: ۴۷-۵۸.

کارگروه تدبیر آب مشهد (دانشگاه فردوسی، آب‌فای شهری و روستایی و شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی). ۱۳۹۴. سند تدبیر آب مشهد.

محمدی دینانی، م. و اکبری، ح. ۱۳۷۹. تخمین تابع تقاضای آب شرب در کرمان، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۷: ۶۷-۷۷.

نظرزاده، م.، ابریشم‌چی، ا. و تجریشی، م. ۱۳۸۲. ارزیابی نگرش و نیات رفتاری شهروندان کاشان نسبت به آب شهری، مجله آب و فاضلاب، ۴۶: ۲۱-۲۸.

- Al Ansari N, Alibrahiem N., Alsaman M. and Sven Knutsso. 2014. Water Demand Management in Jordan. Engineering, 6(1): 19-26.
- Decaluwe B., Party A. and Savard L. 1999. When Water Is No Longer Heaven Sent: Comparative Pricing Analysis In an AGE Model. Working Paper, Economic Department, University Laval.
- Downward S.R. and Taylor R. 2007. An Assessment of Spain Programma AGUI & its Implications for Sustainable Water Management in the Province of Almeria, J.Environ.Manag., 82: 277-289.
- Garcia S. and Reynaud A. 2004. Estimating the Benefits of Efficient Water Pricing in France. Journal of Resource and Energy Economics, 26: 1-25.
- Herbertson P.W. and Tate E.L. 2001. Tools for water use and demand management in South Africa. Secretariat of the World Meteorological Organization.
- Memon F.A. and Butler D. 2006. Water Consumption Trend & Forecasting Techniques. Water Demand Management, IWA Publishing, London.
- Sandbach J.N. 2004. Ramsey Pricing Versus EPMU for Regulation of Firms Operating in Competitive and non-Competitive Markets, The Economics of Electronic Communication Markets, Toulouse, October 15-16.
- VanVliet B., Chappells H. and Shove E. 2005. Infrastructures of consumption, environmental innovation in the utility industries, Earthscan, London.

Evaluation of Agricultural Water Productivity Indices in Major Field Crops in Mashhad Plain (Technical Note)

M. Karimi^{1*}, M. Jolaini²

1,2- Assistant professor and Associate professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.

*(Corresponding author Email: karimi.irri@gmail.com)

Received: 05-01-2016

Accepted: 24-11-2016

بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی، مطالعه موردی: دشت مشهد (یادداشت فنی)

محمد کریمی^{۱*}، محمد جلینی^۲

۱ و ۲- به ترتیب استادیار و دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۰۴

Abstract

In this research, by studying the water productivity of agricultural crops cultivated in the Razavi Khorasan Province, strategies have been proposed to improve the crop pattern. To calculate the agricultural water productivity the CPD, BPD, and NBPD indices are used. To determine these parameters it is necessary to calculate the expenditure and income from the cultured products. The required information was obtained through interviews with experts, farmers, and the Statistical Yearbook of the agricultural sector (Razavi Khorasan Province) in the year 2013. The net water requirement for each crop was calculated using the NETWAT software and the gross water requirement, or the volume of water consumption per hectare, for each crop was determined on the basis of the average water application efficiency in farms in the Razavi Khorasan Province, which is 50.2 percent. The results showed that the priority of the culture of crops based on the CPD index is onions, tomatoes, and sugar beets. Based on the BPD and NBPD indices the priority becomes potatoes, onions, and tomatoes. Based on the results of this study, it is suggested that the crops with high water consumption and lower economic efficiency, such as alfalfa, should be removed from the cropping pattern. This will both reduce consumption and water extraction as well as guaranteeing high economic profits for the farmers.

Keywords: Index, Water productivity, Agriculture, Mashhad Plain.

چکیده

در این مقاله با بررسی بهره‌وری آب کشاورزی محصولات مهم زراعی در دشت مشهد، راهکارهایی در جهت ساماندهی الگوی زراعی ارائه شده است. برای محاسبه بهره‌وری آب کشاورزی از شاخص عملکرد به ازای واحد حجم آب (CPD)، شاخص درآمد به ازای واحد حجم آب (BPD) و شاخص بازده خالص به ازای واحد حجم آب (NBPD) استفاده شده است. جهت تعیین این شاخص‌ها نیاز به محاسبه هزینه و درآمد محصولات اصلی کشت شده بود که اطلاعات لازم با استفاده از سالنامه آماری بخش کشاورزی استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۲ بدست آمد. نیاز آبی خالص هر محصول با استفاده از نرم افزار NETWAT محاسبه شد و نیاز ناخالص آبی در هکتار برای هر محصول بر اساس متوسط راندمان کاربرد آب در مزارع استان خراسان رضوی که ۵۰/۲ درصد می‌باشد، محاسبه گردید. نتایج نشان داد که اولویت کشت محصولات تا رتبه سوم بر اساس شاخص CPD به ترتیب پیاز، گوجه‌فرنگی و چغندرقتد و بر اساس شاخص‌های BPD و NBPD به ترتیب سیب زمینی، پیاز و گوجه‌فرنگی می‌باشند. با توجه به نتایج این تحقیق، کشت‌های با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پائین مانند یونجه بایستی از الگوی کشت حذف شود. این کار هم باعث کاهش مصرف و استحصال آب شده و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص، بهره‌وری آب، کشاورزی، دشت مشهد.

یکی از موثرترین راهکارهای مقابله با بحران آب و افزایش کمی و کیفی تولیدات در بخش کشاورزی توجه جدی به بهره‌وری آب و ارتقای آن با اعمال روش‌ها و سیاست‌های مناسب می‌باشد. از این‌رو بهره‌وری آب کشاورزی یکی از مهمترین موضوعاتی است که در سال‌های اخیر مورد توجه جدی مجامع علمی مرتبط با آبیاری و کشاورزی قرار گرفته است. بهره‌وری آب کشاورزی (WP)^۱ شاخص مناسبی برای ارزیابی مدیریت کشاورزی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. اختلاف در بهره‌وری آب محصولات مختلف در سطح کشور و همچنین در مقایسه با سایر کشورها با شرایط اقلیمی مشابه، نشان دهنده وجود پتانسیل برای افزایش بهره‌وری آب کشاورزی است. این مهم حتی در بین کشاورزان یک منطقه نیز که مدیریت‌های متفاوتی را اعمال می‌کنند، قابل مشاهده است. بنابراین، با توجه به نیاز بالای بخش کشاورزی به آب از یک سو و کاهش کمی و کیفی منابع آب از سوی دیگر، لازم است در جهت ارتقاء بهره‌وری آب گام‌های مؤثری برداشته شود. برای نیل به این هدف می‌بایست از طریق اجرایی نمودن نتایج تحقیقات در زمینه‌ی راهکارهای به‌نژادی و به‌زراعی و کاربرد مناسب آب آبیاری و همچنین استفاده از تجربیات بهره‌برداران پیشرو عمل نمود. با محدود شدن منابع آبی و اثرات تغییرات اقلیمی در چند دهه اخیر و همچنین افزایش نیاز بخش‌های صنعت، شرب و محیط زیست، مصرف آب در بخش کشاورزی به عنوان مصرف‌کننده اصلی منابع آب، باید به نفع سایر بخش‌ها کنترل شود. بدیهی است پایش این فرآیند نیازمند مؤلفه‌های خاص خود است. در این راستا، شاخص بهره‌وری آب به عنوان یکی از این مؤلفه‌ها در چند سال اخیر در برنامه‌ریزی‌های ملی مورد توجه قرار گرفته است. افزایش بهره‌وری، به ویژه از دیدگاه تولید به ازای واحد مصرف آب به طور مستقیم یا غیرمستقیم می‌تواند راهکار مهمی برای بهبود معیشت جوامع محلی باشد. خوشبختانه بهره‌وری مصرف آب در کشور طی ۱۰ سال گذشته روند صعودی داشته است که این روند به معنای اثربخشی فعالیت‌های انجام شده در کشور است. در مجموع، فعالیت‌های انجام شده در کشور در خصوص افزایش تولید و کاهش حجم آب مصرفی دو دلیل اصلی افزایش بهره‌وری آب در کشور بوده است. طی سال‌های اخیر تحقیقات مفیدی با هدف بازبینی و بررسی مقادیر بهره‌وری آب کشاورزی در نقاط مختلف دنیا به انجام رسیده است.

خزائی (۱۳۷۸) بر لزوم افزایش بهره‌وری آب کشاورزی تاکید و عنوان می‌کند که بهره‌وری آب کشاورزی در حال حاضر وضعیت مطلوبی نداشته و در مقایسه با بخش‌های دیگر در سطح نازلتری قرار دارد. ایشان راندمان پائین آبیاری را عاملی برای پایین ماندن بهره‌وری دانسته و عنوان نموده که لازم است ضمن افزایش

راندمان، بهره‌وری آب کشاورزی نیز ارتقاء یابد. نتایج تحقیقات در شبکه‌های اصفهان نشان داد که بهره‌وری اقتصادی آب در این شبکه‌ها حدود نصف مقدار نظیر آن در جهان است (اکبری و همکاران، ۱۳۸۲). جوان و فال سلیمان (۱۳۸۷) با مطالعه بهره‌وری آب کشاورزی در دشت بیرجند نتیجه گرفتند که کشت‌های با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین همانند چغندر قند و یونجه باید از الگوی کشت منطقه حذف و به جای آنها کشت‌هایی نظیر ذرت علوفه‌ای و با تناوب یک ساله‌ای از کشت‌های بومی مانند گندم و ارزن، که هم موجب کاهش استحصال آب و متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان باشد، جایگزین شود. وظیفه دوست و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در مقیاس مزرعه در منطقه برخوار اصفهان در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ نشان دادند که متوسط بهره‌وری آب کشاورزی برای محصولات چغندر قند، آفتابگردان، ذرت علوفه‌ای و گندم به ترتیب ۰/۴۱، ۰/۲۹، ۳/۰۳، ۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. وردی نژاد و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی و برآورد بهره‌وری آب کشاورزی در حوزه آبریز زاینده رود (شبکه آبیاری سمت راست آبشار) نتیجه گرفتند که متوسط بهره‌وری مصرف آب در شبکه برای دو سال ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ به ترتیب ۱/۲۹ و ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. متوسط بهره‌وری براساس محصول پایه گندم در دو سال زراعی ذکر شده به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. براساس هزینه‌های تولید و آب و قیمت فروش محصول، متوسط بهره‌وری اقتصادی آب (سود ناخالص) و سود خالص به ازای واحد آب مصرفی برای سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ به ترتیب ۱۰۶۰/۸ و ۴۱۹/۶ ریال بر مترمکعب و برای سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶، ۲۳۹۲/۹ و ۶۶۶/۷ ریال بر مترمکعب محاسبه شد. بررسی و تجزیه و تحلیل شاخص‌های بدست آمده از این تحقیق نشان داد که عرضه و تقاضا در ماه‌های مختلف سال و نیز توزیع مکانی عرضه به واحدهای آبیاری از توزیع مناسبی برخوردار نمی‌باشد. روستا (۱۳۸۹) با بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در شهرستان مرودشت نتیجه گرفت که کشت‌هایی با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پائین مانند چغندر قند از الگوی کشت منطقه حذف و به جای آنها کشت‌هایی نظیر خیار و ذرت علوفه‌ای و یا تناوب یکساله‌ای از کشت‌های بومی همانند گندم و جو و صیفی جاتی مانند گوجه‌فرنگی که هم باعث کاهش مصرف و استحصال آب و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی باشد، جایگزین شود. بر اساس برنامه‌ریزی‌های بلندمدت تا سال ۱۴۰۴ بهره‌وری آب کشاورزی در کشور باید به حداقل ۲ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب آب افزایش یابد (کشاورز و دهقانی سانچ، ۱۳۹۱). مقادیر بهره‌وری مصرف آب از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲، از ۰/۹۴ تا ۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر و متوسط آن ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب و

متوسط بهره‌وری مصرف آب در سال ۱۳۹۲ در کشور حدود ۱/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). مطالعه روی ۸۴ منبع تحقیقاتی در ۲۵ سال اخیر نشان داد بهره‌وری آب محصولات گندم، برنج، پنبه و ذرت در تمامی موارد از مقادیر گفته شده قبلی توسط FAO بیشتر است. بر اساس نتایج این تحقیق جهانی، متوسط شاخص بهره‌وری آب محصولات گندم، برنج، پنبه (تولید دانه)، پنبه (تولید وش) و ذرت به ترتیب ۱/۰۹، ۱/۰۹، ۰/۶۵، ۰/۲۳ و ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. دامنه شاخص بهره‌وری آب برای محصولات فوق وسیع بوده که برای گندم، برنج، پنبه (تولید دانه)، پنبه (تولید وش) و ذرت به ترتیب برابر با ۰/۶-۱/۷، ۰/۶-۱/۶، ۰/۴۱-۰/۹۵، ۰/۳۳-۰/۱۴ و ۱/۱-۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب آب کاربردی بوده است. آنها تغییرات در مقدار این شاخص را به طور عمده به عوامل اقلیم، مدیریت آبیاری و مدیریت کود نسبت دادند. نتیجه بارز این

تحقیق آن بود که شاخص بهره‌وری آب به مقدار زیادی می‌تواند در صورت کاهش مقدار آب آبیاری و اعمال کم آبیاری افزایش یابد (Bastiaanssen و Zwart، ۲۰۰۴؛ Tuong، ۱۹۹۹). دهقانی سانچ و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که بهبود شیوه‌های مدیریتی آب و خاک در سال‌های اخیر سبب افزایش مقادیر WP شده است. کاربرد روش‌های جدید آبیاری از جمله آبیاری بارانی و قطره‌ای، با توجه به بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه، WP را معمولا افزایش داده است. در ترکیه، متوسط دامنه تغییرات WP ذرت بین ۱/۶۵ تا ۲/۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده و بیشترین مقدار WP مربوط به تیمارهای کم آبیاری بوده است (Dagdelin و همکاران، ۲۰۰۶).

در این تحقیق سعی شده با بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در استان خراسان رضوی در جهت ساماندهی الگوی زراعی که موجب تجدید مصرف آب می‌شود، راهکارهایی ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی برای محصولات مهم زراعی دشت مشهد در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ مورد بررسی قرار گرفته است. برای تعیین بهره‌وری آب کشاورزی از سه شاخص CPD ، BPD و $NBPD$ استفاده شد (جوان و فال سلیمان، ۱۳۸۷). شاخص CPD در واقع نسبت مقدار محصول تولید شده یا میزان عملکرد محصول (گندم، جو، ذرت و...) به حجم آب مصرف شده در هکتار است. به عبارت دیگر:

$$CPD = TP/TWc \quad (۱)$$

که در آن TP مقدار محصول تولید شده یا میزان عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) و TWc حجم آب مصرف شده (مترمکعب) در هکتار بدون در نظر گرفتن بارندگی می‌باشد. مسلماً هر چه این نسبت بالاتر باشد نشان دهنده ی مصرف صحیح‌تر آب است، اما نشانگر سود اقتصادی بیشتر نمی‌تواند باشد.

شاخص BPD در واقع نسبت میزان سود ناخالص (درآمد) در هر هکتار به ازای واحد حجم آب (مترمکعب در هکتار) می‌باشد. به عبارت دیگر:

$$BPD = TR/TWc \quad (۲)$$

که در آن TR مقدار ارزش کل فروش محصول در هکتار (ریال) است. براساس این شاخص، سیاست مصرف آب باید به گونه‌ای باشد که میزان سود ناخالص به دست آمده در واحد آب مصرف شده بیشتر باشد. اما در این روش هزینه ی تولید محصول در نظر گرفته نمی‌شود.

بهترین شاخص برای بررسی بهره‌وری آب کشاورزی $NBPD$

یا سود خالص به ازاء واحد آب مصرفی می‌باشد که نه تنها میزان سود خالص را به ازای واحد حجم آب مصرف شده تعیین می‌نماید، بلکه این شاخص اهمیت زیادی در برنامه ریزی الگو و ترکیب کشت در مناطق خشک مواجه با محدودیت شدید آب دارد. چرا که از این طریق می‌توان منابع کمیاب آب را به کشت‌هایی اختصاص داد که با کمترین واحد مصرف آب بالاترین سود را نصیب بهره‌برداران نماید.

این شاخص توسط فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$NBPD = NB/TWc \quad (۳)$$

که در آن NB میزان سود خالص (ریال) در هر هکتار است. جهت تعیین شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی نیاز به محاسبه ی هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت و درآمد حاصل از فروش محصولات اصلی کشت شده، سطح زیر کشت، راندمان آبیاری (سطحی و تحت فشار) می‌باشد. مقادیر هزینه‌ها و درآمد محصولات از طریق مصاحبه با کارشناسان و کشاورزان و با استفاده از سالنامه آماری بخش کشاورزی (استان خراسان رضوی) در سال ۱۳۹۲ بدست آمد. نیاز آبی خالص هر گیاه (محصول اصلی) با استفاده از نرم افزار $NETWAT$ در دشت مربوطه محاسبه شد. راندمان کاربرد آب در مزرعه برای هر محصول از گزارش "تحلیلی بر بازده های آبیاری در ایران" (سهراب و عباسی، ۱۳۸۸) استخراج شد. بر اساس نتایج گزارش مذکور، متوسط راندمان کاربرد آب در مزارع استان خراسان رضوی ۵۰/۲ درصد می‌باشد. با در اختیار داشتن راندمان آبیاری و نیاز خالص آبی، نیاز ناخالص آبیاری برای تولید هر کیلوگرم محصولات مختلف محاسبه گردید.

نتایج و بحث

نتایج محاسبه نیاز آبی خالص محصولات مهم زراعی دشت مشهد و نیاز آبی ناخالص آن‌ها در طول فصل زراعی در جدول (۱) آمده است. عملکرد محصول، قیمت فروش هر کیلوگرم

محصول، هزینه در هکتار و ارزش ناخالص تولید در هکتار برای هر محصول با استفاده از سالنامه آماری بخش کشاورزی (استان خراسان رضوی) در سال ۱۳۹۲ تعیین و در جدول (۱) آورده شده است. بر این اساس شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی نیز محاسبه و در همان جدول (۲) ذکر شده است.

جدول ۱- مقادیر سطح زیرکشت، عملکرد، نیاز آبی خالص و ناخالص محصولات مهم زراعی دشت مشهد در سال ۱۳۹۲ (سال مبنا)

نوع محصول	سطح زیرکشت (هکتار)	عملکرد (kg/ha)	نیاز آبی خالص (مترمکعب در هکتار)	نیاز آبی ناخالص (مترمکعب در هکتار)
گندم	۱۳۳۵۲	۲۷۱۴/۶	۲۹۹۰	۵۹۵۶/۱۸
جو	۱۲۰۲۷	۲۶۹۴/۳	۲۵۱۰	۵۰۰۰
گوجه فرنگی	۳۷۳۵	۴۱۴۰۴/۶	۸۱۱۰	۱۶۱۵۵/۳۸
یونجه	۳۶۷۳	۷۴۷۰/۷	۸۳۰۰	۱۶۵۳۳/۸۶
خریزه	۲۸۶۲	۱۶۰۶۰/۱	۵۱۰۰	۱۰۱۵۹/۳۶
سیب زمینی	۱۱۹	۳۲۰۰۸/۴	۸۸۲۰	۱۷۵۶۹/۷۲
پیاز	۱۰۰۲	۵۱۱۶۲/۷	۶۸۹۰	۱۳۷۲۵/۱۰
خیار	۹۷۱	۱۳۶۷۳/۵	۵۹۰۰	۱۱۷۵۲/۹۹
چغندر قند	۷۷۱	۳۵۸۱۹/۷	۹۱۲۰	۱۸۱۶۷/۳۳
هندوانه	۵۵	۱۹۰۱۸/۲	۵۱۸۰	۱۰۳۱۸/۷۳

جدول ۲- محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی برای محصولات مهم زراعی دشت مشهد در سال ۱۳۹۲ (سال مبنا)

محصول										عنوان شاخص
گندم	جو	گوجه فرنگی	یونجه	خریزه	سیب زمینی	پیاز	خیار	چغندر قند	هندوانه	
۵۹۵۶/۱۸	۵۰۰۰/۰۰	۱۶۱۵۵/۳۸	۱۶۵۳۳/۸۶	۱۰۱۵۹/۳۶	۱۷۵۶۹/۷۲	۱۳۷۲۵/۱۰	۱۱۷۵۲/۹۹	۱۸۱۶۷/۳۳	۱۰۳۱۸/۷۳	نیاز آبی ناخالص (مترمکعب در هکتار)
۲۷۱۵	۲۶۹۴	۴۱۴۰۵	۷۴۷۱	۱۶۰۶۰	۳۲۰۰۸	۵۱۱۶۳	۱۳۶۷۴	۳۵۸۲۰	۱۹۰۱۸	عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)
۷۷۹۵	۷۰۱۸	۴۰۰۹	۶۴۱۲	۵۱۶۳	۱۴۱۴۳	۳۳۰۳	۸۱۴۸	۱۹۴۹	۳۵۵۰	قیمت فروش هر کیلوگرم (ریال)
۱۸۷۸۱۵۹۰	۱۶۹۲۵۹۰۰	۴۶۰۷۲۶۹۰	۲۴۲۰۶۹۹۰	۲۵۹۳۳۵۱۰	۶۹۲۲۵۳۲۰	۴۹۹۱۲۴۷۰	۵۲۴۵۸۴۹۰	۳۵۹۰۳۱۳۰	۲۵۹۳۳۵۱۰	هزینه در هکتار (ریال)
۲۱۱۶۳۴۲۵	۱۸۹۰۶۴۹۲	۱۶۵۹۹۲۶۴۵	۴۷۹۰۴۰۵۲	۸۲۹۱۷۷۸۰	۴۵۲۶۸۹۱۴۴	۱۶۸۹۹۱۳۸۹	۱۱۱۴۱۵۷۵۲	۶۹۸۱۳۱۸۰	۶۷۵۱۳۹۰۰	درآمد حاصل از فروش (ریال در هکتار)
۲۳۸۱۸۳۵	۱۹۸۰۵۹۲	۱۱۹۹۱۹۹۵۵	۲۳۶۹۷۰۶۲	۵۶۹۸۴۲۷۰	۳۸۳۴۶۳۸۲۴	۱۱۹۰۷۸۹۱۹	۵۸۹۵۷۲۶۲	۳۳۹۱۰۰۵۰	۴۱۵۸۰۳۹۰	سود خالص در هر هکتار (ریال)
۰/۴۶	۰/۵۴	۲/۵۶	۰/۴۵	۱/۵۸	۱/۸۲	۳/۷۳	۱/۱۶	۱/۹۷	۱/۸۴	CPD
۳۵۵۳	۳۷۸۱	۱۰۲۷۵	۲۸۹۷	۸۱۶۲	۲۵۷۶۶	۱۲۳۱۳	۹۴۸۰	۳۸۴۳	۶۵۴۳	BPD
۴۰۰	۳۹۶	۷۴۲۳	۱۴۳۳	۵۶۰۹	۲۱۸۲۶	۸۶۷۶	۵۰۱۶	۱۸۶۷	۴۰۲۹	NBPD

متوسط بهره‌وری مصرف آب در سال ۱۳۹۲ در کشور حدود ۱/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به جدول (۲) ملاحظه می‌شود که بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات گندم، جو، یونجه و خیار پایین تر از متوسط کشوری می‌باشد. یعنی اگر عملکرد محصول به ازاء واحد آب مصرفی مد نظر باشد، بایستی این محصولات از الگوی کشت حذف شوند. اولویت کشت هر یک از محصولات مورد بررسی بر پایه شاخص‌های CPD، BPD و NBPD در جدول (۳) نشان داده شده است. شاخص CPD نشان دهنده مقدار تولید یا عملکرد محصول در قبال میزان آب مصرفی می‌باشد که پایین بودن مقدار این شاخص، بیانگر ناچیز بودن محصول تولید شده در ازاء آب مصرفی می‌باشد. بر اساس این شاخص پیاز، گوجه فرنگی و چغندر قند در اولویت‌های اول تا سوم برای کشت در دشت مشهد قرار می‌گیرند. شاخص BPD بالاترین ارزش ناخالص تولیدی را به ازاء واحد آب مصرفی نشان می‌دهد. بر اساس این شاخص خیار، خربزه، هندوانه، چغندر قند، جو، گندم و یونجه در اولویت‌های چهارم تا دهم برای کشت در دشت مشهد قرار می‌گیرند. شاخص NBPD که نسبت سود هر محصول را به میزان آب مصرف شده نشان می‌دهد نقص

شاخص BPD را مرتفع می‌سازد. بررسی نتایج حاصل از محاسبه این شاخص ائتلاف مهمترین و با ارزش‌ترین منبع زیست محیطی را نشان می‌دهد. بر اساس شاخص NBPD نیز خیار، خربزه، هندوانه، چغندر قند، یونجه، گندم و جو در اولویت‌های چهارم تا دهم برای کشت در دشت مشهد قرار می‌گیرند.

جدول ۳- اولویت کشت هر یک از محصولات مورد بررسی بر پایه شاخص‌های معرفی شده

شاخص	CPD	BPD	NBPD
سیب زمینی	۵	۱	۱
پیاز	۱	۲	۲
گوجه فرنگی	۲	۳	۳
خیار	۷	۴	۴
خربزه	۶	۵	۵
هندوانه	۴	۶	۶
چغندر قند	۳	۷	۷
یونجه	۱۰	۱۰	۸
گندم	۹	۹	۹
جو	۸	۸	۱۰

نتیجه‌گیری

اولویت کشت محصولات تا رتبه سوم بر اساس شاخص CPD به ترتیب پیاز، گوجه فرنگی و چغندر قند و بر اساس شاخص‌های BPD و NBPD به ترتیب سیب زمینی، پیاز و گوجه فرنگی می‌باشند. با توجه به اینکه بهترین شاخص برای بررسی بهره‌وری آب کشاورزی NBPD یا سود خالص به ازاء واحد آب مصرفی می‌باشد، لذا اولویت از ۱ تا ۱۰ برای کشت محصولات در دشت مشهد عبارتند از: سیب زمینی، پیاز، گوجه فرنگی، خیار، خربزه، هندوانه، چغندر قند، یونجه، گندم و جو. توصیه می‌شود، کشت‌های با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین بایستی از الگوی کشت حذف شود. این کار هم باعث کاهش مصرف و استحصال آب شده و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی می‌باشد.

پی‌نوشت

- 1- Water productivity
- 2- Crop Per Drop
- 3- Benefit Per Drop
- 4- Net Benefit Per Drop

منابع

اکبری، م.، میرلطیفی، م.، مرید، س. و دروگرز، پ. ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در برآورد سودمندی آب در شبکه های آبیاری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۴(۱۷): ۶۵-۸۲.

جوان، ج. و فال سلیمان، م. ۱۳۸۷. بحران آب و لزوم توجه به بهره‌وری آب کشاورزی در نواحی خشک (مطالعه موردی: دشت بیرجند). مجله جغرافیا و توسعه، ۱۱: ۱۱۵-۱۳۸.

خزائی، ش. ۱۳۷۸. بهره‌وری آب کشاورزی در ایران. مقالات منتخب بهره‌وری کشاورزی، انتشارات موسسه پژوهش های برنامه ریزی و اقتصادی کشاورزی.

روستا، ا. ۱۳۸۹. بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در مناطق دچار خشکسالی مطالعه موردی شهرستان مرودشت. مجموعه مقالات پنجمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی.

سهراب، ف. و عباسی، ف. ۱۳۸۸. تحلیلی بر بازده‌های آبیاری در ایران. گزارش پژوهش نهایی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ۸۵ صفحه.

عباسی، ف.، ناصری، ا.، سهراب، ف.، باغانی، ج.، عباسی، ن. و اکبری، م. ۱۳۹۴. ارتقای بهره‌وری مصرف آب. ناشر: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۶۸ صفحه.

- cy of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in Western Turkey. *Agric. Water Manage*, 82(1-2): 63-85.
- Dehghanisanij H., Oweis T. and Qureshi A.S. 2006. Agricultural water use and management in arid and semi-arid areas: Current situation and measures for improvement. *Annals of Arid Zone*, 45(3-4):355-378.
- Tuong T.P. 1999. Productive water use in rice production: opportunities and limitations. *J. Crop Prod.* 2, 241-264.
- Zwart S.J. and Bastiaanssen W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agri. Water Manage*, 69(2): 115-133.
- کشاورز، ع. و دهقانی سانچ، ح. ۱۳۹۱. شاخص بهره‌وری آب و راهکار آتیه کشاورزی کشور. فصلنامه راهبرد اقتصادی، ۱۱(۱): ۱۹۹-۲۳۳.
- وردی نژاد، و.، سهرابی، ت.، حیدری، ن.، عراقی‌نژاد، ش. و مامن پوش، ع. ۱۳۸۸. بررسی عرضه و تقاضا و برآورد بهره‌وری آب کشاورزی در حوزه آبریز زاینده‌رود (مطالعه موردی شبکه آبیاری سمت راست آبشار). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۳): ۸۸-۹۹.
- وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۹۳. سالنامه آماری بخش کشاورزی استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۲.
- وظیفه دوست، م.، علیزاده، ا.، کمالی، غ. و فیضی، م. ۱۳۸۷. افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در مزارع تحت آبیاری منطقه برخوار اصفهان. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲)، ۴۸۴-۴۹۵.
- Dagdalin N., Yilmaz E., Sezgin F. and Gurbuz T. 2006. Water-yield relation and water use efficien-



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، پیشنهادات 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 بدنه 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, ۲۰۰۴).

• 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: نگارنده گان. 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): ۹۷۱-۹۸۱. 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, NewYork.

۳. همایش‌ها: نگارنده گان. 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.

بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص‌های مصرف بهینه آب آبیاری است که به عنوان شاخصی متقن و علمی برای سنجش مصرف بهینه آب و تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود. بدیهی است که تعیین شاخص بهره‌وری آب، به تنهایی قادر به تشخیص عوامل و موانع نقصان آن نبوده و بایستی موارد مصارف غیرمفید شناسایی و به شیوه‌های مستقیم و غیرمستقیم، راهکارهای بهبود عملیاتی گردد. روند تغییرات شاخص بهره‌وری آب، حاکی از رشد آن طی یک دهه اخیر بوده و از ۰/۸۷ کیلوگرم بر متر مکعب در سال ۱۳۸۴ به ۱/۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب در سال ۱۳۹۴ رسیده (افزایش ۱۵۲ درصدی) و بطور متوسط در هر سال ۰/۴۱ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش پیدا کرد. البته این اعداد و ارقام فاقد تحلیل ابعادی محصولی بوده و صرفاً بیانگر روند تغییرات است. اساساً میزان تولید به ازای واحد سطح، وقتی محدودیت دسترسی به آب وجود دارد، نمی‌تواند معیار ارزیابی باشد، وقتی محدودیت دسترسی به آب وجود دارد، ضرورت دارد که بقیه نهاده‌ها نیز بهینه و ضایعات محصول کمینه گردد.

• مقدمه

خشکسالی و کم‌آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، این مشکل در سال‌های آینده حادث‌تر نیز خواهد شد. میانگین بارندگی دراز مدت کشور ۲۴۳ میلی‌متر (یک سوم میانگین جهانی) و پتانسیل تبخیر در کشور حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر در سال (سه برابر متوسط جهانی) است. حجم کل منابع آب ناشی از بارش در کشور ۴۰۳ میلیارد مترمکعب است که بیش از ۷۰ درصد آن از طریق تبخیر از دسترس خارج می‌شود. حجم منابع آب تجدیدپذیر حدود ۱۰۰ میلیارد مترمکعب است که ۷۰ درصد آن در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (ناصری و همکاران، ۱۳۹۶). در چنین شرایطی یکی از راهکارهای مؤثر و عملی استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب است. در این میان، مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی که بخش عمده‌ای از مصارف آب در ایران و جهان را نیز شامل می‌شود، می‌تواند بسیار مؤثر و راهگشا باشد. بدیهی است که برای دستیابی به این مهم، شناسایی شاخص‌های اصلی مدیریت مصرف آب و تعیین این شاخص به روش‌های مناسب است. راندمان‌های آبیاری، بهره‌وری مصرف آب کشاورزی، مقدار آب مصرفی در بخش کشاورزی و توسعه پایدار روش‌های نوین آبیاری از مهم‌ترین شاخص‌های کلیدی و رویکردهای اساسی در برنامه‌ریزی‌های کلان مربوط به تأمین، تخصیص و مصرف اصولی از آب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). روشن است که مؤثرترین و کاربردی‌ترین راه برای سازگاری با این وضعیت اقلیمی برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب است. بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص‌های ارزیابی مصرف بهینه‌ی آب است. در این یادداشت وضعیت موجود بهره‌وری مصرف آب آبیاری در کشور و روند تغییرات آن در ۱۱ سال اخیر تحلیل شده است.

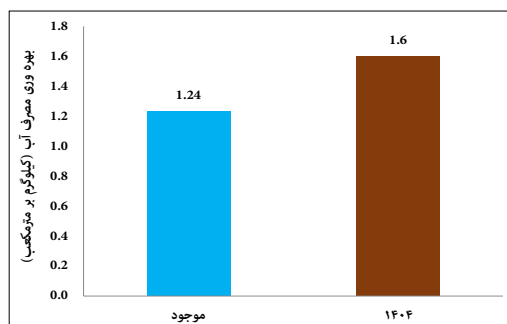
• مبانی و مفاهیم بهره‌وری

بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص‌های مصرف بهینه‌ی آب آبیاری است. مطابق با تعریف کلی، بهره‌وری آب نسبتی است که در

مخرج کسر آن آب کاربردی (آب آبیاری، بارش) و در صورت آن موارد متناهی از مفاهیم کمی قرار می‌گیرد. این موارد مشتمل بر عملکرد محصول، میزان درآمد (سود) خالص، میزان انرژی تولیدی، میزان کالری تولیدی، میزان ارزش افزوده و می‌شود. عموماً دو مفهوم بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، کاربرد بیش‌تری داشته و در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبق تعریف، بهره‌وری فیزیکی مصرف آب عبارت از مقدار محصول تولید شده به ازای واحد حجم آب مصرفی است که بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب بیان می‌شود. در بهره‌وری اقتصادی ارزش محصول تولید شده یا میزان سود مدنظر قرار می‌گیرد. به عبارتی، بهره‌بردار به ازای مقدار آبی که مصرف می‌کند، چقدر درآمد کسب می‌نماید. در این نوشتار بهره‌وری فیزیکی آب که از این پس به‌طور ساده بهره‌وری گفته می‌شود، برای محصولات زراعی و باغی برآورد شده است. تعیین مقدار محصول تولیدی معمولاً ساده‌تر و براساس آمارهای رسمی قابل برآورد است. ولی در خصوص میزان آب مصرفی، آمارها بسیار متفاوت است. در نتیجه کمیت بهره‌وری به شدت وابسته به آمار مربوط به حجم آب مصرفی بوده و تعیین بهره‌وری همواره با تردیدهایی همراه است. این شاخص در ابتدای برنامه توسعه چهارم بین ۰/۸ تا ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است. در برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله نیز این شاخص ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب هدف گذاری شده است.

بهره‌وری آب یک نیاز و یک گام اولیه هست و هرگز نمی‌تواند پایان پایش محسوب شود که خود آغاز یک فعالیت گسترده می‌باشد. بدیهی است که شاخص ۵ کیلوگرم ذرت علوفه‌ای به ازای مصرف هر مترمکعب آب هرگز با شاخص ۰/۴ کیلوگرم پسته به ازای هر مترمکعب آب برابری نمی‌کند، حتی شاخص بهره‌وری آب در تولید گندم در نقاط مختلف با کیفیت‌های مختلف آب یا ارقام متنوع، متفاوت خواهد بود و بایستی هر یک در جای خود بررسی شود. یکی از راهکارها برای ارزیابی گسترده، بهره‌گیری از تحلیل ابعادی یکسان و ملحوظ نمودن درآمد خالص هست که مفاهیم بهره‌وری اقتصادی عینیت خواهد یافت.

برای رسیدن به مقدار هدف گذاری شده (۱/۶ کیلوگرم بر متر مکعب) در برنامه چشم انداز بیست ساله باید تلاش بیش تری شود (شکل ۲). اگرچه عدد هدف گذاری شده یک برآورد کلی و حجمی است که باید با نگاه تخصصی و درک عمیق مباحث مربوط به بهره‌وری آب، به دنبال هویت شناسی بهره‌وری آب و تعیین اجزای آن برای هر یک از محصولات بوده و قطعاً آنچه که مبنای تصمیم‌گیری برای اصلاح الگوی کشت و تدوین الگوی تولید پایدار و اقتصادی است، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی هر یک از محصولات خواهد بود نه بهره‌وری کل؛ به نحوی که عدد بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی اختصاصی برای تک تک محصولات نیز باید تعیین و تحلیل شود.



شکل ۲- مقایسه وضعیت موجود بهره‌وری مصرف آب در کشور با مقدار هدف گذاری شده در برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله

شاخص بهره‌وری آب، اگرچه معیار بسیار مهمی در تصمیم‌گیری و تعیین مزیت کشت محسوب می‌شود، اما گاهی قیودات حاکم بر ساختار کشاورزی، مثل کیفیت آب، جنبه‌های زیست‌محیطی، ریسک تولید و بازار، فرآوری و حتی مسائل اجتماعی و سیاسی، سبب می‌شود که تصمیمات مدیریتی متناسب با شرایط گرفته شود. شاخص بهره‌وری آب صرفاً متأثر از برنامه و سامانه آبیاری نبوده و عوامل مهم و فراوانی از جمله کیفیت و کمیت آب، منبع آب، نظام و روش آبیاری، نیاز آبی گیاه، برنامه آبیاری، نوسانات سطح ایستابی و زهکشی، مدیریت زراعی، اقلیم و پارامترهای اقلیمی، استحصال و جمع‌آوری آب باران، تغذیه، آفات و بیماری‌ها، علف‌های هرز، اقتصاد و بازار، فرآوری و بسته‌بندی و الگوی کشت در آن دخالت دارند.

• شاخص بهره‌وری مصرف آب

برای ارتقای بهره‌وری مصرف آب بایستی به رابطه ساده و در عین حال پرمفهوم آن توجه کرد.

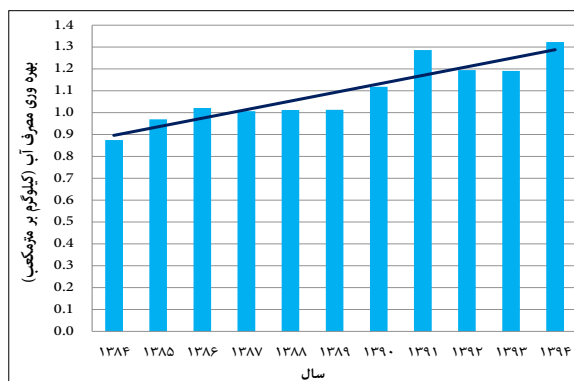
$$WP = \frac{(Production)(Net\ income)(Energy)(Protein)}{WU}$$

WP: شاخص بهره‌وری مصرف آب و WU: آب کاربردی (میلی‌متر/ مترمکعب) می‌باشد. صورت کسر یکی از عوامل Production: تولید (کیلوگرم) یا Net income: درآمد خالص (ریال) یا Energy: انرژی (کالری) و یا Protein: پروتئین (کالری) می‌تواند باشد.

حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی به روش بیلان آب اخیراً توسط موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی برآورد شده است (ناصری و همکاران، ۱۳۹۶). براساس ارقام برآورد شده برای حجم آب مصرفی و آمار مربوط به تولید محصولات زراعی و باغی کشور در سال‌های مختلف، مقادیر بهره‌وری مصرف آب به تفکیک سال‌های مختلف تعیین شده است (شکل ۱). از آنجایی که در این بررسی بهره‌وری محصولات آبی مدنظر بوده است، تولیدات زراعی و باغی در اراضی آبی در تعیین بهره‌وری مصرف آب لحاظ شده است.

شاخص بهره‌وری در ابتدای برنامه توسعه چهارم
 بین ۰/۸ تا ۰/۹ کیلوگرم بر متر مکعب بوده و در برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله نیز این شاخص ۱/۶ کیلوگرم بر متر مکعب هدف‌گذاری شده است. البته بهره‌وری آب یک نیاز و یک گام اولیه هست و هرگز نمی‌تواند پایان پایش محسوب شود که خود آغاز یک فعالیت گسترده می‌باشد.

مطابق شکل (۱) مقادیر بهره‌وری مصرف آب از ۰/۸۷ تا ۱/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب در ۱۱ سال اخیر متغیر و متوسط آن ۱/۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. این بدان معنی است که بهره‌وری مصرف آب در دو برنامه توسعه چهارم و پنجم بطور متوسط در هر سال ۰/۰۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش پیدا کرده است. هرچند بخش زیادی از این رشد در برنامه پنجم توسعه بوده است. خوشبختانه شاخص بهره‌وری مصرف آب در کشور طی سال‌های گذشته روند صعودی داشته که این روند به معنای اثربخشی فعالیت‌های انجام شده در کشور است. در مجموع، فعالیت‌های انجام شده در کشور در خصوص "افزایش تولید" و "کاهش حجم آب مصرفی" دو دلیل اصلی افزایش بهره‌وری آب در کشور بوده است.



شکل ۱- روند تغییرات بهره‌وری مصرف آب در کشور طی سال‌های ۹۴-۱۳۸۴

چنانچه متوسط سه سال اخیر به عنوان وضعیت موجود شاخص بهره‌وری مصرف آب تلقی شود، مقدار این شاخص ۱/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود. علی‌رغم روند افزایشی این شاخص در سال‌های گذشته به ویژه رشد قابل توجه در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳،

• روش‌های ارتقای بهره‌وری مصرف آب

برای ارتقای بهره‌وری آب دو شیوه مستقیم و غیرمستقیم وجود دارد، که پرداختن به همه‌ی آن‌ها در حوصله این گفتار نمی‌گنجد.

الف) شیوه مستقیم

در شیوه مستقیم با سه راهکار می‌توان برای بهبود بهره‌وری اقدام کرد:

۱- افزایش صورت کسر بدون اینکه در میزان آب مصرفی تغییری حاصل شود. در این شیوه، بدون اینکه میزان آب کاربردی کاهش یابد، صورت کسر افزایش می‌یابد. اصلاح برنامه کودی (تغذیه)، تغییر رقم، بهبود مدیریت‌های زراعی (زمان کاشت، نحوه‌ی تهیه زمین، ماشین کاشت، کنترل علف‌های هرز، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و) راهکارهایی است که بدون کاهش آب مصرفی، سبب افزایش صورت کسر و در نتیجه بهبود بهره‌وری آب خواهد شد. همچنین کاهش هزینه‌ها و نیز انجام اقدامات تکمیلی برای بهبود کیفیت محصول سبب افزایش صورت کسر می‌شود.

۲- کاهش مخرج کسر یعنی اجرای برنامه کاهش آب کاربردی با شناخت رفتار فیزیولوژیک گیاهی، شناخت مصارف غیرمفید و انجام تمهیدات برای کنترل آن‌ها، اصلاح عملیات زراعی برای کاهش آب مصرفی مثل اصلاح تاریخ کشت، تغییر شیوه کشت مثلاً اجرای کشت نشایی، اصلاح آرایش کشت، اصلاح روش آبیاری (از روش‌های سنتی به سامانه‌های نوین آبیاری).

۳- روش تلفیقی، بدین مفهوم که همزمان با کاهش مخرج کسر، صورت کسر نیز افزایش یابد. در این راهکار، شناخت مصارف غیرمفید، شناخت رفتار فیزیولوژیک گیاهی، اصلاح روش آبیاری همراه با اصلاح مدیریت مصرف کود و عملیات زراعی مواردی هستند که توأمان به کاهش مخرج کسر و افزایش صورت کسر منجر خواهد شد.

تمهیدات لازم برای کاهش ضایعات مانند تنظیم ادوات، اصلاح زمان برداشت، بسته‌بندی مناسب، ایجاد واحدهای فرآور و ایجاد زنجیره تولید تا مصرف، می‌تواند بطور غیرمستقیم در بهبود بهره‌وری مؤثر باشد.

ب) شیوه غیرمستقیم

در این شیوه اساساً به فرآیندهایی پرداخته می‌شود که اگرچه بسیار اهمیت دارد و برای آن نهاده‌های مختلف مصرف شده، اما مورد توجه واقع نمی‌شوند. ضایعات محصول از زمان برداشت تا رسیدن بدست مصرف کننده، تلفات انرژی ماشین‌های کشاورزی و آبیاری، آبشویی کودها و خسارات ناشی از مخاطرات بخش کشاورزی از جمله موارد از دست رفتن محصولات کشاورزی هستند. بدیهی است فرضاً با کاربرد کودهای پتاسه می‌توان مقاومت محصول به سرمازدگی را افزایش داد، یا کاربرد دمنده‌ها، انجام آبیاری و ایجاد

بادشکن‌ها و دیگر شیوه‌های مقابله با مخاطرات کشاورزی، در کاهش خسارات مؤثر خواهند بود و در نتیجه بهره‌وری تولید افزایش خواهد یافت. یا میزان ضایعات و افت برداشت برخی محصولات قابل ملاحظه می‌باشد، تمهیدات لازم برای کاهش ضایعات مانند تنظیم ادوات، اصلاح زمان برداشت، بسته‌بندی مناسب، ایجاد واحدهای فرآور و ایجاد زنجیره تولید تا مصرف، می‌تواند بطور غیرمستقیم در بهبود بهره‌وری مؤثر باشد.

توسعه مکانیزاسیون یکی از عوامل اصلی و تأثیرگذار در افزایش تولید و بهره‌وری مصرف نهاده‌های حوزه کشاورزی از جمله آب به شمار می‌رود. مباحثی چون کارکرد ماشین‌های کشاورزی (تهیه زمین، کاشت، داشت و برداشت)، مدیریت آب و خاک در کشاورزی حفاظتی، مدیریت و بهبود کارایی انرژی، مدیریت تنش‌های محیطی از موارد مؤثر در بهبود تولید و افزایش بهره‌وری محسوب می‌شود.

شاخص بهره‌وری آب، اگرچه معیار بسیار مهمی در تصمیم‌گیری و تعیین مزیت کشت محسوب می‌شود، اما گاهی قیودات حاکم بر ساختار کشاورزی، مثل کیفیت آب، جنبه‌های زیست‌محیطی، ریسک تولید و بازار، فرآوری و حتی مسائل اجتماعی و سیاسی، سبب می‌شود که تصمیمات مدیریتی متناسب با شرایط گرفته شود.

امروزه تولید انواع محصولات کشاورزی در محیط‌های کنترل شده، به دلیل امکان فراهم ساختن شرایط مناسب برای تولید حداکثر و حتی خارج از فصل و نیز کنترل میزان مصرف نهاده‌های کشاورزی و سعی در کاهش مصرف آن‌ها به‌ویژه آب، مورد توجه خاص قرار گرفته است. افزایش عملکرد توأم با کاهش مصرف آب و در نتیجه افزایش قابل‌توجه در بهره‌وری آب، از جمله مواردی هستند که در گلخانه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

اگرچه برای غلبه بر چالش امنیت غذایی راه‌حلهایی مانند، افزایش سطح زیرکشت و عملکرد، افزایش نهاده‌های کشاورزی، کنترل جمعیت و رشد مصرف، افزایش واردات و ... ارائه شده است، اما هر یک از این موارد با محدودیت‌های اجرایی خاص خود مواجه‌اند. لذا عملی‌ترین راه، استفاده بهینه از تولیدات موجود و در رأس آن‌ها کاهش ضایعات است. فرآوری و کاهش ضایعات در حقیقت نوعی افزایش بهره‌وری منابع تولید است. اولین قدم برای پرداختن به امر تعدیل و کاهش ضایعات، گردآوری اطلاعات مستند و مبتنی بر اصول علمی و فنی می‌باشد که متأسفانه در این خصوص ضعف جدی وجود دارد. تاکنون مطالعه جامعی در خصوص تعیین مقدار دقیق ضایعات در مراحل مختلف زنجیره تولید تا مصرف به‌عمل نیامده است و این امر از مهم‌ترین دلایل و زیربناها برای تعیین کاهش ضایعات از سوی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی بوده است. با تعیین میزان

ضایعات محصولات کشاورزی، میزان آب آبیاری معادل آن که جزو مصارف غیرمفید است، مشخص خواهد شد.

امروزه تولید انواع محصولات کشاورزی در محیط‌های کنترل شده، به دلیل امکان فراهم ساختن شرایط مناسب برای تولید حداکثر و حتی خارج از فصل و نیز کنترل میزان مصرف نهاده‌های کشاورزی و سعی در کاهش مصرف آن‌ها به ویژه آب، مورد توجه خاص قرار گرفته است.

شرایطی تأمین علوفه بر کشت برخی محصولات با بهره‌وری فیزیکی یا اقتصادی بالاتر نیز مزیت خواهد داشت. یا در شرایطی که دانش کشاورزی و حرفه‌ای کشاورزان بر کشت محصولی خاص قرار گرفته، تلاش اولیه بایستی بهبود شرایط موجود، کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمد باشد.

عملی‌ترین راه برای غلبه بر چالش امنیت غذایی استفاده بهینه از تولیدات موجود و در رأس آن‌ها کاهش ضایعات است. فرآوری و کاهش ضایعات در حقیقت نوعی افزایش بهره‌وری منابع تولید است. اولین قدم برای پرداختن به امر تعدیل و کاهش ضایعات، گردآوری اطلاعات مستند و مبتنی بر اصول علمی و فنی می‌باشد که متأسفانه در این خصوص ضعف جدی وجود دارد.

البته در برخی موارد ممکن است ملاحظات محیطی، مسائل اجتماعی، سیاسی و امنیتی و یا وجود مزیت‌های نسبی محلی، به نحوی ظهور و بروز نماید که صرفاً شاخص بهره‌وری آب، مبنای تصمیم‌گیری قرار نگیرد. مثلاً در منطقه‌ای پرورش دام مزیت داشته و شرایط محیطی تعلیف دام وجود دارد، در چنین

• توصیه‌های کاربردی

- با عنایت به مباحث عنوان شده به منظور بهبود بهره‌وری مصرف آب، لازم است توجه کافی به ارتقای وضعیت موجود دو مولفه اصلی بهره‌وری یعنی میزان آب مصرفی و میزان تولید به ازای واحد حجم آب مصرف شده به عمل آید. در این راستا برخی نکات فنی و کاربردی به شرح زیر پیشنهاد می‌شود:
- اصلاح الگوی مصرف آب در بخش کشاورزی
- توجه خاص و ویژه به مکانیزه کردن روش‌های آبیاری سطحی به در نظر گرفتن تسهیلات و مشوق‌های لازم همانند روش‌های آبیاری تحت فشار
- توجه کافی به مبانی علمی و اجرایی صحیح با توجه به ظرفیت‌ها و پتانسیل‌های هر منطقه در توسعه روش‌های مختلف آبیاری
- توجه به مسائل زیست‌محیطی و اصل پایداری منابع آب و خاک در توسعه روش‌های مختلف آبیاری سطحی و تحت فشار
- مدیریت مصرف آب با رویکرد کاهش مصارف غیرمفید آب کاربردی
- توجه به مسائل به‌نژادی و به‌زراعی با رویکرد کاهش مصرف آب
- توسعه خاک‌ورزی و کشاورزی حفاظتی
- تدوین و اجرای برنامه پایش و کاهش تبخیر به منظور کاهش مصارف غیرمفید
- کاهش ضایعات محصولات در مراحل مختلف فرآیند تولید، برداشت، انتقال و توزیع، بسته‌بندی، انبارداری
- استفاده از ظرفیت‌های گلخانه‌ای در تولیدات کشاورزی و مدیریت آب و انرژی
- تعیین و تحلیل شاخص بهره‌وری آب از تأمین، انتقال، توزیع، مصرف و پسمصرف آب
- ارتقای بهره‌وری آب با تبیین ساختار روابط آب، خاک، گیاه، اتمسفر، انسان، ماشین و بازار

با عنایت به موارد مذکور می‌توان گفت آنچه که در رویکردهای آتی برای افزایش بهره‌وری آب تبلور عینی و عملیاتی پیدا خواهد کرد، در چهار مقوله "پژوهش"، "فناوری"، "آموزش و توانمندسازی" و "ترویج دستاوردها" خلاصه می‌گردد. برای دستیابی به این موارد و "بهبود ضریب تأثیر یافته‌ها در عرصه‌های کشاورزی"، پایداری منابع و نیز "ارتقای شاخص سرانه علمی و تولید دانش"، اجماعی از همسویی و تعامل با محققین و اعضای هیات علمی، دانشگاه‌ها، واحدها و دستگاه‌های اجرایی، تشکلهای و صنوف کشاورزی، کمیسیون‌ها و انجمن‌ها باید صورت گیرد. راهبری و هدایت فعالیت‌ها، دارای نگاه جامع و با در نظر گرفتن تمام ابعاد و اجزا می‌باشد.

• منابع

توکلی، ع.ر. ۱۳۹۵. بررسی مزیت نسبی محصولات کشاورزی استان سمنان با محوریت بهره‌وری آب. گزارش فنی شماره ۵۰۰۳۷، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۷۵ صفحه.

عباسی، ف.، ناصری، ا.، سهراب، ف.، باغانی، ج.، عباسی، ن. و اکبری، م. ۱۳۹۴. ارتقای بهره‌وری مصرف آب. نشریه ۳۴/۹۴، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۶۵ صفحه.

عباسی، ف.، سهراب، ف. و عباسی، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، (۱۷): ۶۷-۱۱۳.

ناصری، ا.، عباسی، ف. و اکبری، م. ۱۳۹۶. برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی به روش بیلان آب. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، (۱۸): ۶۸-۱۷.

تشکیل کمیته مدیریت فناوری در شرکت آب و فاضلاب مشهد (حمایت از توسعه و تولید محصولات دانش‌بنیان)

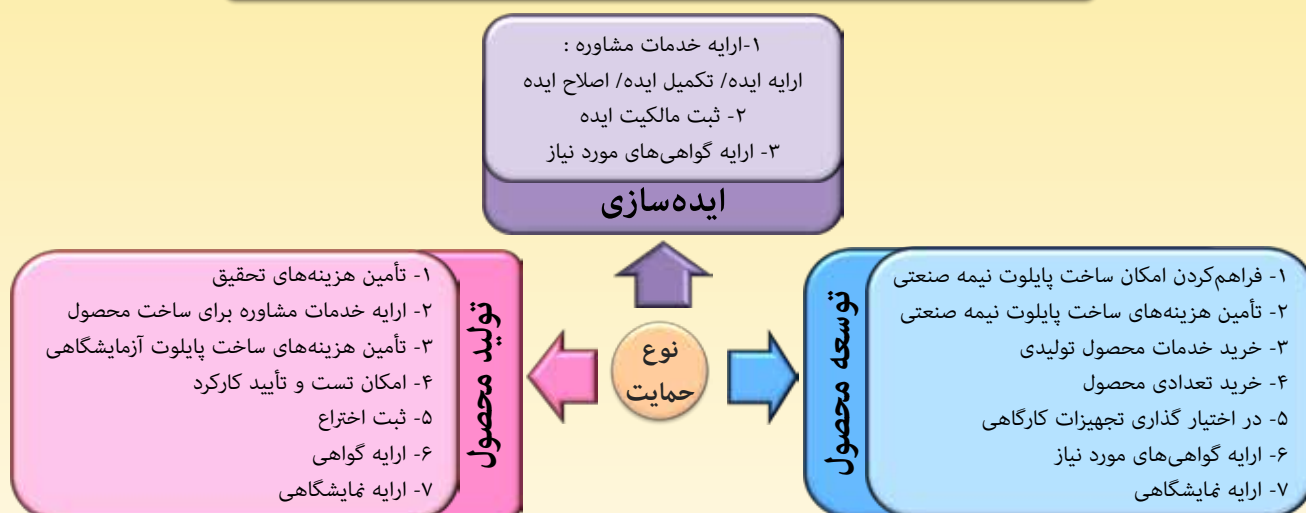


در راستای تحقق شعار محوری سال و تأکیدات مدیریت عامل شرکت آب و فاضلاب مشهد، مبنی بر حمایت از تولیدات داخلی و نیل به اهداف اقتصاد مقاومتی، از ابتدای سال ۹۶ تدوین ساختاری تحت عنوان «کمیته مدیریت فناوری» به جهت حمایت از توسعه و تولید محصولات و تجهیزات فنی/دانش‌بنیان در دستور کار واحد تحقیقات این شرکت قرار گرفت. در همین راستا، این کمیته در خرداد ماه سال جاری با ترکیبی از نمایندگان دانشگاه فردوسی مشهد، دانشگاه آزاد مشهد، پارک علم و فناوری خراسان رضوی، بنیاد نخبگان، سازمان و خانه صنعت، معدن و تجارت، مدیر عامل، معاونین و بخش تحقیقات شرکت آب و فاضلاب مشهد تشکیل و اولین جلسه آن در تاریخ ۲۱ خرداد ماه برگزار گردید. تاکنون سه جلسه این کمیته برگزار گردیده است و جلسات این کمیته به صورت مستمر در حال برگزاری می‌باشد.

اهم مصوبات جلسات کمیته مدیریت فناوری:

- ۱- تدوین الگوی حمایت از تولید و توسعه محصولات فن‌آوری/دانش‌بنیان،
- ۲- تدوین شرح خدمات استفاده از ظرفیت کارگزار فن‌آوری،
- ۳- شناسایی ظرفیت‌های خبره جهت امر کارگزاری فن‌آوری،
- ۴- تدوین کاربرگ عرضه فن‌آوری.

الگوی حمایت از تولید و توسعه محصولات فن‌آور- دانش‌بنیان



شرکت آب و فاضلاب مشهد از کلیه متخصصین و علاقمندان در حوزه «پرورش ایده، توسعه و تولید محصولات فن‌آور» جهت امر کارگزاری فن‌آوری در این شرکت براساس شرح خدمات تدوین شده دعوت به همکاری می‌نماید. همچنین، پژوهشگران و مخترعین دارای ایده‌های نو در حوزه صنعت آب و فاضلاب می‌توانند با تکمیل «کاربرگ عرضه فناوری» و ارائه ایده خود از حمایت‌های این شرکت در راستای توسعه، تولید و کاربردی نمودن آن بهره‌مند گردند.

علاقمندان جهت دریافت «فرم شرح خدمات کارگزار فن‌آوری» و «کاربرگ عرضه فناوری» به زیرپورتال تحقیقات شرکت آب و فاضلاب مشهد به نشانی <http://rd.abfamashhad.ir> مراجعه و یا از طریق پست الکترونیک R&D@abfamashhad.net با واحد تحقیقات این شرکت ارتباط حاصل فرمایند.

اولین جشنواره ملی

فناوری های آب بهره وری و باز چرخانی

۲۱ الی ۲۳ شهریور ۱۳۹۶ دانشگاه فردوسی مشهد

محورهای جشنواره:

پساب ها و آب های نامتعارف
آبیاری و زهاب
تامین، انتقال و توزیع
مصارف و مدیریت تقاضا
گیاه، خاک و مزرعه
نانو و فناوری های نوین
اقلیم و فضای سبز شهری

برنامه ها:

فن بازار
نمایشگاه اختراعات
نمایشگاه فنی تخصصی
کارگاه های حرفه ای
سمینارهای علمی
جشنواره فرهنگی و هنری

مطابق جشنواره های رویش
بنیاد ملی نخبگان

برگزاری نشست های تخصصی مدیریت آب در حوزه های
* صنعت * کشاورزی * شهری



In the Name of Allah

Journal of Water and Sustainable Development



Volume 4 - Issue 1 (Serial No. 8) - September 2017

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 Froushani, 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

Ataeifar, H, 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
Jafari, S.H., 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 Froushani, 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
Alipour, M. R., Representative of Mashhad Water & Wastewater Company
Ghandehari, A. Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

Executive Expert

Publisher

Graphic

Print

Circulation

ISSN

E-Mail

Website

Address

Sponsor

Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.
College of Agriculture , Ferdowsi University of Mashhad
Shaikhi, M.R.
Khorasan Print City, Mashhad
1000 Copies
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

Journal of Water and Sustainable Development

Volume 4 - Issue1 (serial No.8) - September 2017

Articles in issue:

- **A Look at the Existing and Future Desalination Markets in the Persian Gulf and MENA Region**
M. Ghannadi
- **Public-Private Partnership in the Water and Wastewater Industry "Case Study of Africa, Asia and Latin America"**
A.R. Nozari Poor, M. Ghasem Sharabiani, P. Olad Ghaffari
- **Comparative Study of the Economic and Financial Impacts of Water and Wastewater Pricing in Japan and Iran**
M. Khashaei, M. Davoodabadi
- **Study of Refinement of Groundwaters of Viral Contaminants Using Clay Column in a Laboratory Model**
M. Esghaei, A.h. Khodayari
- **Successful Salicornia Seed Production using Saline Water**
M. Salehi, F. Dehghany, N.Gh. Ebrahimi
- **A Review of Methods for Assessing Incipient Motion of Sediments and the Factors Affecting it**
Sh. Esmailzade, K. Esmaili
- **Underground Collector Pipe Installation Methods in the Saturated Sand and Clay Lenses**
A. Alinejadian Bidabadi, M. Salakhpoor, A. Maleki
- **Neyrpic-Modules Evaluation for Intake Structures in the Water Providence to Downstream Areas: A Case Study of the Sefidrud Irrigation and Drainage Network**
A. Habibi Kandbon, M. Dosti, A.H. Molaghadimi
- **Evaluation of Methods for Estimating Environmental Flow in Rivers**
Gh. Panahi, S.R. Khodashenas, A.R. Faridhoseini
- **River Flood Routing using The Multiple-reach Muskingum Model**
A. Zahiri, S. Asghari, A.A. Dehghani
- **Application of the Statistical Index Model in Groundwater Potential Mapping in the Khorramabad Plain**
F. Falah, M. Daneshfar, S. Ghorbaninejad
- **Radioisotope Technique of Groundwater Dating using Tritium Enrichment**
I. Karimirad, M. Hesam, A. Bahrami samani, A. Ezadpanah, N. Moghadasi
- **Literature Review on Dam Removal: A U-Turn Towards the Sustainable Management**
B. Khayat rostami, A. Safarzadeh, S. Khayat rostami
- **Integrated Drought Management Program**
Translated by: A. Motamedi, D. Baharlooe Bardshahi
- **Investigation of Consumption Management and Estimation of the Drinking Water Demand in the Vision 1420 for the City of Mashhad (Technical Note)**
H. Ansari, A. Boosfani, A.R. Tabatabaee, M. Forouzesh
- **Evaluation of Agricultural Water Productivity Indices in Major Field Crops in Mashhad Plain (Technical Note)**
M. Karimi, M. Jolaini

ISSN (Print): 2423-5474

