آب و توسعه پایدار

سال هشتم ـ شماره چهارم (پیاپی ۲۲) ـ زمستان ۱۴۰۰

تغییر اقلیم وقایع فرین را تشدید نموده است

فهرست مقالات

- **بررسی عوامل موثر برمشارکت درمدیریت شبکه آبیاری سد قلعه چای**
  حسین یادآور
- **شناسایی و بررسی عوامل تأثیرگذار برمصرف آب خانگی با رویکرد ترکیبی Delfi و Topsis فازی**
  حبیب اله داداشی دیوکلایی، علی ثریایی، سید علی نبوی چاشمی
- **بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری در بین کشاورزان منطقهٔ سیستان**
  ماشاا.. سالارپور، مجتبی داورپناه، قدسیه زارع
- **شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر کم‌آبی در استان کرمانشاه با کمک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی**
  جمال فتح‌اللهی، سید محمدباقر نجفی، شیما فرهنگیان
- **برهمکنش حجم آب مصرفی و شوری آب آبیاری بر عملکرد گندم در مناطق خشك (مطالعه موردی: یزد)**
  محمدحسن رحیمیان، حسن غلامی، غلامحسن رنجبر، حسین بیرامی، بی‌تا مروج الاحکامی، مهدی کریمی، سیدعلی محمد چراغی
- **بررسی میزان آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب مزارع سیب‌زمینی در شرایط زارعین استان خراسان رضوی**
  محمد جلینی، محمد کریمی، جواد باغانی
- **تخمین توزیع سرعت درلوله مدور با اندازه‌گیری سرعت در دو نقطه به‌وسیله آنتروپی رنی**
  مریم تیموری یگانه، محمد مهدی حیدری
- **بررسی فیلترسدهای خاکی با آزمایش فیلترمانع فرسایش (مطالعه موردی: سد بار و بیدواز)**
  علیرضا رئیس السادات، علی اخترپور، ملیحه نظری
- **بررسی کاربرد روش رویه پاسخ در بهینه‌سازی فرآیند انعقاد جهت حذف آرسنیک از آب**
  مجید میرشاهی، محسن ایراندوست
- **چالش‌های به کارگیری عملیات پایدار محیط زیستی در میان کشاورزان گندم‌کار شهرستان خرم‌آباد**
  مسلم سواری، فاطمه نقی‌بیرانوند
- **مفهوم، کاربست و رویکردهای ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک آبخیز**
  ویدا امان جهانی، زینب حزباوی، رئوف مصطفی‌زاده، اباذر اسمعلی‌عوری، بیتا معزی‌پور
- **مدیریت سیلاب ناحیه هشتم شهر هرات افغانستان با استفاده از روش‌های توسعه کم اثر و ارزیابی آن‌ها با مدل EPA-SWMM**
  صمیم صمیم، فرهاد حاجیان، دانیال معظمی

شاپا چاپی ۵۴۷۴ـ ۲۴۲۳

آب و توسعه پایدار

سال هشتم- شماره چهارم (پیاپی ۲۲)- زمستان ۱۴۰۰

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

صاحب امتیاز دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول ناصر شاهنوشی فروشانی/ استاد گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

سردبیر کامران داوری/ استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیئت تحریریه

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

شورای سیاست گذاری

احمد سیاحی (ریاست شورا)/ مدیر کل دفتر تحقیقات، توسعه فن آوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
حسین اسماعیلیان/ مدیر عامل شرکت آب و فاضلاب مشهد
علیرضا طاهری/ مدیر عامل شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی
سید یحیی موسوی/ دبیر اندیشگاه آب شرکت مدیریت منابع آب ایران
ناصر شاهنوشی فروشانی/ مدیر مسئول نشریه
کامران داوری/ سردبیر نشریه

مشاوران هیئت تحریریه

انوش نوری اسفندیاری/ اندیشکده تدبیر آب ایران
سید حسین سجادی فر/ شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
مهدی کلاهی/ دانشگاه فردوسی مشهد
غلامرضا کلائی/ شرکت آب و فاضلاب مشهد
ثمانه توکلی امینیان/ شرکت آب و فاضلاب مشهد

کارشناس اجرایی مهری شاهدی، فاطمه طالبی حسین آباد
ویراستاری مرجان قوچانیان، مهری شاهدی، فاطمه طالبی حسین آباد (فنی و ادبی)/ مائده اسکوهی (لاتین)
طراحی جلد محمدرضا شیخی

ترتیب انتشار/ ناشر فصلنامه/ انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد
شماره شاپا ۲۴۲۳-۵۴۷۴
تارنما/ رایانامه https://jwsd.um.ac.ir/ Email:jwsd@um.ac.ir
آدرس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، دفتر نشریه، صندوق پستی ۱۱۶۳- ۹۱۷۷۵
حامی مالی شرکت آب و فاضلاب مشهد
پایگاه های نمایه شده پایگاه استنادی علوم ایران (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

فهرست مطالب

سرمقاله: سیل و خشکسالی دو روی یک سکه/ کاظم اسماعیلی (عضو هیئت تحریریه نشریه) الف

یادداشت کوتاه: گذری بر اندرکنش سیل و خشکسالی/ امیر سعد الدین ت

بررسی عوامل موثر بر مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری سد قلعه چای ۱
حسین یادآور

شناسایی و بررسی عوامل تأثیرگذار بر مصرف آب خانگی با رویکرد ترکیبی Delfi و Topsis فازی ۱۱
حبیب اله داداشی دیوکلایی، علی ثریایی، سید علی نبوی چاشمی

بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری در بین کشاورزان منطقهٔ سیستان ۲۳
ماشاا.. سالارپور، مجتبی داورپناه، قدسیه زارع

شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر کم‌آبی در استان کرمانشاه با کمک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی ۳۳
جمال فتح‌اللهی، سید محمدباقر نجفی، شیما فرهنگیان

برهمکنش حجم آب مصرفی و شوری آب آبیاری بر عملکرد گندم در مناطق خشك (مطالعه موردی: یزد) ۴۳
محمدحسن رحیمیان، حسن غلامی، غلامحسن رنجبر، حسین بیرامی، بی‌تا مروج الاحکامی، مهدی کریمی، سیدعلی محمد چراغی

بررسی میزان آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب مزارع سیب‌زمینی در شرایط زارعین استان خراسان رضوی ۵۱
محمد جلینی، محمد کریمی، جواد باغانی

تخمین توزیع سرعت در لوله مدور با اندازه‌گیری سرعت در دو نقطه به‌وسیله آنتروپی رنی ۵۹
مریم تیموری یگانه، محمد مهدی حیدری

بررسی فیلتر سدهای خاکی با آزمایش فیلتر مانع فرسایش (مطالعه موردی: سد بار و بیدواز) ۶۹
علیرضا رئیس السادات، علی اخترپور، ملیحه نظری

بررسی کاربرد روش رویه پاسخ در بهینه‌سازی فرآیند انعقاد جهت حذف آرسنیک از آب ۷۷
مجید میرشاهی، محسن ایراندوست

چالش‌های به کارگیری عملیات پایدار محیط زیستی در میان کشاورزان گندم‌کار شهرستان خرم‌آباد ۸۷
مسلم سواری، فاطمه نقی‌بیرانوند

مفهوم، کاربست و رویکردهای ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک آبخیز ۹۹
ویدا امان جهانی، زینب حزباوی، رئوف مصطفی‌زاده، اباذر اسمعلی‌عوری، بیتا معزی‌پور

مدیریت سیلاب ناحیه هشتم شهر هرات افغانستان با استفاده از روش‌های توسعه کم اثر و ارزیابی آنها با مدل EPA-SWMM ۱۱۱
صمیم صمیم، فرهاد حاجیان، دانیال معظمی

یادداشت تحلیلی: تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های سنگین ایران با بکارگیری مدل همادی CMIP۶ / آذر زرین، عباسعلی داداشی رودباری ۱۱۹

یادداشت تحلیلی: تشدید رخدادهای فرین و کاهش احتمالی تجدیدپذیری آبهای زیرزمینی در ایران / کامران داوری ۱۲۵

گزارشی از ششمین وبینار کمیته فنی IAHR به مناسبت روز جهانی آب/ مائده اسکوهی ۱۲۸

گزارش برگزاری کارگاه آموزشی «ارزیابی اثرات محیط زیستی پروژه‌های آب و فاضلاب با رویکرد چرخه حیات (LCA)»/ ثمانه توکلی امینیان، محسن کدخدایی ۱۲۹

فراخوان اولویت‌های پژوهشی و فناوری سال ۱۴۰۱/ شرکت آب وفاضلاب مشهد ۱۳۰

سرمقاله

سیل و خشکسالی دو روی یک سکه

کاظم اسماعیلی / عضو هیئت تحریریه

گرمای خورشید سطح اقیانوس‌ها و خشکی‌ها را گرم می‌کند و آب تبخیر می‌شود. وزش باد تبخیر را به اطراف حرکت و اتمسفر به تدریج متراکم شده و ابر تشکیل می‌شود و باران حاصل از آن به زمین بر می‌گردد. بخشی از این بارش به سمت دریاها یا اقیانوس‌ها حرکت کرده و چرخه هیدرولوژیک را کامل می‌نماید. تغییر در چرخه هیدرولوژیک ناشی از بروز تغییرات اقلیمی است. تغییر اقلیم زمانی بروز می‌کندکه اقلیم در یک بازه زمانی طولانی متأثر از اثرات انسانی و طبیعی تغییر کند. مثال‌های زیادی از اثرات تغییر اقلیم را می‌توان ارائه نمود. از جمله بالاآمدن سطح آب دریاها در طول یک قرن حدود ۴ تا ۸ اینچ و افزایش تقریبی باران به میزان یک درصد و یا تغییر در اکوسیستم که می‌تواند ناشی از اثر مقدار برف در مناطق شمالی باشد. همچنین افزایش ۵ تا ۱۰ درصدی در میزان بارش‌ها، افزایش دوره‌های خشکی در تابستان و بروز یخبندان شدید در مناطق اقیانوسی. تغییر اقلیم می‌تواند اثرات مثبتی نیز داشته باشد. مثلاً افزایش دوره رشد در مناطقی که فصل کاشت آنها کوتاه است. اما وقتی تغییرات سریع باشد، سیستم‌های زنده نمی‌توانند در زمان کوتاه شرایط خود را با آن وفق دهند. خشکسالی نیز یک اختلال در رژیم طبیعی اقلیمی و هیدرولوژیکی است که می‌تواند به طرق مختلف بر عوامل تعیین‌کننده کمیت و کیفیت آب تأثیرگذار باشد.

تناوب و شدت خشکسالی در بسیاری از مناطق جهان به دلیل افزایش تنوع بارندگی و افزایش گرما با تغییرات آب و هوایی و اثرات انسانی در حال افزایش است. بررسی‌ها نشان می‌دهد تغییرات آتی در پیش‌بینی‌های آب و هوایی و تغییرات در بارش، روند ثابتی را نخواهد داشت. این مسئله ممکن است به الگوهای هیدرولوژیکی شدیدتر خشکسالی-سیل منجر شود. بروز خشکسالی‌های شدید در سراسر جهان و اثرات ال‌نینو، موجب توسعه کمبود آب در چرخه آب و هوایی شده است. متعاقب این مسأله سطح آب‌های زیرزمینی، جریان‌های رودخانه‌ای و سطح دریاچه‌ها دچار نوسان شده که آن‌را اغلب خشکسالی هیدرولوژیکی می‌نامند. پیش‌بینی می‌شود طی ۳۰ تا ۵۰ سال آینده، بیشتر رودخانه‌های بزرگ جهان افزایش زیادی در فراوانی شرایط خشکسالی هیدرولوژیکی نسبت به رکوردهای تاریخی در قرن گذشته نشان دهند. در همین راستا بسیاری از منابع آبی مانند دریاچه‌ها و مخازن احتمالاً به طور مشابه تحت تأثیر قرار می‌گیرند. افزایش استحصال آب برای مقاصد مصرفی نیز احتمال وقوع خشکسالی‌های هیدرولوژیکی را بدون توجه به تغییر عوامل اقلیمی افزایش می‌دهد. از طرفی تلاش‌های انسانی برای کاهش اثرات انسانی بر تشدید بارش‌های شدید در مقیاس جهانی کمک چندان اطمینان بخشی نیست. تحقیقات انجام شده در حوزه منابع آبی و استفاده از مدل‌های پیش‌بینی حاکی از آن است که بسیاری از رودخانه‌ها فراوانی سیلاب خود را در این قرن افزایش می‌دهند . حرکت به سمت الگوهای هیدرولوژیکی شدیدتر خشکسالی-سیل می‌تواند پیامدهای عمیقی برای اکوسیستم‌های آب شیرین داشته باشد. بررسی پدیده‌های اقلیمی مانند خشکسالی و بروز سیلاب‌های مخرب در دهه‌های اخیر در جهان و حتی در ایران حاکی از آن است که **خشکسالی و سیل، دو روی یک سکه** هستند. شدت دوره‌های خشکی و نابودی پوشش گیاهی بسترهای خاکی که می‌تواند نقش موثر بر کاهش و کنترل سیل در مبدا داشته باشد، شرایط را برای شکل‌گیری سیل‌های کم‌نظیر فراهم نموده است.

رشد جمعیت مهمترین عامل کاهش سرانه آب تجدیدپذیر در کشور در قرن گذشته بوده است. چنانکه جمعیت ایران در سال ۱۳۰۶ حدود هشت میلیون نفر با سرانه آب ۱۳۰۰۰مترمکعب و در سال ۱۴۰۰ جمعیت کشور تقریبا ۸۳ میلیون نفر با سرانه آب کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب که در آستانه بحران است و این رشد جمعیت سرانه آب را بیش از ده برابر کاهش داده و در صورت ادامه این روند شرایط به مراتب وخیم‌تر خواهد شد. براساس آمار ثبت شده در سال ۱۳۸۶کل منابع آب تجدیدپذیر حدود ۸۹/۵ میلیارد مترمکعب است (طی ۱۳ سال اخیر این مقدار کاهش نیز داشته است)که حدود ۹۳ درصد آن در بخش کشاورزی و تقریبا ۶ درصد در بخش شرب و بقیه در سایر بخش‌ها مصرف شده است. نکته اصلی علل‌شناسی بحران آب ناشی از تحولات در بخش‌های مختلف اجتماعی است. وضعیت آب و هوایی به وجود آمده، موجب تشدید شرایط نامساعد منابع آب گشته که اگر علل انسان‌ساز را مد نظر داشته باشیم، مانند ۱-رشد سریع و الگوی نامناسب استقرار جمعیت ۲- کشاورزی ناکارآمد و بدون راهبرد علمی مشخص ۳- سوء مدیریت و عطش توسعه. ترکیب عوامل مذکور با تغییرات اقلیمی توانسته شرایط غیر قابل پیش‌بینی را در کشور به وجود آورد. از آنجا که ایران که در منطقهٔ خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده و در قرن اخیر، سیل و خشکسالی‌های شدید زیادی را تجربه کرده است، ارزیابی تغییرات بزرگی سیل و شدت خشکسالی‌های ایران برای سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۰، با تغییرات بازه زمانی در برخی ایستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای اقلیمی، مورد بررسی قرار

گرفته است و نشان از آن دارد که افزایش بزرگی سیل و شدت خشکسالی را می‌توان متأثر از ترکیب عوامل فوق‌الذکر دانست. هر چند بخش قابل توجهی از خسارات وارده به جوامع، ناشی از اثرات انسانی می‌باشد، اما سهم تغییرات جهانی اقلیمی (که آن‌هم بی‌ارتباط با فعالیت‌های انسانی نیست) را نباید فراموش نمود. سیلاب‌های رخ داده در سال ۱۳۹۸و وقوع خشکسالی کم‌نظیر در سال ۱۳۹۹ و بهبود شرایط بارشی در سال ۱۴۰۰ خود گواه نابسامانی شرایط آب و هوایی می‌باشد. لذا به‌نظر می‌رسد ارائه راهکارهای مدیریتی چه از جنبه سازه‌ای و یا غیر سازه‌ای برای مقابله با وقوع سیلاب، امری ضروری است. ارزیابی‌ها در گزارشات تهیه شده مربوط به سیلاب‌های رخ داده در سال ۱۳۹۸ حاکی از آن است که بی‌توجهی مدیریت حوضه‌های آبریز و آبخیر در ساماندهی نحوۀ بهره‌برداری از حریم و بستر رودخانه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. همچنین مطالعات متعدد در حوزه پژوهش‌های دانشگاهی و مراکز تحقیقاتی نشان از توسعه غیر علمی اراضی کشاورزی و غفلت از پتانسیل منابع آبی کشور، در سال‌های گذشته دارد. بی توجهی به روش‌ها و سنت‌های بکار رفته در گذشته برای استفاده از منابع آبِ محدود و تطابق شرایط بهره‌برداری و مصرف با میزان آب قابل استحصال، همچون حمایت و توجه به جریان آب قنات‌ها و نیز استفاده از سیلاب‌های فصلی با آب‌بندهای محلی (آنچه که در مناطقی از سیستان هنوز انجام می‌شود) در مناطق کم‌بارش و بهبود روش‌های آبیاری و افزایش بهره‌وری از آب در بخش کشاورزی و نظایر آن‌ها، امری طبیعی و معمول شده است.

آنچه از تجربۀ تاریخی حاصل می‌شود، اینکه باید با برنامه‌ریزی مناسب و استفاده از توان علمی کشور در حوزه‌های مختلف به خصوص بخش‌های پژوهشی و دانشگاهی، برنامه‌ای مدون و مطمئن که حاصل تجربیات و پژوهش‌های علمی باشد، به‌عنوان دستورالعمل مقابله با اثرات تغییر اقلیم که عوارض آن خشکسالی و سیل است را مد نظر قرار داده و تمامی ارگان‌های ذیربط را الزام به انجام آن نماییم. متأسفانه بخش زیادی از اقدامات انجام نشده در سال‌های گذشته علیرغم توصیه‌ها و تذکرات مکرر سبب بروز خسارات جبران‌ناپذیری شده است که اگر **گذشته چراغ راه آینده** نباشد، به‌تدریج به نابودی بسیاری از زیر ساخت‌ها و منابع کشور منتهی خواهد شد. همواره در نظر داشته باشیم خشکسالی و سیل رویدادی دو قطبی است و وقوع آن می‌تواند آسیب‌پذیری و افزایش خطر برای منابع انسانی و اقتصادی کشور را در برداشته، دیواری در مقابل توسعه سیاسی، اقتصادی ، اجتماعی ،فرهنگی و..... باشد.

یادداشت کوتاه

گذری بر اندرکنش سیل و خشکسالی

امیر سعدالدین/ دانشیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

آیا پدیده‌های سیل و خشکسالی با درنظرگرفتن مقیاس‌های مکانی و زمانی وقوع آنها، واقعاً دو روی یک سکه هستند؟ اگر سایر مقیاس‌ها نظیر مقیاس‌های اجتماعی، سازمانی و اکولوژیک را هم مدنظر قرار دهیم چه پاسخی به سوال بالا خواهیم داد؟ آیا اندرکنش[1] دو پدیده سیل و خشکسالی قابل تصور است و ابعاد آن چیست؟

برای پرداختن دقیق‌تر به این گونه مفاهیم و روابط، بایستی به زنجیره علت و معلول و نیز اثرات احتمالی هر یک از این دو پدیده و تغییراتی که در اکوسیستم ایجاد می‌کنند عمیق‌تر نگریست.

در زنجیره علت و معلول، در گروه عوامل طبیعی، وقوع بارش‌های حدی (کمینه‌ها و بیشینه‌ها) به عنوان ماشه‌های اصلی برای وقوع پدیده‌هایی مانند خشکسالی و سیل تلقی می‌شوند. در گروه عوامل انسان-ساخت می‌توان به تخصیص سرزمین به طور نامتوازن و غیرمنطقی، تغییر اقلیم تشدیدشونده و نیز حذف پوشش گیاهی طبیعی در اراضی سیل‌خیز بالادست اشاره کرد.

در مبحث اثرات، تخریب سرزمین[2] و از بین رفتن پوشش گیاهی هم در اراضی سیل‌خیز بالادست و هم در اراضی سیل‌گیر پایین دست و نیز تخریب اکوسیستم‌های آبکنار[4] و آبزی[5] از جمله اثرات مستقیم پدیده‌های سیل و خشکسالی هستند.

با عنایت به مطالب مورد اشاره در دو بند پیشین، یک بار دیگر به سوالات بند اول برمی‌گردیم. این بار با اطمینان بیشتر می توان پاسخ داد. دیگرنمی‌توان از فلسفه دو روی سکه بودن این پدیده‌ها براحتی دفاع کرد. به عبارت بهتر، تصور وجود اندرکنش پویا بین پدیده‌های مورد نظر قابل توضیح است و بایستی بر این اساس رویکردهای حکمرانی و مدیریتی را بنا نهاد.

به عنوان نمونه در مبحث علت‌ها، اگر به حدی‌ترشدن کمینه‌ها و بیشینه‌ها و نیز آشفتگی در پراکنش زمانی آنها ناشی از واقعیت تغییراقلیم تشدیدشونده توجه کنیم، پذیرش وقوع پدیده‌های سیل وخشکسالی با مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت نسبت به رفتار گذشته آنها، دیگر دور از انتظار نیست.

به عنوان نمونه دیگر در مبحث اثرات، ایجاد شرایط اثرات تجمعی[6] پس از وقوع هر یک از پدیده‌های سیل وخشکسالی را می‌توان ذکر کرد. بدین صورت که مثلاً وقوع سیل ممکن است منجر به تخریب کناره‌های رودخانه و نیز دشت سیلابی و اکوسیستم‌های آبزی و آبکنار شود. به طور یقین احیای طبیعی و حتی با دخالت انسان برای احیای این اکوسیستم‌ها به زمان قابل توجهی نیاز دارد تا امکان توالی اکولوژیکی[7] جوامع گیاهی و جانوری میسر شود. در این اثناء اگر وقایع کمینه اتفاق بیفتد، پدیده خشکسالی اثرات منفی فزاینده و مضاعف بر اکوسیستم‌های طبیعی و انسانی خواهد داشت.

نمونه‌ای دیگر از بروز اثرات تجمعی پس از وقوع پدیده خشکسالی قابل تصور است. بدین ترتیب که تخریب سرزمین و زوال اکوسیستم‌های مختلف از جمله اثرات مستقیم و غیرمستقیم خشکسالی است که به نوبه خود می‌تواند موجب افزایش ضریب رواناب و سیل‌خیزی و نیز کاهش ذخیره کانالی[8] در آبراهه‌ها شود. بدیهی است هر دو این اثرات می‌توانند موجب افزایش خطر سیل شوند. دو نمونه اخیر مورد اشاره به وجود حلقه‌های بازخورد پویا[9] بین پدیده‌های سیل و خشکسالی تأکید دارند.

همچنین بهتر است از منظری دیگر به نقش وقوع هر یک از پدیده‌های سیل و یا خشکسالی در افزایش آسیب‌پذیری[10] نسبت به وقوع پدیده دیگر به‌دلیل کاهش ظرفیت‌های سازگاری[11] و مدارا[12] ناشی از تلفات و یا خسارات مستقیم، غیرمستقیم، ملموس و ناملموس وارده پس از پدیده اول تأکید کرد.

در پایان پیام کلیدی و کاربردی نگارنده این نوشتار کوتاه چیست؟ در برخورد و تعامل با پدیده‌های سیل و خشکسالی تنها به معلول نپردازیم. توجه به زنجیره‌های علت و معلول برای تحقق حکمرانی و مدیریت جامع ریسک پدیده‌هایی مانند سیل وخشکسالی ضروری است. این رویکرد درعین حال موجب کاهش اثرات این نوع پدیده‌ها می‌شود و به نوبه خود به مدیریت اثرات تجمعی پدیده‌ها کمک شایانی خواهد کرد. پیام دیگر اینکه در کنار مولفه خطر[13] پدیده‌هایی مانند سیل و خشکسالی، توجه به مولفه‌های آسیب‌پذیری و در معرض بودن[14] می‌تواند نقش بسزایی در کاهش ریسک سیل و خشکسالی داشته باشد. پیام آخر این که لازمه تحقق حکمرانی جامع ریسک مخاطرات، اتخاذ رویکرد ریسک چند مخاطره‌ای[15] به جای پرداختن به ریسک مخاطرات به صورت انفرادی و جداگانه است.

1-Interaction
2-Land degradation
3-Riparian ecosystems
4-Riparian ecosystems
5-Aquatic ecosystems
6-Cumulative effects
7-Ecological succession
8-Channel storage
9-Dynamic feedback loops
10-Vulnerability
11-Adaptive capacity
12-Coping capacity
13-Hazard
14-Exposure
15-Multi-hazard risk approach

2022, Vol.8, No.4, Pages 1 to 10
Journal of Water and Sustainable Development

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ١ تا ١٠
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Technical paper

نوع مقاله: فنی و ترویجی

Investigating Effective Factors on Participation in Management of the Ghale-Chay Irrigation and Drainage Network

H. Yadavar

Assistant Professor, Department of Extension and Rural Development, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

E mail: h-yadavar@tabrizu.ac.ir

Received: 03-07-2021 Revised: 19-09-2021
Accepted: 20-09-2021 Available Online: 11-03-2022

بررسی عوامل موثر بر مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری سد قلعه چای

حسین یادآور

استادیار گروه ترویج و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران.

E-Mail: h-yadavar@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ١٤٠٠/٠٤/١٢ تاریخ بازنگری: ١٤٠٠/٠٦/٢٨
تاریخ پذیرش: ١٤٠٠/٠٦/٢٩ تاریخ انتشار: ١٤٠٠/١٢/٢٠

Abstract

In recent years, development strategies have changed from emphasizing the central role of the government to improving the participation of NGOs and non-governmental organizations. The present study aimed to survey effective factors on participation for management of the Ghale-Chay irrigation and drainage network in Ajabshir county of East Azerbaijan province. The research type was descriptive-correlational. The statistical population included 894 farmers. The sample size (n=201) was determined using a systematic random sampling method. Based on the experimental model and using SPSS26 software data analysis was performed. Data were collected using a questionnaire designed by the researcher. The results of multiple regression showed that in total 0.508% of the variance changes of the dependent variable "participation in irrigation network management" are explained. According to the rate of β statistics; the variables of education with -0.406 have the highest and the appropriate function variable with access to farms with the value of 0.197 have the least effect on participation in irrigation network management. It can be concluded about education that the current situation in network management does not meet the expectations of educated people. Therefore, regarding the proper function of access roads to farms, because the agricultural type of the region tends mainly towards the traditional, the effect of this variable from farmers' point of view is not significant.

Keywords: Ghale-Chay, Irrigation and Drainage Network, Management, Participation.

چکیده

در سال‌های اخیر راهبردهای توسعه از تأکید بر نقش مرکزی دولت، به بهسازی مشارکت بیشتر سازمان‌های غیردولتی و مردمی تغییر یافته است. هدف کلی تحقیق حاضر بررسی عوامل موثر بر میزان مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه آبیاری و زهکشی پایاب سد قلعه چای در شهرستان عجب شیر در استان آذربایجان شرقی بود. این پژوهش از نوع توصیفی-همبستگی بود. جامعه آماری شامل ۸۹۴ نفر کشاورزان بود. حجم نمونه با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی سیستماتیک به تعداد ۲۰۱ نفر انتخاب شدند. براساس مدل تجربی تحقیق و با استفاده از نرم‌افزار $SPSS_{۲۶}$ تجزیه و تحلیل داده‌ها انجام شد. داده‌ها با استفاده از یک پرسشنامه طراحی شده توسط محقق جمع‌آوری شد. نتایج رگرسیون چندگانه نشان داد که در مجموع ۰/۵۰۸ درصد تغییرات واریانس متغیر وابسته «مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری» تبیین می‌شود. با توجه به مقدار آماره β، متغیر تحصیلات با ۰/۴۰۶- بیشترین و متغیر کارکرد مناسب راه‌های دسترسی به مزارع با مقدار ۰/۱۹۷ کمترین تأثیر در مشارکت برای مدیریت شبکه آبیاری را دارند. در رابطه با تحصیلات می‌توان نتیجه گرفت وضعیت موجود در مدیریت شبکه، انتظارات افراد تحصیل کرده را برآورده نمی‌کند. در رابطه با کارکرد مناسب راه‌های دسترسی به مزارع، به جهت اینکه نوع کشاورزی منطقه عمدتاً به سمت سنتی گرایش دارد. ازاین‌رو اثر این متغیر از نگاه کشاورزان چندان معنادار نیست.

واژه‌های کلیدی: قلعه چای، شبکه آبیاری و زهکشی، مدیریت، مشارکت.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Yadavar H. 2022. Investigating Effective Factors on Participation in Management of the Ghale-Chay Irrigation and Drainage Network. Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 1-10. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2107.1058

مقدمه

آب، انرژی و خاک سه منبع مهم برای توسعه می‌باشند که فراهم‌سازی دسترسی پایدار به هر سه منبع و امنیت غذایی دشوارتر از هر زمان شده و همزمان افزایش جمعیت و رشد شتابان اقتصاد، فشار بر منابع طبیعی را تشدید کرده است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ میلادی حدود ۵۰-۴۰ درصد بر تقاضای موجود منابع به‌طورکلی و آب به طور خاص افزوده شود. براین‌اساس سال ۲۰۱۲ را "سال توسعه پایدار و دسترسی پایدار همگان به انرژی" نام گذاری کردند (European Union، ۲۰۱۲). در یک پیش‌بینی بر اساس شاخص فالکن مارك، ایران در آستانه بحران آبی قرار دارد. ارقام متوسط سرانه آب نشان‌دهنده ورود کشور به مرحله "تنش آبی" در سال ۱۳۸۵ و ورود به حد "کم‌آبی جدی" در سال ۱۴۱۵ شمسی می‌باشد (ساداتی و همکاران، ۱۳۹۱). در حال حاضر که بزرگترین مصرف کننده آب در کشور بخش کشاورزی است (سیدزاده، ۱۳۹۹) مدیریت بهتر آب می‌تواند تا اندازه‌ای راهگشا باشد. پایین بودن راندمان آبیاری در کشور به علت عدم مشارکت بهره‌برداران در تصمیم‌گیری، اجرا، مدیریت و نگهداری از شبکه‌های آبیاری است. چراکه راندمان نتیجه تأثیر بر هم کنش سه فاکتور ساختار، فرآیندها، و رفتارها به مفهوم کلی آن است، در یک نگاه کلی نقش عامل انسانی در این رابطه به طور مستقیم و غیر مستقیم بر ویژگی‌های محیط، برنامه‌ها و طرح و پروژه‌های اجرا شده و نیز رفتارهای حرفه‌ای کلیه افراد مرتبط در فرآیندهای زیستی به‌طورکلی و تولید کشاورزی به‌طور خاص تأثیر می‌گذارد که راندمان یک شاخص برای ارزیابی نوع بر هم کنش آنها است. در این رابطه سیاست مشارکت بهره‌برداران در مراحل شبکه‌های آبیاری بیشتر به لحاظ ناتوانی سازمان‌های دولتی مسئول در امر ساماندهی بخش آب و نیز عدم تأمین هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری این شبکه‌ها، مورد توجه خاص قرار گرفته و سیاست ایجاد انگیزه و تشویق بهره‌برداران برای مشارکت در احداث شبکه‌ها مطرح است (خدری و آجیلی،۱۳۸۵). در یک نگاه کلی حاصل از مرور منابع علمی و مشاهدات میدانی می‌توان ادعا نمود که توسعه فیزیکی شبکه‌های آبیاری و زهکشی در کشور به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در شرایط: ۱) بی‌توجهی به نقش جامعه بهره‌بردار محلی، ۲) عدم رعایت مناسبات نظام‌های اجتماعی و الگوهای بهره‌برداری از منابع،۳) فقدان بستر مناسب برای مشارکت بهره‌برداران در سطوح مختلف تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی، طراحی، اجرا و بهره‌برداری اقتصادی و بهینه از شبکه‌ها بوده و هست. این وضعیت مشکلات بی‌شماری چون؛ ۱)کاهش راندمان انتقال و استفاده از آب، ۲)توزیع نابرابر و ناعادلانه آب در پایاب و سرآب شبکه، ۳)نارضایتی کشاورزان، ۴)کاهش ظرفیت آبرسانی شبکه، ۵) شوری و مانداب شدن اراضی، ۶)تغییر الگوی کشت، ۷)عملکردهای متفاوت در بین کشاورزان و اراضی با موقعیت‌های همسان، ۸) تخریب سازه‌ها و ساختار فیزیکی شبکه‌ها، و ۹)مصرف بی‌رویه منابع آب را به همراه خواهد داشت.

در سال‌های اخیر راهبردهای توسعه از تأکید بر نقش مرکزی دولت، به بهسازی مشارکت بیشتر سازمان‌های غیردولتی و مردمی تغییر یافته است. به راستی دولت‌ها به دلیل شکست در تأمین هزینه‌های مالی آبیاری و با اهداف بازگرداندن هزینه‌های آبیاری از کشاورزان، سعی در جلب مشارکت هر چه بیشتر گروه‌های محلی در مدیریت نظام‌های آبیاری دارند (نوری‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). اکنون سؤال بنیانی، تأثیر مشارکت و بودن یا نبودن آن در مدیریت آبیاری نیست. بلکه سؤال اساسی چگونگی مشارکت است که باید پاسخ داده شود، مشارکت چگونه برقرار می‌شود و به چه پیش زمینه‌هایی نیاز دارد و چگونه به یک سازوکار پایدار تبدیل می‌شود؟ بنابراین برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت سامانه‌های منابع آب برای تحقق اهداف توسعه پایدار در یک منطقه؛ نیازمند مشارکت همگانی است و از آنجایی‌که تدوین نظام بهره‌برداری منابع و مصرف آب جز با تفکر، نگرش و برنامه‌ریزی سیستمی و استفاده از دانش بومی و مشارکت جوامع محلی امکان‌پذیر نیست. هدایت کردن سرمایه‌گذاری‌ها از منابع دولتی به سوی منابع غیردولتی و واگذاری امور به مردم نیازمند ایجاد تشکل‌های مردم-نهاد می‌باشد. در این راستا، تعیین راهکارهای جدید و مناسب برای تحقق ابعاد و سطوح مختلف مشارکت مردم در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی نیازمند بررسی‌های عمیق، دقیق، جامع و بهره‌جویی از دیدگاه‌های مشارکت‌مدارانه می‌باشد که تحقق این مهم در نتیجه اتخاذ راهبرد برنامه‌ریزی، مدیریت مشارکت-مدار و انتقال مدیریت و در نهایت واگذاری قدرت به جوامع محلی میسر است. از آنجاکه مطالعه مرتبط با موضوع تحقیق پیش‌رو در شهرستان عجب‌شیر صورت نگرفته است ازاین‌رو مستندات متقن در خصوص کمیت و کیفیت مسائل مبتلابه در دسترس نمی‌باشد.

بااین‌حال در یک جمع‌بندی با توجه به پیش‌بینی‌های موجود درباره بحران منابع آب در آینده در کشورمان و جهان، وجود مشکلات در شبکه‌های آبیاری به‌طورکلی و شبکه قلعه چای در عجب‌شیر به طور خاص، راندمان پایین آب در شبکه‌ها، ناتوانی ساختارهای دولتی در مدیریت بهینه شبکه‌های آبیاری، عدم جامع‌نگری و چندبعدی دیدن واقعیات در طراحی اغلب شبکه‌های آبیاری و در نهایت ضرورت واگذاری و انتقال مدیریت شبکه‌ها به مردم بر اساس سیاست‌ها و دیدگاه‌های متولیان امور، پرداختن به مشارکت در مدیریت شبکه‌ها امری مهم و دارای اهمیت همیشگی است.

به‌طورکلی، مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی از طریق سه بخش: عمومی یا دولتی، خصوصی و تشکل‌های مردم-نهاد صورت می‌پذیرد. در کنار مدیریت عمومی یا دولتی، مدیریت از طریق این

تشکل‌ها در حال حاضر، در جهان به جریان اصلی مدیریت آبیاری تبدیل شده است ولی مدیریت بخش خصوصی در عمل با ساختار مدیریت آبیاری که دربرگیرنده تعداد زیادی از کشاورزان کوچک است، تناسب ندارد. از طرف دیگر مدیریت آبیاری مشارکتی، که بر مدیریت آبیاری و زهکشی از طریق تشکل‌های مردم-نهاد مبتنی است، بر این موضوع تاکید دارد که استفاده کنندگان آب در تمامی مراحل و همه سطوح مدیریت آب نقش پرداز باشند (صوفی و همکاران، ۱۳۹۲). تجارب مختلف نشانگر ضرورت مشارکت مردمی و واگذاری و تفویض اختیار و مسئولیت‌های مدیریتی شبکه‌های آبیاری به این تشکل‌ها به‌عنوان ابزار موثر در پایداری کشاورزی فاریاب است (Routary، ۲۰۰۷؛ Taley و Belsare، ۲۰۰۷)

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد عدم تمایل کشاورزان به مشارکت می‌تواند ناشی از: توزیع ناعادلانه آب، عدم تحویل به موقع آب، نارضایتی از پیمانکاران ایستگاه‌های پمپاژ، فاصله اراضی کشاورزان تا دریچه‌های تقسیم‌کننده آب، فرسودگی شبکه‌های آبیاری، عدم نظرخواهی از کشاورزان درخصوص مسائل جاری و آتی ایستگاه‌های پمپاژ و به فروش نرفتن محصولات کشاورزی پس از برداشت باشد (اطاعتی، ۱۳۸۰). متغیرهای میزان حقابه، سن، نوع شبکه، آب‌بها و مساحت اراضی در مشارکت کشاورزان برای بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری موثر هستند (کریمی و نیکنامی، ۱۳۸۹). توسعه فیزیکی شبکه‌های آبیاری، بدون توجه به نقش جامعه بهره‌برداران محلی و مشارکت آنان در سطوح مختلف تصمیم‌گیری امری بیهوده است و برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت سامانه‌های منابع آب برای تحقق اهداف توسعه پایدار در یك منطقه نیازمند مشارکت همگانی است (زارعی دستگردی و همکاران، ۱۳۸۵). باتوجه‌به اینکه راهبرد جدید توسعه کشاورزی تغییر رفتار است و از طریق تغییر دانش و نگرش و اصلاح یا ایجاد الگوهای جدید بهره‌برداری از منابع پایه امکان‌پذیر نخواهد بود و از آنجایی‌که مقوله مشارکت مردمی بیشتر یک موضوع اجتماعی و فرهنگی است، باید سرمایه‌گذاری بیشتری در زمینه آموزش و فرهنگ‌سازی صورت گیرد (خسروی‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). مدیریت مشارکت موجب افزایش مسئولیت‌پذیری و رضایت‌مندی کشاورزان در نگهداری و بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری می‌شود و این نوع مدیریت در مقایسه با مدیریت بخش دولتی تفاوت معناداری در عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی دارد. (خوش‌نواز و محمودی‌کوهی، ۱۳۹۶). برخی موانع مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری شامل؛ مشکلات اقتصادی، عدم وجود تفاهم و همکاری بین کشاورزان، بی‌توجهی به آموزش و ناکافی بودن آب توزیعی است و فقدان نظارت علمی و دقیق بر تنظیم و تحویل آب در شبکه، فرسودگی بعضی از سازه‌ها، آسیب‌رساندن کشاورزان به دریچه‌ها و عدم کالیبراسیون سازه‌های تحویل آب از علل عمده غیر مطمئن بودن تحویل آب به کشاورزان می‌باشد (نجفی و شیروانیان، ۱۳۸۵). عدم حمایت دولت و رضایت‌بخش نبودن نتایج طرح‌های آبیاری، نفوذ گروه‌های پرقدرت، عدم تناسب طرح با منطقه و بی‌اعتمادی به وعده‌های دولتی در فرآیند مشارکت در مدیریت آبیاری موثر است (امید و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین تماس با منابع اطلاعاتی مورد اطمینان کشاورزان در رابطه با شبکه، سطح اطلاعات و آگاهی کشاورزان از کمیت و کیفیت شبکه، نگرش گروه مرجعی که کشاورزان به آنها تعلق دارند و نگرش کشاورزان به انجمن‌های آب‌بران به‌عنوان سازه‌های پراهمیت و معنی‌دار در پیش‌بینی میزان مشارکت کشاورزان در مدیریت آبیاری موثر است (احمدوند و شریف‌زاده، ۱۳۸۸). از نظر عملیاتی ایجاد تشکل‌های پایلوت، برگزاری نشست‌های مشترک با مردم و گفتگو و تبادل نظر با آنان در رابطه با شبکه آبیاری، اطلاع‌رسانی و آگاه‌سازی کشاورزان راجع به نقش و کارکرد مشارکت در مدیریت آبیاری، تعیین دقیق اندازه اراضی برای جلوگیری از بروز رفتارهای تنش‌زا بین کشاورزان که می‌تواند مانع مشارکت باشد، نصب ادوات اندازه‌گیری دقیق مصرف آب بر روی دریچه‌ها و دریافت آب‌بها بر اساس حجم باعث رفع ابهام‌ها و زمینه‌ساز جلب مشارکت بیشتر مردم در مدیریت شبکه و ایجاد و توسعه تشکل‌های آب‌بران می‌شود (باقری و یادآور، ۱۳۹۱). همچنین درخصوص جلب مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبیاری، مراحل آن را به شرح ذیل مطرح می‌شود: مشارکت در مرحله طراحی و ساخت شبکه، مشارکت در نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی، مشارکت در حفاظت از سازه‌های شبکه، همکاری در اصلاح الگوی کشت منطقه، یکپارچه‌سازی اراضی، ارائه مشاوره در برنامه‌ریزی دقیقتر زمان آبیاری، همکاری در حفاظت از حریم شبکه‌های آبیاری و زهکشی و نیز همکاری در حفاظت از کانالت‌ها (ورجاوند و همکاران، ۱۳۹۷).

مطالعه Koopen (۲۰۰۲) نشان داد بین فقر و امکان انتقال مدیریت منابع آب به کشاورزان رابطه معکوس وجود دارد. درحالی‌که اندازه مزرعه به‌عنوان یک متغیر واسطه، از طریق درآمد بر میزان مشارکت کشاورزان اثر مثبت دارد. همچنین کشاورزان واقع در پایاب به‌منظور دریافت آب بر اساس برنامه‌ریزی، نسبت به مشارکت در مدیریت امور آب گرایش بیشتری دارند. تحصیلات، تجربه، میزان مالکیت اراضی و زمینه‌های فرهنگی و اجتماعی-اقتصادی، ناتوانی کشاورزان برای تامین بودجه کافی و نرخ پایین جمع‌آوری بودجه برای بهره‌برداری و نگهداری از شبکه به علت مشکلات فنی، نهادی و غیرفنی، از جمله موانع مدیریت مشارکتی آبیاری است (Hafied و Gany، ۲۰۰۷). سطح اطلاعات و آگاهی کشاورزان از انجمن آب‌بران، تعدادخانوار، درآمد و تجربه پیشین کشاورز در اختلاف و تضاد بر سر مسائل آب و آبیاری از عوامل تأثیرگذار در مشارکت کشاورزان برای ایجاد انجمن‌های آب‌بران

بوده‌اند (Qiao و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین اگر آب به‌طور دقیق در سراسر شبکه آبیاری توزیع نشود کشاورزان رغبتی برای مشارکت در مدیریت آبیاری نخواهند داشت (Zmen، ۲۰۱۴). مشاهدات میدانی در قلمرو جغرافیایی تحقیق حاکی از وجود مسائلی از نظر توسعه فیزیکی شبکه آبیاری بدون توجه به نقش جامعه بهره‌بردار محلی و عدم رعایت مناسبات نظام‌های اجتماعی در منطقه است. ازاین‌رو برای بررسی علل موثر بر مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه آبیاری پایاب سد قلعه چای تحقیق حاضر بر مبنای مدل تجربی شکل (۱) انجام شد.

در این شکل اجزای تشکیل دهنده مدل به شرح ذیل بودند:

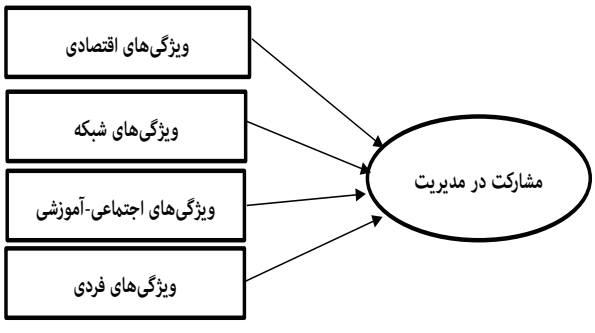
-عامل ویژگی‌های اقتصادی شامل متغیرهای: میزان اراضی، میزان برداشت محصول قبل و بعد از اجرای شبکه، هزینه‌های تولید.

-عامل ویژگی‌های شبکه شامل متغیرهای: کارکرد مناسب راه‌های دسترسی به مزارع، کیفیت کانال‌های آبیاری، زهکش‌های تعبیه‌شده، وضعیت شیب شبکه، نحوه توزیع آب، میزان تسهیل عملیات کشاورزی پس از احداث شبکه.

-عامل ویژگی‌های اجتماعی-آموزشی شامل متغیرهای: عضویت در تشکل آب‌بران، شرکت در کلاس‌های ترویجی و جلسات توجیهی، توجه به توصیه مروجین.

-عامل ویژگی‌های فردی شامل متغیرهای: سن، تحصیلات، جنسیت، تأهل، شغل اصلی، سابقه، ضرورت همکاری با دیگران، بعدخانوار.

-عامل مشارکت در مدیریت شامل متغیرهای: تقبل بخشی از هزینه‌ها، قبول مسئولیت، صرف وقت برای پیگیری امور.

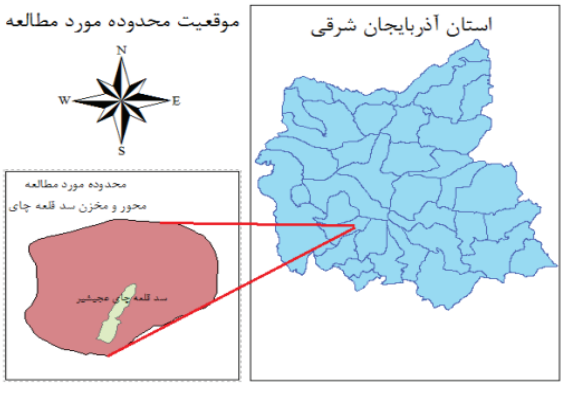


شکل ۱- مدل تجربی تحقیق

مواد و روش

مطالعه حاضر از نظر هدف از نوع توصیفی-تحلیلی و همبستگی، از نظر میزان نظارت و درجه کنترل از نوع پژوهش میدانی بود. قلمرو جغرافیایی تحقیق شامل پنج روستا از روستاهای پایاب سد قعله چای شهرستان عجب شیر بود. در ادامه موقعیت جغرافیایی قلمرو مطالعه به تفکیک تقسیمات تا سطح روستاها ارائه می‌شود (شکل‌های ۲ تا ۶).

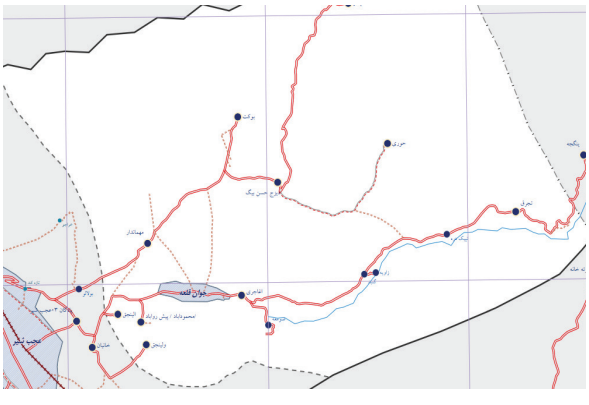
شکل ۲- موقعیت سد قلعه چای بر اساس حوضه آبریز



شکل ۳- موقعیت شهرستان عجب شیر بر اساس تقسیمات کشوری استان آذربایجان شرقی

شکل ۴- موقعیت سد قلعه چای در شهرستان عجب شیر

شکل ۵- موقعیت روستاهای پایاب سد قلعه چای در شهرستان عجب شیر



شکل ۶- موقعیت برخی از روستاهای پایاب سد قلعه چای شهرستان عجب‌شیر در مطالعه حاضر

جامعه آماری تحقیق تعداد ۸۹۴ نفر کشاورز بودند. نمونه‌گیری با روش احتمالی از نوع سیستماتیک انجام شد. برای به‌دست‌آوردن حجم نمونه، پیش‌آزمون با تعداد ۳۰ نفر از کشاورزان در یک روستای دیگر خارج از قلمرو تحقیق با مصاحبه حضوری انجام شد. برای به‌دست‌آوردن حجم نمونه از رابطه (۱) استفاده شد:

$$n = \frac{\frac{p.q\,t^2}{d^2}}{1 + 1/N\left[\left(\frac{p.q\,t^2}{d^2}\right) - 1\right]} \qquad (۱)$$

در این رابطه n= حجم نمونه، P=احتمال وجود صفت مورد مطالعه، q=احتمال عدم وجود صفت مورد مطالعه، N= تعداد کل جامعه آماری، d= میزان دقت مطلوب و t= برابر با ۱/۹۶ در سطح ۵ درصد معنی داری است. با استفاده از فرمول کوکران حجم نمونه نهایی ۲۰۱ نفر تعیین شد (جدول ۱).

$$n = \frac{\frac{0/5 \times 0/5 \times 1/96^2}{0/061^2}}{1 + 1/894\left[\left(\frac{0/5 \times 0/5 \times 1/96^2}{0/061^2}\right) - 1\right]} = 201$$

جدول ۱- وضعیت توزیع نمونه در روستاهای مورد مطالعه

نام روستا	تعداد کل	تعداد نمونه	درصد از کل
گنبد	۲۲۳	۵۰	۲۴/۹
صومعه	۱۱۳	۲۵	۱۲/۶
خانیان	۲۴۴	۵۵	۲۷/۳
بولالو	۷۴	۱۷	۸/۳
مهرآباد	۲۴۰	۵۴	۲۶/۸
جمع	۸۹۴	۲۰۱	۱۰۰

جهت گردآوری داده‌ها، باتوجه‌به اینکه پرسشنامه استانداردی در این زمینه وجود نداشت از نمونه طراحی شده توسط محقق استفاده شد. پرسشنامه مذکور درپنج بخش بر اساس مدل تحقیق بود که محتوای پرسشنامه شامل ۱۹ گویه برای سنجش متغیرهای مستقل (مندرج در جدول ۲) و سه گویه برای سنجش متغیر وابسته تحقیق (شامل: تقبل بخشی از هزینه‌ها، قبول مسئولیت، صرف وقت برای پیگیری امور) بود. ضریب اعتبار پرسشنامه بر اساس میزان آلفای کرونباخ بین ۰/۷۵ تا ۰/۹۲ برای بخش‌های مختلف تعیین شد. متغیرهای مستقل در این تحقیق از سه منبع شامل: ۱) مرور منابع و ادبیات مربوط، ۲) بررسی و احصاء نتایج تحقیقات داخلی و خارجی انجام شده در این زمینه و ۳) مشاهدات میدانی از وضعیت شبکه آبیاری و جامعه محلی کشاورزان، به‌دست آمد. متغیرها شامل: متغیرهای تشکیل دهنده ویژگی اقتصادی، ویژگی شبکه آبیاری، ویژگی اجتماعی-آموزشی و ویژگی فردی و نیز متغیر وابسته تحقیق، مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از رگرسیون چندگانه و نرم‌افزار $SPSS_{۲۶}$ انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس یافته‌ها، میانگین سن کشاورزان حدود ۵۱ با انحراف معیار ۷/۴ سال بود. متوسط سابقه کشاورزی ۳۸/۴ سال به‌دست آمد. بیشتر کشاورزان (۳۳/۸۰٪) تحصیلات خواندن-نوشتن و ابتدایی داشتند که آماره میانه در حد سواد پایان دوره راهنمایی بود. ۸۲/۵۰٪ از کشاورزان فعال در حوزه شبکه آبیاری مالک بودند. ۶۳/۸۰٪ از کشاورزان مورد مطالعه عضو تعاونی بودند.۵۶/۳٪ آنها قبل از اجرای شبکه آبیاری در روستای خود نمونه پایلوت از شبکه را مشاهده نکرده بودند. میانگین زمین زراعی کشاورزان مورد مطالعه برابر با ۴/۵ هکتار بود. اراضی ۲-۱ هکتار با ۶۸/۸ درصد بیشترین فراوانی را داشتند. تأثیر اجرای شبکه در کاهش هزینه‌های تولید را ۳۰٪ کشاورزان در حد کم، ۴۲/۵٪ تاحدودی و ۲۷/۵ ٪ در حد زیاد موثر دانستند. میانگین برداشت محصول بعد از اجرای شبکه از ۳/۷ به ۴/۱ تن در هکتار افزایش یافته است.

به منظور تعیین رابطه بین متغیرهای مستقل موجود در هر ویژگی بر اساس مدل تجربی مندرج در شکل (۱) با متغیر وابسته مشارکت در مدیریت شبکه در طی چهار مرحله از تحلیل همبستگی اسپیرمن استفاده شد. نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد متغیرهای "کارکرد مناسب راه‌های دسترسی به مزارع"، "میزان تأثیر شبکه در کاهش هزینه‌های تولید"، "تأثیر شبکه در میزان سهولت در عملیات کشاورزی"، "کیفیت کانال‌های آبیاری احداث شده" ، "تأثیر شبکه در نحوه توزیع آب"، "میزان شرکت در کلاس‌های ترویجی و جلسات توجیهی" و "تأثیر کلاس‌های ترویجی و جلسات توجیهی در تمایل به مشارکت در مدیریت شبکه" به‌ترتیب بالاترین رابطه مثبت با میزان مشارکت در مدیریت شبکه، و متغیرهای "میزان تحصیلات" و "تعداد اعضای خانوار" بالاترین رابطه منفی با متغیر وابسته تحقیق داشتند. (جدول ۲).

برای پیش‌بینی تغییرات واریانس متغیر وابسته از روش تحلیل رگرسیونی از نوع گام به گام استفاده شد. یکی از مفروضاتی که در رگرسیون مدنظر است، استقلال خطاها (تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله رگرسیون) از یکدیگر است. به این منظور در این پژوهش از آزمون دوربین-واتسون استفاده شد. بر اساس جدول (۳) مقدار آزمون دوربین-واتسون برابر با ۱/۷۴۶ به‌دست آمد که در بازه ۱/۵ تا ۲/۵ قرار دارد. بنابراین عدم همبستگی بین خطاها (استقلال خطاها) پذیرفته می‌شود و می‌توان از تحلیل رگرسیونی استفاده کرد. به‌این‌منظور تعداد ۱۹ متغیر وارد تحلیل رگرسیونی شدند که ۶ متغیر رابطه خطی به معنی تأثیرگذاری بر متغیر وابسته را داشتند. آماره بتا در جدول (۳) نشان می‌دهد نقش متغیر "تحصیلات" در مشارکت یا عدم مشارکت بیش از سایر متغیرها می‌باشد. بر این اساس متغیرها به ترتیب مقدار عددی بتا در تغییرات واریانس مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری نقش دارند. کمترین آن مربوط به متغیر" کارکرد مناسب راه‌های دسترسی به مزارع " می‌باشد. باتوجه‌به جدول (۳) متغیر تحصیلات به‌عنوان قوی‌ترین متغیر وارد تحلیل شد که با ضریب رگرسیونی ۴/۴۷- به تنهایی ۲۲ ٪ تغییرات متغیر وابسته را می‌تواند تبیین می‌کند. در مرحله دوم، متغیر "میزان تأثیر شبکه در کاهش هزینه‌های تولید" به همراه متغیر اول توانستند حدود ۳۴٪ تغییرات مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه را پیش‌بینی کنند. به همین ترتیب در مرحله آخر کیفیت کانال‌های آبیاری احداث شده، تأثیر معنی‌داری بر متغیر مشارکت داشته که در ۶ گام در مجموع حدود ۵۱ درصد از تغییرات واریانس متغیر وابسته مشخص شد (جدول ۳).

جدول ۲- وضعیت همبستگی بین متغیرهای مستقل تحقیق با مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری (n=۲۰۱)

ویژگی	متغیر مستقل	ضریب اسپیرمن	P
فردی	سن	۰/۲۶۵**	۰/۰۱۷
	سابقه کشاورزی	۰/۱۹۳	۰/۰۸۶
	میزان تحصیلات	-۰/۴۵۰**	۰/۰۰۰
	تعداد اعضای خانواده	-۰/۳۳۸**	۰/۰۰۲
اجتماعی-آموزشی	ضرورت همکاری با دیگران از طریق عضویت در تعاونی	۰/۱۴۷	۰/۱۹۲
	میزان شرکت در کلاس‌های ترویجی و جلسات توجیهی	۰/۳۵۲**	۰/۰۰۱
	تأثیر کلاس‌های ترویجی و جلسات توجیهی در تمایل به مشارکت در مدیریت شبکه	۰/۳۱۵**	۰/۰۰۴
	میزان توجه به توصیه مروجین	۰/۱۱۰	۰/۳۳۱
	تعداد شبکه‌های مشاهده شده قبل از اجرای شبکه در روستای خود	۰/۱۱۲	۰/۳۲۰
اقتصادی	میزان زمین زراعی	۰/۱۱۱	۰/۳۲۶
	میزان برداشت محصول گندم قبل از اجرای شبکه	۰/۰۰۲	۰/۹۸۳
	میزان برداشت محصول گندم بعد از اجرای شبکه	۰/۰۸۴	۰/۴۵۹
	میزان تأثیر شبکه در کاهش هزینه‌های تولید	۰/۴۴۴**	۰/۰۰۰
شبکه	کارکرد مناسب راه‌های دسترسی به مزارع	۰/۵۱۳**	۰/۰۰۰
	تأثیر شبکه در نحوه توزیع آب	۰/۳۶۷**	۰/۰۰۱
	کیفیت کانال‌های آبیاری احداث شده	۰/۳۷۳**	۰/۰۰۱
	کیفیت زهکش‌های تعبیه شده	۰/۰۹۷	۰/۳۹۲
	میزان مناسب بودن شیب شبکه	۰/۱۱۷	۰/۳۰۰
	تأثیر شبکه در میزان سهولت در عملیات کشاورزی	۰/۴۳۸**	۰/۰۰۰

جدول ۳- نتایج تحلیل رگرسیونی متغیرهای مستقل با میزان مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری و زهکشی (n=۲۰۱)

گام	متغیر مستقل	R	R^2	R^2_{Ad}	T	B	β	P
۱	(X۱) میزان تحصیلات	۰/۴۶۹	۰/۲۲۰	۰/۲۱۰	-۴/۵۷۷	-۴/۴۷۲	-۰/۴۰۶	۰/۰۰۰
۲	(X۲) میزان تأثیر شبکه در کاهش هزینه‌های تولید	۰/۵۸۶	۰/۳۴۴	۰/۳۲۷	۳/۲۷۲	۲/۴۳۴	۰/۲۸۱	۰/۰۰۲
۳	(X۳) تأثیر شبکه در میزان سهولت در عملیات کشاورزی	۰/۶۴۶	۰/۴۱۸	۰/۳۹۵	۲/۲۵۶	۱/۱۹۸	۰/۲۱۵	۰/۰۲۷
۴	(X۴) کارکرد مناسب راه‌های دسترسی به مزارع	۰/۶۷۰	۰/۴۴۹	۰/۴۱۹	۲/۰۵۲	۴/۱۳۰	۰/۱۹۷	۰/۰۴۴
۵	(X۵) میزان شرکت در کلاس‌های ترویجی و جلسات توجیهی	۰/۶۹۳	۰/۴۷۸	۰/۴۳۶	۲/۷۲۳	۱/۶۴۷	۰/۲۵۸	۰/۰۰۳
۶	(X۶) کیفیت کانال‌های آبیاری احداث شده	۰/۷۱۳	۰/۵۰۸	۰/۴۶۸	۳/۰۱۱	۱/۹۱۲	۰/۲۷۰	۰/۰۳۲
	دوربین-واتسون: ۱/۷۴۶							

یافته‌ها نشان می‌دهد از نظر ویژگی فردی با افزایش سن، مشارکت افزایش می‌یابد. چراکه با اجرای شبکه آبیاری تا حد زیادی از مشکلات و زحمات کشاورزان در فعالیت‌های آبیاری مزرعه نظیر: هدایت و انتقال آب از انهار به همدیگر، مهار بهتر آب و غیره کاسته شده است لذا کشاورزان فکر می‌کنند به هر میزان در مدیریت شبکه مشارکت بیشتر نمایند این امر می‌تواند به بهبود شرایط کاری آنها در مزرعه کمک کند. به دلیل اینکه فعالیت‌های تولید در بخش کشاورزی عمدتا توان-محور هستند و نیاز به قدرت بدنی دارند. همچنین افراد مسن تأثیر شبکه آبیاری برای کمک به رفع مشکلات آنها در رابطه با عملیات مزرعه مانند آبیاری با روش‌های سنتی که قبل از احداث شبکه متداول بود را مثبت ارزیابی می‌کنند و آنها نسبت به جوانترها نگرش مثبت‌تری به مشارکت در مدیریت شبکه دارند. با بالا رفتن میزان تحصیلات افراد، تمایل به مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری روند کاهشی داشت. طبیعی است که با افزایش تحصیلات، دانش فرد از کمیت و کیفیت اجرای شبکه و نیز انتظارات از کارکرد آن بالا رود و چنانچه این انتظارات تامین نشود، فرد در وضعیت ناراضی قرار گیرد. از نظر ویژگی حرفه‌ای، کارکرد ترویج با مشارکت در مدیریت مرتبط است. در این رابطه برگزاری کلاس و جلسات توجیهی با ایجاد و استمرار اطلاع‌رسانی و افزایش آگاهی کشاورزان از مزایای شبکه رابطه دارد. به تعبیر دیگر بخش ترویج می‌تواند با تغییر در نگرش افراد برای ورود به فرآیند مشارکت در مدیریت و متعاقب آن با پیگیری‌های لازم که در جریان آموزش یک اصل پذیرفته شده می‌باشد، به امر مشارکت کمک نماید تا از منظر اقتصادی، شبکه آبیاری منجر به کاهش هزینه‌های تولید از طریق جلوگیری از پرت آب و افزایش راندمان انتقال آب شود که به‌طور غیرمستقیم هزینه واحد آب در تولید را کم می‌کند. یافته تحقیق نشان می‌دهد با کاهش هزینه‌ها میل برای مشارکت در مدیریت بیشتر خواهد شد. از جنبه ویژگی‌های شبکه، رعایت نکات لازم در خصوص طراحی و کارکرد مناسب راه‌های دسترسی به مزارع پس از احداث شبکه، رابطه مثبت با مشارکت در مدیریت شبکه دارد. در مقام دوم رابطه، تأثیر شبکه در میزان سهولت در عملیات کشاورزی با مشارکت قابل توجه است. به بیان دیگر امتیاز ویژه شبکه را باید در تسهیل فعالیت‌های زراعی به‌ویژه فعالیت های مرتبط با آبیاری که اغلب انرژی‌بر است و اگر به‌طور سریع اتفاق نیفتد ممکن است به هدررفت آب منجر شود دانست. همچنین متغیرهای کیفیت کانال‌های احداثی برای انتقال آب با مشارکت در مدیریت شبکه رابطه همراستایی را نشان می‌دهد. این متغیر از این جهت که به تعدیل و کاهش ضایعات منابع مختلف همچون آب و نیروی انسانی دخیل بر فرآیند تولید و نیز به‌طور غیرمستقیم در کاهش هزینه‌های تولید و افزایش درآمد اثرگذار است توجیه منطقی دارد. نکته حائز توجه نبود رابطه معنی‌دار بین کیفیت زهکش‌ها با مشارکت است. از دید کشاورزان در شبکه آبیاری قلعه چای، طراحی زهکش‌ها دچار مشکل است و شاید بهتر است ادعا شود از آنجاکه کشاورزان با زمینه طراحی چندان آشنا نیستند، ناکارآمدی شبکه را بیشتر به عملکرد سازه‌ها وابسته می‌کنند.

متوسط سن کشاورزان بالا می‌باشد، در نتیجه سالمندی وضعیت غالب در ترکیب نیروی انسانی است. پیشنهاد می‌شود روش‌های آموزشی، ترویجی و اجرایی مورد نیاز در شبکه آبیاری با در نظر گرفتن شرایط سنی کشاورزان باشد. سواد نیمی از کشاورزان حداکثر تا پایان دوره راهنمایی است. در نتیجه امکان استفاده از منابع متعدد کسب دانش و معلومات که متکی بر سطح سواد بالاتر باشد برای آنها چندان عملی نیست. پیشنهاد می‌شود روش‌های آموزشی-ارشادی کمتر متکی بر سواد باشند و توجه به تنوع در روش‌های مورد استفاده با تاکید بر عمل-محوری باشد. بیش از نصف افراد مورد مطالعه پیش از اجرای شبکه آبیاری هیچ نمونه مشخص از شبکه را در جای دیگر به صورت پایلوت

مشاهده نکرده بودند. امر می‌تواند باتوجه‌به مشاهدات میدانی و پاسخ‌های کشاورزان در رابطه با کارکرد اداره ترویج شهرستان عجب شیر، نشانگر عدم توجه این اداره به ضرورت این امر یا عدم امکان برگزاری بازدید برای کشاورزان از دیگر شبکه‌های آبیاری و زهکشی باشد. نزدیک به دو سوم کشاورزان مورد مطالعه معتقد بودند اجرای شبکه در کاهش هزینه‌های تولید آنها موثر بوده است. از آنجایی‌که کشاورزان در پذیرش نوآوری‌ها به متغیر کاهش هزینه توجه خاص دارند. پیشنهاد می‌شود تصمیم‌گیران به امکان‌سنجی کاهش هزینه‌ها توجه نمایند.

متغیر افزایش سن کشاورزان با میزان مشارکت در مدیریت شبکه رابطه مثبت دارد. بیشتر افراد مسن با داشتن تجربه زیاد، گمان می‌کنند دیگران آن‌گونه که باید در ایفای نقش مدیریتی توانمند نیستند و آنها اگر در جایگاه تصمیم‌گیری قرار گیرند می‌توانند بهتر امور را مدیریت کنند. با افزایش تحصیلات، تمایل به مشارکت در مدیریت شبکه روند کاهشی دارد. این امر می‌تواند دلیلی بر آن باشد که هر چه سواد بالاتر می‌رود ناچار دقت و توجه آنها نسبت به ماهیت شبکه و کارکرد آن بیشتر می‌شود. در نتیجه سوالات بسیاری پیش می‌آید که ممکن است ناشی از تناقضات محسوس باشد. بین متغیرهای بعد خانوار و مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری میزان همبستگی منفی بود. دلیل این رابطه منفی بین دو متغیر یاد شده را باید در شکل غالب تولید در منطقه جستجو کرد که بیشتر براساس فعالیت‌ها و روش‌های وابسته به فرآیند تولید "کاربر" است و به این دلیل افرادی که بعد خانوارشان بزرگتر است احساس نیاز کمتری به مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری می‌کنند. افراد گمان می‌کنند با پرداختن به مسئولیت‌های مدیریت شبکه، بخشی از نیروی کاری آنها باید صرف امورات شبکه آبیاری شود که این امر با ماهیت کاربر بودن فعالیت‌ها در تضاد است. براین‌اساس تمایل به مشارکت آن‌ها اندک شده است. کارکرد ترویج و برگزاری کلاس و جلسات توجیهی با تمایل به مشارکت در مدیریت رابطه مثبت دارد. ازاین‌رو اداره ترویج شهرستان با تهیه مجموعه‌ای از روش‌های مکمل و مقتضی برای شناساندن ابعاد مدیریت شبکه به کشاورزان، می‌تواند میزان مشارکت در مدیریت را افزایش دهد. همچنین شبکه آبیاری می‌تواند با کاهش پرت و ضایعات موجود در منابع آب، کاهش میزان به‌کارگیری نیروی انسانی در مزرعه به‌ویژه در زمینه آبیاری مزرعه و افزایش امکان ورود فناوری و ابزارهای مربوط به سیستم‌های آبیاری تحت فشار به مزرعه، زمینه‌های کاهش هزینه واحد آب در سطح مزرعه را در پی داشته باشد. بین کارکرد مناسب راه‌های دسترسی به مزارع در ارتباط با شبکه آبیاری با میزان مشارکت در مدیریت شبکه، رابطه مثبت بود که این مهم را باید در رابطه با امکان نقل و انتقال ابزارهای مربوط به مکانیزاسیون مزرعه و سهولت آن در نظر گرفت. به تعبیر دیگر طراحی شبکه از جهت رعایت رابطه بین سازه‌های آن با راه‌های دسترسی به مزارع تااندازه‌ای مناسب است و رضایت ضمنی کشاورزان در این باره را تامین نموده است. در شبکه مورد مطالعه بین میزان سهولت در عملیات کشاورزی با مشارکت در مدیریت رابطه وجود دارد. این مهم باتوجه‌به عنصرمزیت نسبی در پذیرش، قابل استدلال می‌باشد. کیفیت کانال‌های احداث شده نیز با مشارکت رابطه مثبت دارند. وضعیت کیفیت در کاهش هزینه، مدت استفاده از کانال، کاهش هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری، تأثیر در حاصلخیزی و کاهش ماندابی آب در کانال تأثیر مستقیم دارد. ازاین‌رو منطق اقتصادی کشاورزان درباره اهمیت‌دادن به کیفیت کانال‌های احداث شده قابل توجه است.

از نظر نقش متغیرها در تغییرات واریانس متغیر مشارکت در مدیریت شبکه، نتایج نشان داد که متغیر تحصیلات بیش از سایر متغیرها در مشارکت موثر است و منفی بودن میزان آماره بتا بیانگر آن است که وضعیت موجود در مدیریت شبکه انتظارات افراد تحصیل کرده را برآورد نمی‌کند. سپس متغیر تأثیر شبکه در کاهش هزینه‌های تولید نقش‌آفرین است. در جایگاه سوم متغیر کیفیت کانال‌های آبیاری احداث شده بر مشارکت اثر دارد. متغیر چهارم وارد بر وضعیت مشارکت میزان شرکت در کلاس‌های ترویجی و جلسات توجیهی می‌باشد. همچنین متغیر تأثیر شبکه در میزان سهولت در عملیات کشاورزی و متغیر کارکرد مناسب راه‌های دسترسی به مزارع در ارتباط با شبکه در تسهیل فعالیت‌های کشت نیز در تبیین حدود ۵۱ درصد تغییرات واریانس مشارکت نقش دارند. پیشنهاد می‌شود نسبت به تأثیر شش متغیر یاد شده بر مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری پایاب سد قلعه چای توجه شود و به منظور افزایش مشارکت نسبت به معرفی ابعاد شبکه اقدام شود، راهکارهایی اتخاذ شود تا هزینه تولید به حداقل ممکن برسد. در بهسازی و نوسازی کانال‌ها به متغیر کیفیت توجه شود. اداره ترویج نسبت به ادامه برگزاری جلسات و کلاس‌ها تمهیدات لازم را اتخاذ نماید.

در یک جمع‌بندی کلی نتایج این تحقیق از نظر ضرورت پیش‌بینی‌های لازم برای افزایش مشارکت در کل با نتایج تحقیقات یادآور و باقری (۱۳۹۱) همخوانی بیشتری دارد. همچنین از نظر موانع مشارکت، نتایج این تحقیق با گزارش تحقیق (Hafied و Gany، ۲۰۰۷) در رابطه با نقش تجربه حاصل از افزایش سن کشاورزان و نیز مشکلات فنی و غیرفنی شبکه در مدیریت مشارکتی آبیاری همراستا است.

منابع

احمدوند، م. و شریف‌زاده، م. ۱۳۸۸. امکان‌پذیری تشکیل انجمن‌های آب‌بران: مطالعه موردی دشت کوار استان فارس. مجله علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۵(۲): ۳۲-۴۰.

اطاعتی، د.۱۳۸۰. ارزیابی طرح مشارکت کشاورزان در مدیریت تاسیسات آبی (مطالعه موردی استان زنجان). منتشرنشده: پایان‌نامه کارشناسی ارشد. تهران (کرج). موسسه تحقیقات و آموزش مدیریت.

امید، م. ح.، اسکندری، غ.ح.، شعبانعلی فمی، ح. و اکبری، م. ۱۳۸۸. واکاوی مشکلات تشکل‌های آب‌بران در فرآیند انتقال مدیریت آبیاری مطالعه شبکه‌های تجن. مغان و ورامین. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۰(۲): ۱۶۷-۱۷۵.

باقری، ع.ا. و یادآور، ح. ۱۳۹۱. روش‌های کاربردی جلب مشارکت آب‌بران در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی در منطقه مغان، استان اردبیل. سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل، ۶۱۰-۵۸۱.

خدری، ف. و آجیلی،ع. ۱۳۸۵. طرح پژوهشی بررسی عوامل موثر بر مشارکت بهره‌برداران در اجرای شبکه‌های آبیاری و زهکشی استان خوزستان به‌منظور ارائه راهکارهای مناسب. سازمان آب و برق خوزستان. خوزستان، ایران.

خسروی‌پور، ب. ادهم ملکی، م. و سروستانی، م. ۱۳۹۸. ضرورت مدیریت مشارکتی در شبکه‌های آبیاری با تاکید بر آموزش. همایش ملی صنعت و تجاری‌سازی کشاورزی. اهواز، خوزستان، ایران.

خوش‌نواز، ص. و محمودی‌کوهی، ح. ۱۳۹۶. بررسی استقرار مشارکت مردمی در مدیریت شبکه‌های آبیاری گتوند و عقیلی. فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب، ۵(۱):۷۳-۶۱.

زارعی دستگردی، ز. مختاری حصاری، آ. و شعبانعلی فمی، ح. ۱۳۸۵. مدیریت مشارکتی شبکه‌های آبیاری رهیافتی نوین در انتقال مدیریت منابع آب کشاورزی. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

ساداتی، س.، انصاری اردلی، ع. و اکبری، م. ۱۳۹۱. خدمات مشاوره آبیاری؛ راهکار اساسی مقابله با چالش‌های منابع آب کشاورزی. فصلنامه تعاون و روستا، ۳(۱۰):۲۰۵-۲۲۶.

سیدزاده، س. ع. ۱۳۹۹. وضعیت سرانه میزان مصرف آب در ایران و سایر کشورها. خبرگزاری جمهوری اسلامی ایران. کدخبر ۸۴۰۶۲۹۲۳،

www.irna.ir/news/84062923(visited 25 Desember 2021)

صوفی، ع. رفعت‌پور، ش. نهتایی، م. و ابراهیمیان، ص. ۱۳۹۲. مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی با تاکید بر مشارکت مردمی. همایش ملی زهکشی و کشاورزی پایدار. دانشگاه زابل، زابل، ایران.

کریمی، الف. و نیکنامی، م. ۱۳۸۹. عوامل موثر بر افزایش مشارکت بهره‌برداران در انتقال مدیریت آبیاری. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

نجفی، ب. و شیروانیان، ع. ۱۳۸۵. بررسی موانع مشارکت آب‌بران در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. مجله روستا و توسعه، ۳: ۷۱-۵۳.

نوری‌پور، م.، نوری، م.، کرمی، آ. ۱۳۹۵. تحلیل سازه‌های مؤثر بر مشارکت روستاییان در مدیریت و بهره‌برداری شبکه آبیاری و زهکشی دشت لیشتر. مجله راهبردهای توسعه روستایی، ۳(۱): ۵۷-۷۵.

ورجاوند، پ. آبسالان، ش. و عزیزی، آ. ۱۳۹۷. نقش مشارکت آب‌بران در افزایش کارایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی. نشریه ترویجی ۲۳۸. نشر آموزش کشاورزی. کرج، ایران.

European Union. 2012. European Report on Development 2011-2012. Confronting scarcity: Managing water, energy and land for inclusive and sustainable growth. Brussels, Belgium.

Hafied A. and Gany A. 2007. Problems and Perspectives of Participatory Irrigation Management under the Small Land-Holding Condition: with a Special Reference to Indonesian Practice. 4th Asian Regional Conference and 10th International Seminar on Participatory Irrigation Management. Tehran, Iran.

Koopen B.V. 2002. Poverty dimensions of irrigation management transfer in large scale irrigation in Andhrapradesh and Gujarat, India. International Water Management Institute. Research report61.

Qiao G. Zaho L. and Klein K.K. 2009. Water user associations in Inner Mongolia: Factors that influence farmers to join. Agricultural Water Management, 96(5): 822-830.

Routary S. 2007. Social dynamics of water management: tradition and change. The 4th Asian Regional Conference & 10th International seminar on participatory irrigation management. Tehran, Iran.

Taley S.M. and Belsare S.M. 2007. Institutional reforms in irrigation sector-a success story. The 4th

Asian Regional Conference & 10th International Seminar on Participatory Irrigation Management, Tehran, Iran.

Zmen S. 2014. Evaluation of management transfer of irrigation scheme in Düzce valley located in Western Black Sea Region of Turkey. Scientific Research and Essays, 9(4): 77-84.

2022, Vol.8, No.4, Pages 11 to 22
Journal of Water and Sustainable Development

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ١١ تا ٢٢
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Identifying and Investigating the Factors Affecting Household Water Consumption with the Fuzzy Delfi and Topsis Hybrid Approach

H. Dadashi Divkolaei[1], A. Sorayaei[2*], S. A. Nabavi Chashmi[3]

1, 2, 3- Ph.D. Candidate of Industrial Management, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Management, College of Humanities, Islamic Azad University, Babol Branch, Babol, Iran.

*(Corresponding Author Email: a.sorayaei@gmail.com)

Received: 12-07-2021 Revised: 10-08-2021
Accepted: 24-09-2021 Available Online: 19-03-2022

Abstract

In recent years, many cities have been suffering from a shortage of drinking water, mainly due to population growth. Therefore, the tendency to curb excessive water consumption by identifying the main factors affecting consumer behavior in the management of drinking water resources has become very important. Understanding this necessity, the purpose of this study is to identify, and prioritize the factors affecting the pattern of water consumption in the home sector. In this regard, by reviewing the literature in the field of water and interviewing industry experts, the factors affecting consumption in various criteria were identified and monitored. Then, through fuzzy Delphi, action factors were examined and finally, 7 main economic, social, cultural, technical and engineering, legal and managerial, spatial and temporal criteria with 26 sub-criteria were identified. Evaluation and ranking of these factors were performed using the fuzzy Topsis technique. Results obtained from the research of family awareness with weight (0.756) first rank, use of water reducing devices (0.670) second rank, advertising and education (0.603) third rank, consumption motivation (0.545) rank Fourth, water tariffs and pricing (0.508) were ranked fifth and the use of new valves (0.423) was ranked sixth. The findings show that among the various factors, educating and increasing the awareness of households on how to consume water and the use of reducing devices can play an important role in managing water consumption.

Keywords: Fuzzy Delphi, Effective Factors on Water Consumption, Fuzzy Topsis, Consumption Management.

شناسایی و بررسی عوامل تأثیرگذار بر مصرف آب خانگی با رویکرد ترکیبی Delfi و Topsis فازی

حبیب اله داداشی دیوکلایی[۱]، علی ثریایی[۲*]، سید علی نبوی چاشمی[۳]

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، استادیار و دانشیار، گروه مدیریت، دانشکده علوم انسانی، واحد بابل، دانشگاه آزاد اسلامی، بابل، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۵/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

چکیده

در سال‌های اخیر، بسیاری از شهرها، بیشتر به دلیل رشد جمعیت، از کمبود آب آشامیدنی رنج می برند. ازاین‌رو، تمایل به کنترل مصرف بی‌رویه آب از طریق شناسایی عوامل اصلی موثر بر رفتار مصرف‌کننده در مدیریت منابع آب آشامیدنی بسیار مهم شده است. با درک این ضرورت، هدف پژوهش حاضر به دنبال شناسایی و اولویت‌بندی عوامل تأثیرگذار بر الگوی مصرف آب در بخش خانگی است. در این راستا با بررسی ادبیات موضوع در حوزه آب و مصاحبه با خبرگان صنعت، عوامل تأثیرگذار بر مصرف در معیارهای مختلف شناسایی و پایش شدند. سپس از طریق دلفی فازی نسبت به بررسی عوامل اقدام و در نهایت ۷ معیار اصلی اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی ، فنی و مهندسی، قانونی و مدیریتی، مکانی و زمانی با ۲۶ زیرمعیار شناسایی شدند. ارزیابی و رتبه‌بندی این عوامل با استفاده از تکنیک Topsis فازی اقدام شد. نتایج به‌دست آمده از تحقیق میزان آگاهی خانواده با وزن (۰/۷۵۴) رتبه اول، استفاده از ادوات کاهنده آب با وزن (۰/۶۷۰) رتبه دوم، تبلیغات و آموزش با وزن (۰/۶۰۳) رتبه سوم، انگیزه مصرف با وزن (۰/۵۴۵) رتبه چهارم، تعرفه و قیمت‌گذاری آب با وزن (۰/۵۰۸) رتبه پنجم و استفاده از شیرآلات جدید با وزن (۰/۴۲۳) رتبه ششم را داشتند. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که از میان عوامل مختلف، می توان با آموزش و افزایش آگاهی خانوارها در چگونگی مصرف آب و استفاده از ادوات کاهنده نقش مهمی در مدیریت مصرف آب داشت.

واژه‌های کلیدی: دلفی فازی، عوامل موثر بر مصرف آب، تاپسیس فازی، مدیریت مصرف.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Dadashi Divkolaei H., Sorayaei A. and Nabavi Chashmi S.A. 2022. Identifying and Investigating the Factors Affecting Household Water Consumption with the Fuzzy Delfi and Topsis Hybrid Approach. Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 11-22. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2107.1061

مقدمه

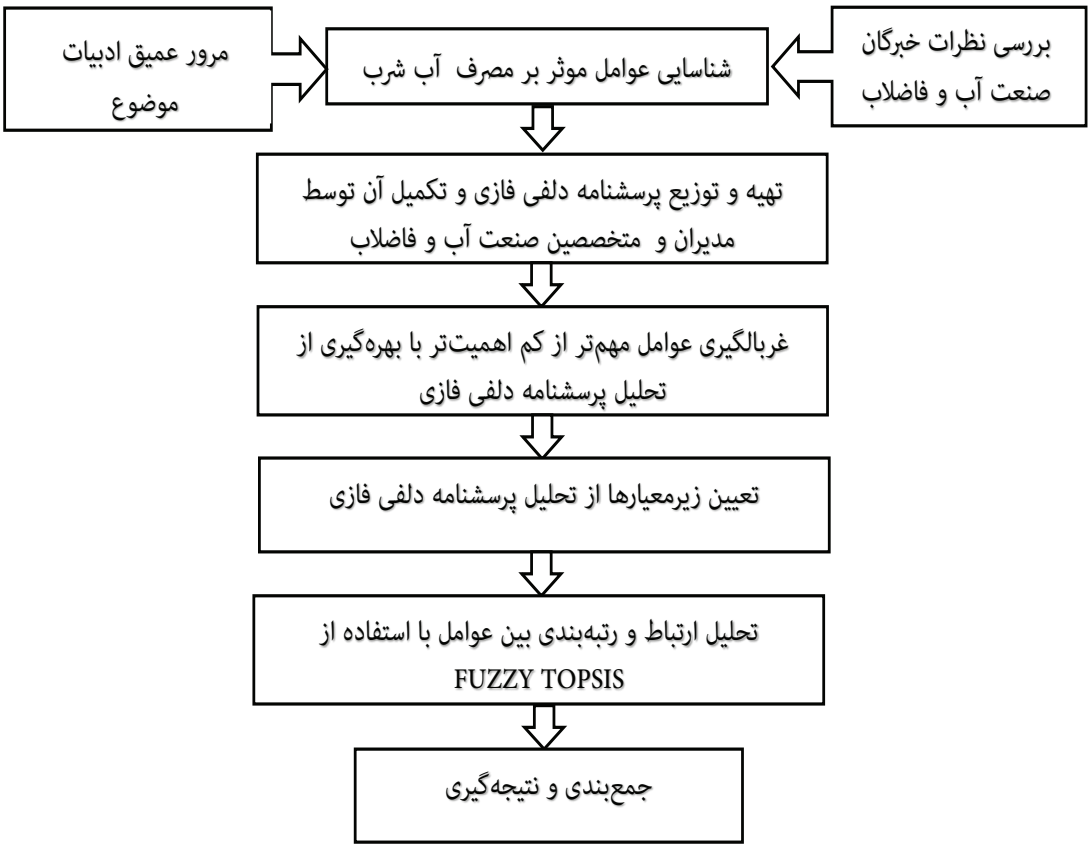
آب مهمترین منبع طبیعی برای توسعه پایدار و کیفیت زندگی است. اما به‌طور نامساوی توزیع شده‌است. تقریباً یک پنجم جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که آب کمیاب است و یک چهارم از کمبود شدید آب رنج می‌برند (United Nations Development Programme، ۲۰۱۲). برای حل این مشکلات، سازمان بهداشت جهانی، یونیسف و دیگر سازمان‌های بین‌المللی تلاش زیادی برای تضمین تأمین آب خانگی ایمن در سراسر جهان انجام دادند. درک روشنی از الگوهای مصرف آب و عواملی که بر مصرف آب تأثیر می‌گذارند برای مدیریت موثر تأمین آب و طراحی موثر سیاست‌های عمومی مربوط به آن حیاتی است. الگوهای مصرف آب فرآیندهای بسیار پیچیده‌ای هستند که تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله تغییرات فصلی و در دسترس بودن آب، محدودیت‌های تأمین آب، ساختار و قیمت‌گذاری تعرفه، ویژگی‌های خانگی، نگرش‌ها و اهداف مربوط به حفاظت از آب قرار دارند (WHO & UNICEF[1]، ۲۰۱۲). مصرف آب خانگی جزء مهمی از کل مصرف آب است و باتوجه به استانداردهای زندگی مصرف‌کنندگان در مناطق شهری و روستایی متفاوت است (Mohammed و Sanaullah، ۲۰۱۷). رشد جمعیت، گسترش فعالیت تجاری، توسعه شهری، آلودگی آب، تغییر آب و هوا و خشکسالی به افزایش کمبود آب در بسیاری از نقاط جهان کمک کرده‌است که در آن، مدیریت ضعیف برآورده کردن تقاضای آب را برای مقامات غیرممکن می‌سازد (Molden، ۲۰۰۷). با این حال، کمبود مطالعات در مورد مصرف آب خانگی در زمان برآورده شدن تقاضای آب خانگی یکی از اهداف اصلی مداخله‌های سیاستی مختلف و دستورالعمل‌ها و برنامه هایی در کاهش خشکسالی یا استراتژی‌های مدیریت آب خانگی است (Narmilan و همکاران، ۲۰۲۰). پیش‌بینی تقاضای آب شرب خانگی و تعیین عوامل مؤثر در مصرف آب، در توسعه برنامه‌ریزی‌های مربوط به خانوارهای کشورهای اروپایی از اهمیت فراوانی دارد (Downward و Taylor، ۲۰۰۷). بااین‌حال، میزان استفاده از آب شهری به عوامل متعددی از جمله الگوها و عادات استفاده از آب توسط جمعیت و غیره بستگی دارد (Siddiqi و Anadon، ۲۰۱۱)

امروزه تأثیر استفاده از ادوات پیشرفته در مصرف آب قابل ملاحظه است. در مطالعه تأثیر کنتورهای هوشمند بر مصرف آب مسکونی که توسط Daminato و همکاران (۲۰۲۱) انجام شد، نتایج نشان داد کنتور هوشمند می‌تواند با بهبود اطلاعات و ارائه بازخورد در مورد مصرف آب به خانوارها در تغییرات رفتاری و حفاظت از آب را ارتقا دهند. تحلیل آگاهی مصرف‌کنندگان از مصرف آب پایدار با مفهوم رد پای آب[2] که شاخصی است برای نشان دادن روابط پنهان مصرف انسان از آب است. در تحقیق (Gómez و همکاران، ۲۰۲۰) به تجزیه و تحلیل آگاهی اجتماعی در مورد مصرف آب، که به‌عنوان ابزاری اساسی برای بهره‌وری آب و روش‌های تصمیم‌گیری متناسب با چالش‌های ناشی از کمبود آن انجام شد. آنها به این نتیجه رسیدند بالابردن آگاهی عمومی پیرامون استفاده مسئولانه از آب لازم و ضروری است و دانش اجتماعی امکان تنظیم مدیریت پایدار آب را فراهم می‌کند و مصرف آب با فعالیت‌های روزانه مرتبط است. DimkiĆ (۲۰۲۰) در مقاله‌ای تحت عنوان تأثیر دما بر نوشیدن مصرف آب به بررسی عوامل اقلیمی، اقتصادی، اجتماعی، جمعیتی، در دسترس بودن منابع آب، درآمد، قیمت‌گذاری آب، سیاست‌گذاری، زمان و عادات مردم انجام داد. او نشان داد همبستگی قوی بین دما، منابع در دسترس، سیاست‌گذاری، شرایط سیستم آبرسانی و عادات مردم بر مصرف آب نقش دارد. (Rondinel و Sarmiento، ۲۰۲۰) مصرف آب بر روی الگوی مصرف و زیرساخت ها را بررسی کردند. در این تحقیق الگوی مصرف شامل جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی و زیرساخت‌ها شامل نوع محل سکونت، فناوری وسایل موجود و مصرف مربوط به اتاق‌های (آشپزخانه، خشک‌شویی و سرویس بهداشتی) است. همچنین عوامل خارجی شامل قیمت، آب و هوا و سیاست‌ها می‌باشند. آنها به این نتیجه رسیدند که مصرف آب به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های مسکونی قرار دارد. (Wardak و Yousef Abe، ۲۰۱۹) تحلیل عوامل موثر بر مصرف آب در شهر جده را انجام دادند که شامل عوامل جمعیت، دما، رطوبت، نرخ تورم و تولید ناخالص داخلی سالانه بود. نتایج مطالعات مختلف حاکی‌از آن است که طیف وسیعی از متغیرهای اقتصادی اجتماعی و جمعیتی وجود دارند که بر میزان تقاضای آب تأثیرگذار هستند که ازجمله مهمترین آنها می‌توان به بعد خانوار، سن افراد، تحصیلات، شغل و درآمد افراد اشاره کرد. برخی دیگر از محققان از جمله وجود امور زیربنایی یا خدمات آبرسانی با منفعت عمومی را عواملی مؤثر در تقاضای آب دانسته‌اند (Vliet و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین متغیرهای جمعیت شناختی موثر در مصرف آب شامل بعد خانوار، میزان درآمد و تحصیلات، محل تولد و محل سکونت مورد بررسی قرارداد (Garcia، ۲۰۱۳). شرکت‌های آب و فاضلاب بر مبنای رسالت اصلی خود مسئول تأمین آب سالم و دفع بهداشتی فاضلاب هستند. ازاین رو این شرکت‌ها همیشه با چالش‌های زیادی در مورد مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب برای استفاده صحیح از آب شرب موجود به‌ویژه مصرف آب خانگی روبه‌رو هستند. تعدادی از عوامل وجود دارند که بر رفتار استفاده از آب تأثیر می‌گذارند و همچنین عوامل مهمی هم هستند که به‌طور کامل بررسی نشده‌اند که ممکن است در توسعه استراتژی موثر تقاضا آب مفید باشند و می‌تواند گام‌هایی برای کاهش مصرف آب خانگی را افزایش دهد (Vliet و همکاران، ۲۰۰۹). باتوجه‌به بررسی پیشینه پژوهش

و اهمیت موضوع مصرف آب، پژوهش قابل ملاحظه‌ای که به‌صورت جامع عوامل تأثیرگذار بر مصرف آب را شناسایی و بررسی می‌نماید مشاهده نشده است. بر این اساس، باتوجه‌به شرایط اقلیمی و اجتماعی در هر منطقه ضروری است عوامل تأثیرگذار بر مصرف شناسایی و ارتباط میان آنها بررسی شود. ازاین رو در این پژوهش با درک آنچه که در یك سطح از منطقه رخ می‌دهد نسبت به شناسایی و بررسی دسته‌بندی عوامل اصلی و تعیین زیرمعیارها و غربالگری آن اقدام شده است و از منطق فازی برای عدم قطعیت موجود در ارزیابی کیفی عوامل در نظر گرفته شد که در تحقیقات قبلی مشاهده نشده است و همچنین برای رتبه‌بندی عوامل شناسایی شده، از روش تکنیک تاپسیس فازی با عدم قطعیت عناصر تصمیم استفاده شده است.

روش‌شناسی پژوهش

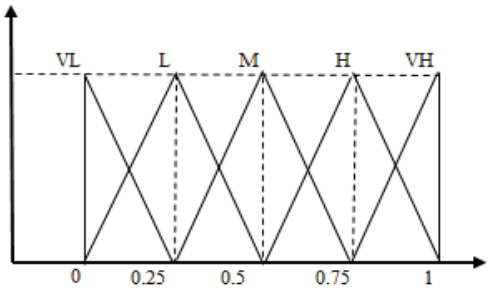
روش تحقیق در این پژوهش، از نوع روش‌های پیمایشی است که از انواع تحقیقات توصیفی به‌شمار می‌رود و از نظر نوع هدف، کاربردی است، زیرا در صدد به‌کارگیری یك روش تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی برای رتبه‌بندی عوامل موثر بر مصرف آب می‌باشد. از سوی دیگر این تحقیق اهمیت میدانی دارد، زیرا بخش اصلی اطلاعات آن از طریق مصاحبه و تکمیل پرسشنامه توسط متخصصان وخبرگان حوزه مورد مطالعه شرکت آب و فاضلاب استان مازندران گردآوری شده است. شکل (۱)، مراحل پژوهش حاضر را به تصویر کشیده است.



شکل ۱- مراحل پژوهش

خبرگان شامل ۲۰ نفر از مدیران و کارشناسان باسابقه و سطح تحصیلات بالا و صاحب‌نظران محسوب می‌شوند که از طریق نمونه‌گیری گلوله برفی انتخاب شده‌اند. بعد از جمع‌آوری اطلاعات لازم و پایش و تحلیل محتوای کیفی ۳۹ عوامل موثر شناسایی شدند. سپس با تشکیل پانل دلفی و تهیه پرسشنامه و توزیع آن به بررسی عوامل اقدام شد تا عواملی که از جامعیت بیشتری برخوردار هستند شناسایی شوند. روش دلفی با مشارکت افرادی انجام می‌گیرد که در موضوع پژوهش دانش و تخصص داشته باشند. این افراد با عنوان پانل دلفی شناخته می‌شوند. گزینش اعضای واجد شرایط برای پانل دلفی از مهمترین مراحل این روش به حساب می‌آید؛ زیرا اعتبار نتایج کاربستگی به شایستگی و دانش این افراد دارد. این روش در عمل، یک

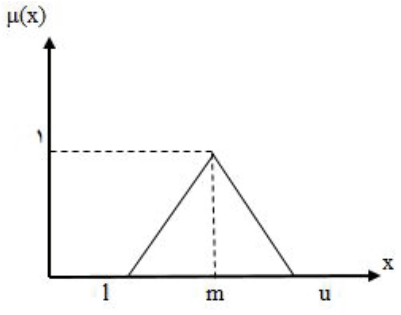
سری از پرسشنامه‌ها یا دوره متوالی به همراه بازخوران کنترل شده‌ای است که تلاش دارد به اتفاق نظر میان یک گروه از افراد متخصص درباره یک موضوع خاص دست پیدا کند (Powell، ۲۰۰۳). کاربرد این روش، ساخت دادن به فرایند ارتباطات گروهی است، به‌نحوی‌که چنین فرایندی در فراهم کردن زمینه درگیری مجموعه‌ای از افراد به‌عنوان یک کل مساله یا موضوعی پیچیده موثر باشد (Linstone و Turoff، ۱۹۷۵). در روش دلفی کلاسیک، نظرات خبرگان در قالب اعداد قطعی بیان می شود، درحالی‌که افراد خبره از شایستگی‌های ذهنی خود برای بیان نظر استفاده می‌کنند و این نشان دهنده احتمالی بودن عدم قطعیت حاکم بر این شرایط است. احتمالی بودن عدم قطعیت، با مجموعه‌های فازی سازگاری دارد. بنابراین، بهتر است داده‌ها در قالب زبان طبیعی از خبرگان اخذ و با استفاده از مجموعه‌های فازی تحلیل شوند (آذر و فرجی، ۱۳۹۵). Noorderhaben (۱۹۹۵) نشان داد کاربرد روش دلفی فازی ابهام‌های موجود در نظرهای خبرگان را برطرف می‌کند. به‌منظور فازی‌سازی نظرات خبرگان از اعداد فازی استفاده می‌شود. اعداد فازی، مجموعه‌های فازی هستند که در مواجه با عدم قطعیت در مورد یک پدیده به همراه داده‌های عددی تعریف می‌شود. در این مطالعه از عدد فازی مثلثی استفاده شده است. یک عدد فازی مثلثی به‌صورت شکل (۲) نمایش داده می‌شود.



شکل۲- نمایش اعداد فازی مثلثی

عدد فازی مثلثی با سه عدد حقیقی به‌صورت M=(l, m, u) نمایش داده می‌شود. کران بالا (u) بیشینه مقادیر عدد فازی (m) محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی و (l) کران پایین کمینه مقادیرعدد فازی است. تابع عضویت یک عدد فازی مثلثی به‌صورت رابطه (۱) است. در شکل (۳) تابع عضویت ارزش کلامی اعداد فازی نشان داده شده است.

$$um(x) = \begin{cases} \dfrac{x-l}{m-l} & l \le x \le m \\ \dfrac{u-l}{u-m} & m \le x \le u \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (۱)$$



شکل ۳- ارزش‌های کلامی و اعداد فازی

در مرحله اول دلفی، پرسشنامه‌ای طراحی و از خبرگان درخواست شد تا با استفاده از متغیرهای کلامی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد میزان اهمیت هر یک از عوامل شناسایی شده را مشخص نمایند. یک راهکار ساده برای فازی‌سازی داده‌ها استفاده از طیف‌های استاندارد است. در این پژوهش برای تبدیل متغیرهای کلامی خبرگان از اعداد فازی مثلثی از طیف لیکرت ۵ درجه استفاده شده است (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۳). بعد از جمع‌آوری نظرهای تصمیم گیرندگان با تخصیص عدد فازی مثلثی مطابق جدول (۱) به نظر هر خبره، نسبت به محاسبه میانگین نظرات اقدام شد. تایید و غربالگری شاخص‌ها با مقدار آستانه S صورت می‌پذیرد. هیچ راه ساده و قانونی برای تعیین مقدار آستانه وجود ندارد و اصولا از نظر خبرگان استخراج می‌شود (Lin و Cheng، ۲۰۰۲).

جدول ۱- متغیرهای کلامی و اعداد دلفی فازی (Canal و Martínez، ۲۰۱۱)

عبارات زبانی	اعداد فازی مثلثی
خیلی کم	(۰ ,۰ ,۰/۲۵)
کم	(۰ ,۰/۲۵ ,۰/۵)
متوسط	(۰/۲۵ ,۰/۵ ,۰/۷۵)
زیاد	(۰/۵ ,۰/۷۵ ,۱)
خیلی زیاد	(۰/۷۵ ,۱ ,۱)

جهت ارزیابی رد یا قبول عوامل، براساس رابطه (۲) دی‌فازی شدند.

$$Crisp= (l+m+u)/3 \qquad (۲)$$

در این پژوهش جهت تصمیم‌گیری درباره توقف یا ادامه دورهای دلفی اتفاق نظر قوی میان اعضای پانل است. مرز قابل قبول بودن عامل آستانه مقدار (۰/۷) است. اگر مقدار دی‌فازی شده عدد فازی مثلثی نزدیک به (۰/۷) یا بالاتر از آن باشد، به‌عنوان عامل قابل قبول، پذیرش شده و در غیر این صورت مورد قبول واقع نمی‌شود (حبیبی و همکاران،۱۳۹۳).

بعد از شناسایی عوامل موثر از طریق تکنیک Topsis فازی عوامل رتبه‌بندی می‌شود. واژه تاپسیس به معنی روش‌های ترجیح بر اساس مشابهت به راه‌حل ایده‌آل است. این مدل در سال ۱۹۸۱ توسط هونگ یون پیشنهاد شد. منطق اصولی این مدل راه‌حل ایده آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی است. گزینه بهینه، گزینه‌ای است که کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و در عین حال دورترین فاصله با راه‌حل ایده آل منفی دارد (Chen، ۲۰۰۰).
مراحل تکنیک تاپسیس فازی به شرح ذیل می‌باشد:
در گام اول تشکیل ماتریس تصمیم بر اساس رابطه (۳) است. ازاین‌رو با طرح پرسشنامه از خبرگان خواسته شد میزان اهمیت هر یك از زیرمعیارها را با متغیرهای کلامی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) نشان دهند. سپس بر پایه اعداد فازی مثلثی، برابر جدول (۲) تبدیل می‌شود.

جدول ۲- متغیرهای کلامی و اعداد تاپسیس فازی (Liu و Tsai، ۲۰۱۲)

عبارات زبانی	اعداد فازی مثلثی
خیلی کم (VL)	(۰ ,۰ ,۱)
کم (V)	(۱ ,۳ ,۵)
متوسط (M)	(۳ ,۵ ,۷)
زیاد (H)	(۵ ,۷ ,۹)
خیلی زیاد (VH)	(۸ ,۱۰ ,۱۰)

$$xij = \frac{1}{K}\left[x^1ij + x^2ij + \cdots + x^kij\right]$$
$$wij = \frac{1}{k}\left[w^1ij + w^2ij + \cdots + w^kij\right]$$
$$\widetilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1j} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2j} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \cdots & \tilde{x}_{ij} & \cdots & \tilde{x}_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mj} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (۳)$$
$$wj = (wj1, wj2, wj3)$$

xij نظر فرد zام درباره زیرمعیار iام به صورت اعداد فازی است.
xij=(lij,mij,uij)
باتوجه‌به معیارهای رتبه‌بندی فازی ترکیبی، گزینه‌ها را می‌توان بر اساس رابطه (۴) در نظرگرفت.

$$uij = Max(uijk) \qquad mij = \frac{\sum_{k=1}^{k} mijk}{\mathrm{k}} \qquad lij = Min(lijk) \quad (۴)$$

در گام دوم نرمال نمودن ماتریس تصمیم‌گیری است. اگر هر سلول ماتریس تصمیم‌گیری به‌صورت عدد فازی مثلثی (xij=(lij,mij,uij نشان داده شود، برای حذف اثر مقیاس هر معیار باید عملیات نرمال‌سازی را انجام داد. در این مرحله ماتریس تصمیم‌گیری فازی نظر افراد را به یک ماتریس بی‌مقیاس شده فازی $\widetilde{\mathrm{R}}$ به‌صورت فرمول رابطه (۵) تبدیل می‌شود.

$$\widetilde{R} = [\tilde{\mathrm{r}}_{ij}]m \times n$$
$$\tilde{\mathrm{r}}_{ij} = \left(\frac{lij}{u_j^*}, \frac{mij}{u_j^*}, \frac{uij}{u_j^*}\right) \quad (۵)$$
$$u_j^* = Max(uij)$$

در گام سوم ماتریس بی‌مقیاس وزین فازی $\tilde{\mathrm{v}}$ براساس رابطه (۶)، با فرض بردار $\widetilde{w}_j$ به‌عنوان ورودی ایجاد می‌شود. وزن اهمیت هر یک از معیارها را می‌توان با تعیین مستقیم یا غیر مستقیم با استفاده از مقایسه‌های دوتایی به‌دست آورد. در این مقاله اهمیت اوزان معیارهای مختلف و رتبه‌بندی معیارهای با متغیرهای کلامی اعداد مثلثی به‌صورت جدول (۳) در نظر گرفته شده‌است.

جدول ۳- متغیرهای کلامی و اعداد تاپسیس فازی (Chen، ۲۰۰۰)

عبارات زبانی	اعداد فازی مثلثی
خیلی کم (VL)	(۰ ,۰ ,۰/۱)
کم (V)	(۰ ,۰/۱ ,۰/۳)
زیرمتوسط (ML)	(۰/۱ ,۰/۳ ,۰/۵)
متوسط (M)	(۰/۳ ,۰۵/ ,۰۷/)
بالای متوسط (MH)	(۰/۵ ,۰/۷ ,۰/۹)
زیاد (H)	(۰/۰,۷/۹ ,۱)
خیلی زیاد (VH)	(۰/۹ ,۱ ,۱)

$$\tilde{v} = [\tilde{\mathrm{v}}_{ij}]m \times n \qquad i = 1,2, \dots, m \qquad j = 1,2 \dots . n$$
$$\tilde{v}_{ij=}\tilde{r}_{ij} \cdot \tilde{w}_j = \left(\frac{l_{ij}}{\mathrm{u}_j^*} . \frac{m_{ij}}{u_j^*} . \frac{u_{ij}}{u_j^*}\right) \cdot (w_{j1} . w_{j2} . w_{j3}) \quad (۶)$$

در گام چهارم ایده‌آل‌های مثبت و منفی مشخص می‌شود. ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی بر اساس رابطه (۷) به‌دست می‌آید.

$$A^+ = \{\tilde{v}^*{}_1, \tilde{v}^*{}_2, \dots, \tilde{v}^*{}_n\}$$
$$A^- = \{\tilde{v}^-{}_1, \tilde{v}^-{}_2, \dots, \tilde{v}^-{}_n\} \quad (۷)$$

$\tilde{v}^*{}_i$ بهترین مقدار معیار i از بین تمام گزینه‌ها و $\tilde{v}^-{}_i$ بدترین مقدار معیار i از بین تمام گزینه‌ها می‌باشد. این مقادیر از رابطه (۸) به‌دست می‌آید.

$$v_j^* = Max\{v_{ij3}\} \; i = 1.2. \dots . m \quad j = 1.2. \dots . n$$
$$v_j^- = Max\{v_{ij1}\} \; i = 1.2. \dots . m \quad j = 1.2. \dots . n \quad (۸)$$

در گام بعدی محاسبه وزن شاخص‌ها است. ابتدا فاصله هر شاخص از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی محاسبه می‌شود. برای این کار از رابطه(۹) استفاده شده است.

$$D(A.B) = \sqrt{\frac{1}{3}[(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2]} \quad (۹)$$

بعد از محاسبه فواصل، وزن هر شاخص از رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید.

$$cc_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-} \qquad i = 1.2 \dots . n \quad (۱۰)$$

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش دلفی فازی در دو نوبت صورت گرفته است. درگام اول پرسشنامه‌ای شامل ۳۹ عامل شناسایی شده از طریق ادبیات موضوع و مصاحبه با خبرگان صنعت در اختیار اعضای گروه پانل قرار گرفت و از آنها درخواست شد نظرشان را دربارهٔ هر یک از عوامل تأثیرگذار بر مصرف آب را در قالب متغیرهای کلامی بیان کنند. سپس برای یافتن درک مشترک از نظرات خبرگان نسبت به هر یک از عوامل، به محاسبه میانگین هندسی پرداخته شد.

میانگین نظرات خبرگان در مرحله اول دلفی فازی بر اساس جدول (۴) می‌باشد. باتوجه‌به یافته‌های مرحله اول از بین ۳۹ متغیر تأثیرگذار تنها ۲۶ متغیر بالاتر از (۰/۷) قرار گرفتند. در مرحله بعد میزان اختلاف نظر هر خبره با میانگین نظرات اعضا پانل خبرگان محاسبه شد. سپس به‌منظور اطمینان از تعیین عوامل تأثیرگذار پرسشنامه دیگری به همراه نظر قبلی هر خبره و میزان اختلاف نظر وی با میانیگن نظرات اعضا پانل در اختیار آنها قرار گرفت.

به علت حجم بالا، نتایج در جدول مرحله اول به‌صورت خلاصه آورده شد.

جدول ۴- نتایج حاصل از مرحله اول فازی

معیار اصلی	زیرمعیار	u	M	l	S۱
اقتصادی	سطح درآمد خانوار	۰/۹۵	۰/۷۸	۰/۵۳	۰/۷۵
	تعرفه و قیمت‌گذاری آب	۰/۹۵	۰/۸۶	۰/۶۱	۰/۸۲
	تورم	۰/۹۰	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۶۶
	درآمد سرانه	۰/۹۹	۰/۷۸	۰/۵۳	۰/۷۵
.....	.....	...	...	...	...
زمانی	درجه حرارات هوا	۰/۹۴	۰/۸۱	۰/۵۶	۰/۷۷
	ماه‌های گرم سال	۰/۹۳	۰/۷۴	۰/۴۹	۰/۷۲
	مدت حضور در منزل	۰/۹۵	۰/۷۴	۰/۴۹	۰/۷۳
	ساعات مصرف روزانه	۰/۹۶	۰/۷۴	۰/۴۹	۰/۷۳

براساس نظر (Cheng و Lin، ۲۰۰۲) چنانچه اختلاف بین دو مرحلهٔ نظرسنجی کمتر از حد آستانه خیلی کم (۰/۱) باشد، فرایند نظرسنجی متوقف می‌شود یعنی خبرگان در تمای شاخص ها به توافق رسیدند. در این پژوهش با توجه به این که میزان اختلاف نظر خبرگان بین دو مرحله اول و دوم کمتر از حد آستانه (۰/۱) خیلی کم به‌دست آمد، نظرسنجی در مرحله دوم متوقف شد. میانگین نتایج مرحله دوم دلفی فازی برابر جدول (۵) می‌باشد. باتوجه‌به نظرات ارائه شده در مرحله دوم و مقایسه آن با نتایج مرحله اول تمامی ۲۶ عامل بالاتر از (۰/۷) و اختلاف نظر خبرگان در دو مرحله از حد آستانه (۰/۱) کمتر بوده مرحله نظر سنجی متوقف و تمام ۲۶ عامل تایید می‌شود. جهت رتبه‌بندی عوامل شناسایی شده، از تکنیک Topsis فازی استفاده شده است. جدول (۶) کدبندی زیرمعیارهای را نشان می‌دهد و خبره‌ها با نماد Dj نشان داده می‌شود.

بعد از کدبندی زیرمعیارها ماتریس اولیه تصمیم با طرح پرسشنامه از خبرگان میزان اهمیت هر یك از زیرمعیارها را با متغیرهای کلامی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تشکیل شد. جدول (۷) ماتریس تصمیم اولیه خبرگان است. به علت حجم بالا، نتایج جداول به‌صورت خلاصه آورده شد. مرحله نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم، برای نرمالیزه کردن تمام اعداد جدول (۷) بر بزرگترین عدد ستون u تقسیم می‌شود. جدول (۸) ماتریس نرمال شده را نشان می‌دهد.

بعد از نرمالیزه کردن ماتریس در این مرحله ماتریس بی‌مقیاس موزون تشکیل می‌شود. ماتریس بی‌مقیاس مرحله قبل، در وزن معیارها ضرب می‌شود. وزن هر معیار با نظر هر خبره در مورد معیارها مطابق با جدول (۳) به‌صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است. سپس میانگین حسابی اعداد فازی درایه‌های اول، دوم و سوم ۲۰ خبره به‌صورت جداگانه میانگین حسابی محاسبه می‌شود. جدول (۹) ماتریس تصمیم بی‌مقیاس وزن‌دار است.

جدول ۵- نتایج حاصل از مرحله دوم فازی

معیار اصلی	زیرمعیار	u	m	l	S2	|S1-S2|
اقتصادی	سطح درآمد خانوار	۰/۹۶	۰/۸۰	۰/۵۵	۰/۷۷	۰/۰۲
	تعرفه و قیمت‌گذاری آب	۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۶۰	۰/۸۱	۰/۰۱
	تورم	۰/۹۰	۰/۶۹	۰/۴۴	۰/۶۸	۰/۰۲
	درآمد سرانه	۰/۹۶	۰/۸۰	۰/۵۵	۰/۷۷	۰/۰۲
	تعداد خانوار	۰/۹۴	۰/۷۴	۰/۴۹	۰/۷۲	۰/۰۳
اجتماعی	جمعیت	۰/۹۴	۰/۷۴	۰/۴۹	۰/۷۲	۰/۰۴
	سطح طبقه اجتماعی	۰/۹۰	۰/۶۸	۰/۴۳	۰/۶۷	۰/۰۱
	تحصیلات	۰/۹۴	۰/۷۴	۰/۴۹	۰/۷۲	۰/۰۰
	تراکم جمعیت شهری	۰/۹۱	۰/۶۹	۰/۴۴	۰/۶۸	۰/۰۳
	تعداد مشترکین	۰/۹۰	۰/۶۸	۰/۴۳	۰/۶۷	۰/۰۲
	شاغل بودن زنان	۰/۹۳	۰/۷۰	۰/۴۶	۰/۷۰	۰/۰۱
	تعداد افراد خردسال	۰/۹۰	۰/۶۸	۰/۴۳	۰/۶۷	۰/۰۲
	برخورداری از باورها و اعتقادات مذهبی	۰/۸۹	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۰۳
	میزان آگاهی خانواده	۰/۹۸	۰/۸۴	۰/۵۹	۰/۸۰	۰/۰۲
فنی و مهندسی	قطر انشعاب	۰/۸۹	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۰۱
	استفاده از ادوات کاهنده آب	۰/۹۸	۰/۸۵	۰/۶۰	۰/۸۱	۰/۰۱
	استفاده از شیرآلات جدید	۰/۹۵	۰/۸۱	۰/۵۶	۰/۷۸	۰/۰۰
	استفاده از کنتور مغناطیسی	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۵۱	۰/۷۴	۰/۰۱
	فشار شبکه	۰/۹۶	۰/۸۰	۰/۵۵	۰/۷۷	۰/۰۱
	تعداد انشعاب	۰/۹۰	۰/۶۸	۰/۴۳	۰/۶۷	۰/۰۱
	عمر ساختمان	۰/۸۹	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۰۳
	تنوع بخشی در عرضه آب	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۵۱	۰/۷۴	۰/۰۱
فرهنگی	تبلیغات و آموزش	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۵۱	۰/۷۴	۰/۰۲
	رفتار مصرف‌کننده	۰/۹۴	۰/۷۹	۰/۵۴	۰/۷۵	۰/۰۲
	علایق مصرف‌کننده	۰/۹۶	۰/۸۰	۰/۵۵	۰/۷۷	۰/۰۳
	انگیزه مصرف	۰/۹۶	۰/۸۴	۰/۵۹	۰/۸۰	۰/۰۱
قانونی و مدیریتی	مصوبات و برنامه‌های اصلاح الگوی مصرف	۰/۹۴	۰/۷۱	۰/۴۶	۰/۷۰	۰/۰۲
	سیاست حمایتی	۰/۹۰	۰/۶۸	۰/۴۳	۰/۶۷	۰/۰۱
	ارایه سیاست کلی در خصوص منابع آب	۰/۸۹	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۰۱
	وضع قوانین جهت تشویق و تنبیه مشترکین کم مصرف و پرمصرف	۰/۹۴	۰/۷۱	۰/۴۶	۰/۷۰	۰/۰۱
مکانی	بافت شهری و روستایی	۰/۹۴	۰/۷۳	۰/۴۸	۰/۷۱	۰/۰۲
	سطح زیر بنا	۰/۹۴	۰/۷۳	۰/۴۸	۰/۷۱	۰/۰۱
	بافت مناطق فرسوده	۰/۸۹	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۰۳
	باغچه در منزل	۰/۹۴	۰/۷۴	۰/۴۹	۰/۷۲	۰/۰۲
	استخر و جکوزی	۰/۹۰	۰/۶۸	۰/۴۳	۰/۶۷	۰/۰۳
زمانی	درجه حرارات هوا	۰/۹۴	۰/۸۴	۰/۵۹	۰/۷۹	۰/۰۲
	ماه‌های گرم سال	۰/۹۱	۰/۷۳	۰/۴۸	۰/۷۰	۰/۰۱
	مدت حضور در منزل	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۵۱	۰/۷۴	۰/۰۲
	ساعات مصرف روزانه	۰/۹۴	۰/۷۱	۰/۴۶	۰/۷۰	۰/۰۳

جدول ۶- کدبندی زیرمعیارهای تأثیرگذار بر مصرف آب

زیرمعیار و کدها
سطح درآمد خانوار C۱۱، تعرفه و قیمت‌گذاری آب C۱۲، تعداد خانوار C۱۳، درآمد سرانه C۱۴
جمعیت C۲۱، تحصیلات C۲۲، شاغل بودن زنان C۲، میزان آگاهی زنان C۲۴
استفاده از ادوات کاهنده آبC۳۱، استفاده از کنتور مغناطیسی C۳۲، استفاده از شیرآلات جدید C۳۳، فشار شبکه C۳۴، تنوع بخشی در عرضه آب تنوع بخشی در عرضه آب C۳۵
تبلیغات و آموزش C۴۱، رفتار مصرف‌کنندهC۴۲، علایق مصرف‌کنندهC۴۳، انگیزه مصرف C۴۴
مصوبات و برنامه‌های اصلاح الگوی مصرف C۵۱، وضع قوانین جهت تشویق وتنبیه مشترکین کم مصرف و پرمصرف C۵۲
بافت شهری و روستایی C۶۱، سطح زیر بنا C۶، باغچه در منزل C۶۳
درجه حرارات هوا C۷۱، ماه‌های گرم سال C۷۲، مدت حضور در منزل C۷۳، ساعات مصرف روزانه C۷۴

جدول ۷- تشکیل ماتریس تصمیم اولیه فازی نظر خبرگان

خبره	D۱			D۲			....	D۱۹			D۲۰		
گزینه	L	m	U	L	m	U	....	L	m	U	L	m	U
C۱۱	۳	۵	۷	۵	۷	۹	.....	۵	۷	۹	۳	۵	۷
C۱۲	۵	۷	۹	۸	۱۰	۱۰	.....	۵	۷	۹	۵	۷	۹
C۱۳	۵	۷	۹	۳	۵	۷	.....	۸	۱۰	۱۰	۳	۵	۷
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
C۷۳	۵	۷	۹	۵	۷	۹	.....	۵	۷	۹	۵	۷	۹
C۷۴	۳	۵	۷	۵	۷	۹	.....	۳	۵	۷	۵	۷	۹

جدول ۸- ماتریس تصمیم فازی نرمال شده

خبره	D۱			D۲			....	D۱۹			D۲۰			fuzzy weight		
گزینه	L	m	U	L	m	U	....	L	m	U	L	m	U	L	m	U
C۱۱	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۹	.....	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۳۴	۰/۵۱	۰/۶۹
C۱۲	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۸	۱	۱	.....	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۵۷	۰/۷۳	۰/۸۵
C۱۳	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۳	۰/۵	۰/۷	.....	۰/۸	۱	۱	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۳۲	۰/۴۹	۰/۶۶
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
C۷۳	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۵	۰/۷	۰/۹	.....	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۳۷	۰/۵۴	۰/۷۰
C۷۴	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۹	.....	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۳۶	۰/۵۶	۰/۷۳

جدول ۹- تشکیل ماتریس تصمیم بی‌مقیاس وزن‌دار

خبره	D۱			D۲			....	D۱۹			D۲۰		
گزینه	L	m	U	L	m	U	....	L	m	U	L	m	U
C۱۱	۰/۱۰۱	۰/۲۵۵	۰/۴۸۰	۰/۱۶۸	۰/۳۵۷	۰/۶۱۷	.....	۰/۱۶۸	۰/۳۵۷	۰/۶۱۷	۰/۱۰۱	۰/۲۵۵	۰/۴۸۰
C۱۲	۰/۲۸۳	۰/۵۰۸	۰/۷۶۱	۰/۴۲۵	۰/۷۲۵	۰/۸۴۵	.....	۰/۲۸۳	۰/۵۰۸	۰/۷۶۱	۰/۱۱۴	۰/۲۸۸	۰/۵۲۹
C۱۳	۰/۱۶۰	۰/۳۴۳	۰/۵۹۴	۰/۰۹۶	۰/۲۴۵	۰/۴۶۲	.....	۰/۲۵۶	۰/۴۹۰	۰/۶۶۰	۰/۰۹۶	۰/۲۴۵	۰/۴۶۲
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
C۷۳	۰/۱۸۳	۰/۳۷۵	۰/۶۳۰	۰/۱۸۳	۰/۳۷۵	۰/۶۳۰	.....	۰/۱۱۰	۰/۲۶۸	۰/۴۹۰	۰/۲۹۲	۰/۵۳۵	۰/۷۰۰
C۷۴	۰/۱۱۴	۰/۲۷۸	۰/۵۰۴	۰/۱۹۰	۰/۳۸۹	۰/۶۴۸	.....	۰/۱۹۰	۰/۳۸۹	۰/۶۴۸	۰/۳۰۴	۰/۵۵۵	۰/۷۲۰

سپس ایده‌آل مثبت و منفی را مطابق رابطه (۸) مشخص می‌شود. ایده‌آل های مثبت برابر است با بزرگترین مقدار درایه‌های هر ستون و ایده‌آل‌های منفی برابر است با کوچکترین مقدار درایه‌های هر ستون است. بعد از تعیین ایده‌آل های مثبت و منفی فاصله هر شاخص از ایده‌آل مثبت و اید آل منفی محاسبه می‌شود و بعد از آن وزن هر شاخص تعیین می‌شود.

جدول (۱۰) نتایج وزن زیرمعیارها و رتبه‌ها را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود زیرمعیار میزان آگاهی خانواده بالاترین رتبه و زیر معیارهای استفاده از ادوات کاهنده آب، تبلیغات و آموزش، انگیزه مصرف و استفاده از شیرآلات جدید رتبه‌های بعدی را داشته و تنوع بخشی در عرضه آب کمترین وزن را داشته است.

جدول ۱۰- نتایج وزن زیرمعیارها و رتبه‌ها

گزینه	نام زیرمعیار	+di	-di	cci	رتبه
C۱۱	سطح درآمد خانوار	۱۰/۶۶۳	۴/۶۲۶	۰/۳۰۳	۱۴
C۱۲	تعرفه و قیمت‌گذاری آب	۷/۵۲۷	۷/۷۶۵	۰/۵۰۸	۵
C۱۳	تعداد خانوار	۱۰/۹۳۰	۴/۳۲۸	۰/۲۸۴	۱۵
C۱۴	درآمد سرانه	۱۰/۱۳۲	۵/۲۱۱	۰/۳۴۰	۱۰
C۲۱	جمعیت	۹/۷۴۰	۵/۵۰۴	۰/۳۶۱	۸
C۲۲	تحصیلات	۱۱/۶۶۴	۳/۵۹۵	۰/۲۳۶	۱۹
C۲۳	شاغل بودن زنان	۱۱/۹۰۱	۳/۳۶۱	۰/۲۲۰	۲۱
C۲۴	میزان آگاهی خانواده	۳/۷۶۷	۱۱/۵۱۵	۰/۷۵۴	۱
C۳۱	استفاده از کنتور مغناطیسی	۱۱/۸۷۱	۳/۳۹۲	۰/۲۲۲	۲۰
C۳۲	استفاده از شیرآلات جدید	۸/۸۰۰	۶/۴۴۱	۰/۴۲۳	۶
C۳۳	استفاده از ادوات کاهنده آب	۵/۰۵۰	۱۰/۲۳۴	۰/۶۷۰	۲
C۳۴	فشار شبکه	۱۱/۹۰۴	۳/۳۴۸	۰/۲۱۹	۲۲
C۳۵	تنوع بخشی در عرضه آب	۱۲/۵۸۷	۲/۶۵۵	۰/۱۷۴	۲۶
C۴۱	تبلیغات و آموزش	۶/۰۵۹	۹/۲۱۵	۰/۶۰۳	۳
C۴۲	رفتار مصرف‌کننده	۹/۳۰۸	۵/۹۳۷	۰/۳۸۹	۷
C۴۳	علایق مصرف‌کننده	۱۰/۵۵۶	۴/۷۲۵	۰/۳۰۹	۱۳
C۴۴	انگیزه مصرف	۶/۹۵۶	۸/۳۲۶	۰/۵۴۵	۴
C۵۱	مصوبات و برنامه‌های اصلاح الگوی مصرف	۱۱/۰۱۵	۴/۲۸۱	۰/۲۸۰	۱۷
C۵۲	وضع قوانین جهت تشویق و تنبیه مشترکین کم‌مصرف و پرمصرف	۱۰/۹۵۴	۴/۳۳۵	۰/۲۸۴	۱۶
C۶۱	بافت شهری و روستایی	۱۱/۰۸۱	۴/۱۹۳	۰/۲۷۵	۱۸
C۶۲	سطح زیر بنا	۱۲/۱۵۴	۳/۰۷۹	۰/۲۰۲	۲۵
C۶۳	باغچه در منزل	۱۲/۰۷۰	۳/۱۸۲	۰/۲۰۹	۲۴
C۷۱	درجه حرارات هوا	۱۰/۲۴۰	۶۷۱۰۳۵۵	۰/۳۳۰	۱۱
C۷۲	ماه‌های گرم سال	۱۲/۰۴۲	۳/۲۲۲	۰/۲۱۱	۲۳
C۷۳	مدت حضور در منزل	۱۰/۲۵۱	۵/۰۳۴	۰/۳۲۹	۱۲
C۷۴	ساعات مصرف روزانه	۹/۷۸۰	۵/۵۲۱	۰/۳۶۱	۹

نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر شناسایی و اولویت‌بندی عوامل تأثیرگذار بر الگوی مصرف آب در بخش خانگی است. برای شناسایی عوامل موثر بر مصرف آب، با بررسی جامع ادبیات موضوع و مصاحبه با خبرگان صنعت آب و فاضلاب و پایش اطلاعات عوامل تأثیرگذار به دو دسته اصلی و زیر معیارها تفکیک شدند. این درحالی است که با توجه به بررسی تحقیقات گذشته مطالعه جامعی جهت شناسایی عوامل تأثیرگذار مشاهده نشد و محققان تنها با مدنظر قرار دادن چند متغیر تأثیرگذار بر مصرف، بررسی را انجام دادند. Garcia و همکاران (۲۰۱۳) متغیرهای جمعیت شناختی، Daminato و همکاران (۲۰۲۱) به تأثیر کنتورهای هوشمند بر آب مصرفی، Gómez و همکاران (۲۰۲۰) به تجزیه و تحلیل آگاهی اجتماعی مردم و دانش اجتماعی در مصرف آب، Wardak و Abed (۲۰۱۹) عوامل جمعیت، دما، رطوبت، نرخ تورم و تولید ناخالص داخلی سالانه، Rondine و Sarmiento (۲۰۲۰) مصرف آب بر روی الگوی مصرف و زیرساخت ها را بررسی کردند. به این منظور در این پژوهش به منظور دستیابی به یک مدل جامع، ابتدا با مطالعات کتابخانه ای و بررسی ادبیات موضوع در ابعاد مختلف و مصاحبه با خبرگان صنعت آب و فاضلاب و پایش اطلاعات، هفت عامل اصلی شامل اقتصادی، اجتماعی، فنی و مهندسی، فرهنگی، قانونی و مدیریتی، مکانی و زمانی و بعد از آن با بررسی زیرمعیارهای هر عامل ۳۹ زیرمعیار شناسایی شد. در نهایت برای شناسایی عواملی که در مصرف آب تأثیر بیشتری دارند با استفاده از تکنیک دلفی و بهره‌گیری از منطق فازی و توزیع پرسشنامه بین خبرگان و غربالگیری آن، هفت عامل اصلی با ۲۶ متغیر تأثیرگذار تعرفه و قیمت‌گذاری آب، استفاده از ادوات کاهنده، میزان آگاهی خانواده، انگیزه مصرف، درجه حرارت هوا، استفاده از شیرآلات جدید، درآمد سرانه، سطح درآمد خانوار، فشار شبکه، علایق مصرف‌کننده، رفتار مصرف‌کننده، تنوع بخشی در عرضه آب، استفاده از کنتور مغناطیسی، مدت حضور در منزل، تبلیغات و آموزش، جمعیت، تحصیلات، باغچه در منزل، تعداد خانوار، شاغل بودن زنان، بافت شهری و روستایی، سطح زیربنا، مصوبات و برنامه‌های اصلاح الگوی مصرف، وضع قوانین جهت تشویق و تنبیه مشترکین کم‌مصرف و پرمصرف، ساعات مصرف روزانه و ماه‌های گرم سال جز عواملی بوده که مورد توافق نظر خبرگان قرار گرفت. همچنین در این پژوهش از منطق فازی برای عدم قطعیت موجود در ارزیابی کیفی عوامل استفاده شده که در تحقیقات قبلی جهت بررسی عوامل از این منطق استفاده نشده بود.

جهت تعیین میزان اهمیت و رتبه‌بندی هر یک از این عوامل شناسایی شده از تکنیک تاپسیس فازی استفاده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین وزن به معیار میزان آگاهی خانواده داده شد که به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل شناسایی شد. دومین عامل به استفاده از ادوات کاهنده اختصاص یافت. عامل تبلیغات و آموزش در رتبه سوم قرار گرفت. اولویت‌های بعدی زیرمعیارها به‌ترتیب انگیزه مصرف، تعرفه و قیمت‌گذاری آب، استفاده از شیرآلات جدید، رفتار مصرف‌کننده، جمعیت، ساعات مصرف روزانه، درآمد سرانه، درجه حرارات هوا، مدت حضور در منزل، علایق مصرف‌کننده، سطح درآمد خانوار، تعداد خانوار، وضع قوانین جهت تشویق و تنبیه مشترکین کم‌مصرف و پرمصرف، مصوبات و برنامه‌های اصلاح الگوی مصرف، بافت شهری و روستایی، تحصیلات،استفاده از کنتور مغناطیسی، شاغل بودن زنان، فشار شبکه، ماه‌های گرم سال، باغچه در منزل، سطح زیر بنا و تنوع بخشی در عرضه آب می‌باشند.

باتوجه‌به نتایج پژوهش حاضر و بنابر نظر خبرگان پیشنهاد می‌شود که افزایش اطلاع‌رسانی و آگاهی دادن به مشترکین می‌تواند نقش مهمی را در مصرف آب داشته باشد. ازاین‌رو مدیران و سیاست‌گذاران باید باتوجه‌به محدودیت‌های مالی با برنامه‌ریزی دقیق نسبت به شناسایی عوامل موثر و تهیه استانداردها در بخش آب و مصرف و بهینه آن فعالیت‌های عملیاتی را انجام دهند. همچنین بر مبنای نتایج حاصل از پژوهش حاضر شرکت آب و فاضلاب باید در خصوص تشویق مشترکین به استفاده از ادوات کاهنده آب و شیرآلات جدید در اولویت برنامه‌های خود داشته باشد. مواردی پیشنهاد می‌شود که پژوهش حاضر را می‌توان از جنب های بسیاری ادامه داد. باتوجه‌به گستردگی و تنوع شاخص‌های مورد مطالعه در پیشینه تحقیقات، می‌توان با انجام این پژوهش توسط متخصصان دیگر در استان‌های مختلف کشور تأثیر و اهمیت آنها را بر مصرف آب بررسی کرد و تعمیم‌پذیری آن را به محك آزمون گذاشت؛ ضمن آنکه می‌توان از متدولوژی‌های کمی، کیفی یا آمیختهٔ دیگری نیز، به‌منظور شناسایی عوامل مؤثر بر مصرف آب و حتی تبیین روابط میان این عوامل استفاده کرد. همچنین با انجام پژوهش به‌وسیله تکنیک‌های ریاضی و تحلیل خوشه‌ای جهت شناسایی مشترکین پرمصرف استفاده کرد و یا هر یک از عوامل مورد بررسی در این پژوهش، به‌طور مستقل و با عمق و وسعت بیشتری ارزیابی شوند تا بتوان با اطلاعات دقیق‌تری جهت تدوین سناریورهای مدیریتی برای تخصیص منابع آب کشور و مدیریت مصرف آب استفاده شود.

قدردانی

نویسندگان این پژوهش مراتب قدردانی خود را از شرکت آب و فاضلاب استان مازندران اعلام می‌نمایند.

پی‌نوشت

1- The World Health Organization & United Nations International Children's Emergency Fund

2- Water Footprint

منابع

آذر. ع. و فرجی، ح. ۱۳۹۵. علوم مدیریت فازی، چاپ پنجم، انتشارات موسسه مهربان، تهران.

حبیبی، ا.، ایزدیار، ص. و سرافراز، ا. ۱۳۹۳. تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، چاپ اول، انتشارات کتیبه گیل مدیر، تهران.

Cheng C.H. and Lin Y. 2002. Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation, European journal of operational research, 142(1): 174-186.

Chen T. 2000. Extensions of the TOPSIS for Group Decision-Making under Fuzzy Environment, Fuzzy Sets and Systems, 114(1): 1–9.

Daminato C., Diaz-Farina E., Filippini M. and Padrón-Fumero N. 2021. The impact of smart meters on residential water consumption: Evidence from a natural experiment in the Canary Islands. Resource and Energy Economics, 64: 68-84.

Dimkić D. 2020. Temperature Impact on Drinking Water Consumption. Eno viron mental Sciences ProceedingEnvironmental Sciences Proceedings, 2: 31

Downward S.R. and Taylor R. 2007. An assessment of Spain's programa AGUA and its implications for sustainable water management in the province of Almería. Environ Manage, 82: 277-289.

Garcia X., Ribas A., Llausàs A. and Saurí D. 2013. Socio-demographic profiles in suburban developments. Implicationsfor water-related attitudes and behaviors along the Mediterranean coast Applied Geography, 41(5): 46-54.

Gómez-Llanos E., Durán-Barroso P. and Robina-Ramírez R. 2020. Analysis of consumer awareness of sustainable water consumption by the water footprint concept. Science of the Total Environment. 721: 137743,

Jorgensen B., Graymore M. and O' Toole K. 2009. Household water use behavior: An integrated model, J Environ Manag, 91(1): 227-236.

Linstone H.A. and Turoff M. 1975. The Delphi method: Techniques and applications. Publisher Addison Wesley Publishing Company. New Jersey.

Liu H.T. and Tsai Y.L. 2012. A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry, Safety science, 50(4): 67-78.

Martínez-Noya A. and García-Canal E. 2011. Technological capabilities and the decision to outsource/outsource offshore R&D services. International Business Review, 20(3): 264-277.

Molden D. 2007. Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture. Publisher Earthscan. London, United Kingdom.

Mohammad A. and Sanaullah P. 2017. An Empirical Analysis of Domestic Water Sources, Consumption and Associated Factors in Kandahar City, Afghanistan. Resources and Environment, 7(2): 49-61.

Narmilan A., Puvanitha N., Niroash G., Sugirtharan M. and Vassanthini R. 2020. Domestic water consumption pattern by urban households, International Journal of Human Capital in Urban Management. 6(3): 225-236.

Noorderhaben N. 1995. Strategic decision making, Addison-Wesley, UK. Overby, E., Bharadwaj, A. and Sambamurthy V. 2006. Enterprise agility and the enabling role of information technology, European Journal of Information Systems, 15(2): 120-131.

Powell C. 2003. The Delphi technique: myths and realities. Journal of Advanced Nursing, 41(4): 376–382.

frastructures of consumption, environmental innovation in the utility industries, Publisher Earthscan. 1st Edition. London.

Wardak H. & Abed S. 2019. Analysis of Factors Affecting Water Consumption in Jeddah City, Conference: Industrial & Systems Engineering Conference (ISEC)

WHO & UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. 2012. Progress on Drinking Water and Sanitation: (Update), USA, World Health Organization. https://apps.who.int/iris/handle/10665/44842.

Rondinel-Oviedo D. and Sarmiento-Pastor. 2020. Water: consumption, usage patterns, and residential infrastructure A comparative analysis of three regions in the Lima metropolitan area. Journal Water International, 45(7-8): 824-846.

Siddiqi A. and Anadon L.D. 2011. The water–energy nexus in Middle East and North Africa, Energy Policy, 39: 4529–4540.

UNDP. 2012. The Millennium Development Goals Report. United Nations Development Programme. New York, USA.

Van Vliet B., Chappells H. and Shove E. 2005. In-

2022, Vol.8, No.4, Pages 23 to 32
Journal of Water and Sustainable Development

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ٢٣ تا ٣٢
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: **Applied Article**

نوع مقاله: **پژوهش کاربردی**

Investigating the Effective Factors on the Acceptance of New Irrigation Technologies Among Farmers in Sistan Region

M. Salarpour[1], M. Davarpanah[2*], G. Zare[3]

1,2,3- Assistant Professor & Ph.D. Student of Agricultural Economics-Marketing of Agricultural Products & MSc student of Agricultural Economics-Agricultural Policy and Development, Department of Agricultural Economics, Zabol University, Zabol, Iran.

*(Corresponding Author Email: Davarpanahm68@uoz.ac.ir)

Received: 18-07-2021 Revised: 31-08-2021
Accepted: 02-09-2021 Available Online: 19-03-2022

Abstract

The utilization of new irrigation technologies is a solution that serves farmers to manage production risk (yield) through the optimal storage and allocation of resources. This study was conducted to predict the factors affecting the adoption of new irrigation technologies among farmers in the Sistan region using the logit model. Sampling in this study was a random cluster method in which 100 farmers were selected from the villages in which the pressurized irrigation project was implemented. The required data were collected using a questionnaire from farmers in the crop year 2019-2020 and were analyzed by SPSS24 software using the logit model. The results of logit regression showed that age, education, ownership, the area under cultivation, and income explain between 71 to 94.6% of the changes in the adoption and non- adoption of pressurized irrigation and social and economic factors have been able to change between 69% to 92% of changes in technology acceptance. only economic factors such as low-interest rates on bank facilities, sufficient amount of bank facilities, farmer investment capacity, etc. had a significant effect ($P \leq 0.05$) on the adoption of pressurized irrigation technology by farmers. Therefore, appropriate mechanisms should be provided to eliminate these restrictions according to the conditions of farmers and use scientific and practical training to encourage farmers to accept this technology, on the other hand, due to the hot and dry climate of the region should be suitable crops and gardens with this method, pressurized and environmentally friendly irrigation methods that are more economically efficient and effective, should be introduced to farmers.

Keywords: New Irrigation Methods, Social Factors, Economic Factors, Logit Model, Sistan Region.

بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری در بین کشاورزان منطقهٔ سیستان

ماشاا.. سالارپور[۱]، مجتبی داورپناه[۲*]، قدسیه زارع[۳]

۱، ۲، ۳- به ترتیب استادیار، دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی-بازاریابی محصولات کشاورزی و دانشجوی کارشناسی‌ارشد اقتصاد کشاورزی-سیاست و توسعه کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Davarpanahm68@uoz.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

چکیده

بهره‌گیری از فناوری‌های نوین آبیاری راهکاری است که در خدمت کشاورزان برای مدیریت ریسک تولید (عملکرد) از طریق ذخیره و تخصیص بهینه منابع قرار دارد. این پژوهش باهدف پیش‌بینی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری در بین کشاورزان منطقه سیستان با استفاده از مدل لاجیت صورت پذیرفته است. نمونه‌گیری در این مطالعه به روش خوشه‌ای تصادفی بوده که تعداد ۱۰۰ کشاورز از بین روستاهایی که در آنها طرح آبیاری تحت فشار اجرا گردیده، انتخاب شدند. داده‌های موردنیاز با استفاده از پرسش‌نامه از کشاورزان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ گردآوری و توسط نرم افزار SPSS۲۴ و بکارگیری مدل لاجیت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصل از رگرسیون لاجیت نشان داد سن، تحصیلات، مالکیت، سطح زیرکشت و درآمد بین ۷۱ تا ۹۴/۶ درصد از تغییرات متغیر پذیرش و عدم‌پذیرش آبیاری تحت‌فشار را تبیین می‌کنند و عوامل اجتماعی و اقتصادی توانسته‌اند بین ۶۹ تا ۹۲ درصد از تغییرات پذیرش فناوری را تبیین نمایند؛ که از این بین تنها عوامل اقتصادی از قبیل پایین بودن نرخ بهره تسهیلات بانکی، کافی بودن مقدار تسهیلات بانکی، توان سرمایه‌گذاری کشاورز و ... تأثیر معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) بر پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار توسط کشاورزان داشتند. لذا می‌بایست سازوکارهای مناسب جهت رفع این محدودیت‌ها با توجه به شرایط کشاورزان مهیا گردد و با استفاده از آموزش‌های علمی و عملی کشاورزان را جهت پذیرش این تکنولوژی ترغیب نمود، از طرفی با توجه به اقلیم گرم و خشک منطقه می‌بایست گیاهان زراعی و باغی مناسب با این روش آبیاری تحت فشار و سازگار با محیط که از لحاظ اقتصادی نیز دارای کارایی و عملکرد بالاتری هستند به کشاورزان معرفی گردد.

واژه‌های کلیدی: روش‌های نوین آبیاری، عوامل اجتماعی، عوامل اقتصادی، مدل لاجیت، منطقه سیستان.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Salarpour M., Davarpanah M. and Zare G. 2022. Investigating the Effective Factors on the Acceptance of New Irrigation Technologies Among Farmers in Sistan Region. Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 23-32. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2107.1064

مقدمه

یک نوآوری، ممکن است در ظرف یک سال پذیرفته شود، ولی پذیرش نوآوری دیگر ممکن است چند دهه به طول انجامد. همهٔ افراد یک نظام اجتماعی، یک نوآوری را در یک‌زمان نمی‌پذیرند؛ بلکه برخی از آنان زودتر و برخی دیرتر اقدام به پذیرش نوآوری می‌کنند. آموزش مناسب می‌تواند این ناهماهنگی‌ها را به‌درستی برطرف نماید و حرکتی هماهنگ برای پذیرش فناوری‌ها فراهم سازد. هر چه کاربران، کاربرد فناوری را سودمندتر و ساده‌تر بیابند، نگرش بهتری نسبت به آن خواهند داشت. درجهٔ سودمند دانستن و نگرش مربوطه، منجر به افزایش گرایش رفتاری شده و از این راه کاربر به استفاده از فناوری روی می‌آورد. (حیدریه و همکاران، ۱۳۹۲). پنج عامل مزیت نسبی، سازگاری، آسانی استفاده، آزمون‌پذیری و قابل‌رؤیت بودن در پذیرش فناوری مؤثر است (دانش و همکاران، ۱۳۹۱). بر پایه مدل نشر نوآوری‌ها، هر فرد برای پذیرش یا رد یک نوآوری خاص، چهار مرحله شامل دانش، ترغیب، تصمیم و هم‌نوایی را باید بگذراند (شعبانعلی فمی، ۱۳۸۳). بی‌تردید، فناوری نوین هنگامی پذیرفته می‌شود که سودمندی آن بیش از هزینه‌های آن باشد (Tornatzky و Fleischer، ۱۹۹۰). برخی جامعه‌شناسان نیز روند پذیرش فناوری را یک فرآیند یادگیری می‌دانند و آن را به پنج مرحله تقسیم می‌کنند؛ و بر این پایه: در مرحلهٔ اول، کشاورزان از روش تولید جدید (فناوری جدید) بی‌اطلاع هستند؛ در مرحله دوم، از وجود فناوری جدید از طریق منبع‌های مختلف ازجمله سایر کشاورزان، رسانه‌های گروهی، مروجان کشاورزی، فروشندگان نهاده‌های کشاورزی و کارشناسان کشاورزی آگاه می‌شوند؛ در مرحله سوم، کشاورزان از راه منبع‌های آموزشی از قبیل کشت‌زارهای نمایشی، صحبت با سایر کشاورزان که از فناوری جدید استفاده کرده‌اند و سایر روش‌ها به ارزیابی آن می‌پردازند؛ در چهارمین مرحله، کشاورزان ممکن است بخشی از مزارع خود را به روش تولید جدید (فناوری جدید) اختصاص دهند؛ و در مرحله بعد درصورتی‌که، روش تولید جدید بهتر باشد کشاورزان آن را به‌طور کامل می‌پذیرند و به کار می‌گیرند (عرفانی‌فر و همکاران، ۱۳۹۳). بهره‌وری آب در کشورهای درحال‌توسعه در حدود ۴۵ درصد و در کشورهای توسعه‌یافته در حدود ۶۰ درصد است (فانی و همکاران، ۱۳۸۸). بااین‌حال پیداست که محدودیت منابع آب از یک‌سو و تلفات حجم عظیمی از آب در اثر استفاده از شیوه‌های نادرست آبیاری از سوی دیگر، ضرورت بهبود مدیریت آب و آبیاری در مزرعه را به‌عنوان مسئله‌ای اساسی و مهم مطرح کرده است و در این میان از جمله راهکارهای مؤثر بر بهبود مدیریت منابع آب و افزایش راندمان آبیاری، گسترش روش‌های نوین آبیاری است؛ چراکه راندمان آبیاری به روش سنتی از ۳۵ درصد تجاوز نمی‌کند، درحالی‌که در روش آبیاری بارانی راندمان آبیاری حدود ۷۰ درصد و در روش آبیاری قطره‌ای راندمان آبیاری در حدود ۹۰ درصد است (عبدالملکی و چیذری، ۱۳۸۷). مؤثر بودن این راهکار زمانی بیشتر می‌شود که توجه کنیم در ایران به ازای هر پنج درصد افزایش در راندمان آبیاری حدود چهار میلیارد مترمکعب آب در سال صرفه‌جویی می‌شود (اخوان، ۱۳۸۵). درنتیجه با گسترش روش‌های آبیاری تحت‌فشار می‌توان در مصرف آب کشاورزی صرفه‌جویی کرد. جهت رسیدن به این مهم نیاز است که کشاورزان را به پذیرش روش‌های آبیاری تحت‌فشار و استفاده از این روش‌ها در مزارع خود ترغیب کرد. بهره‌گیری از فناوری‌های نوین آبیاری راهکاری است که در خدمت کشاورزان برای مدیریت ریسک تولید (عملکرد) از طریق ذخیره و تخصیص بهینه منابع قرار دارد. به‌واقع، پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری بخشی از رویکرد کلی کشاورزان برای مدیریت واحد تولیدی خود محسوب می‌شود. کاربرد این فناوری‌ها با دیگر اقدامات و عناصر مدیریت بهره‌برداری، نظیر عملیات خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت محصول، انتخاب ارقام، کاربرد کود و آفت‌کش‌ها، نیروی کار زراعی و نظایر آن مرتبط است، بنابراین، تصمیم به کاربرد فناوری‌های نوین آبیاری مستلزم عزم و اراده برای باز تنظیم عناصر دیگر نظام زراعی است. باوجود هزینه‌های اولیه، تلفیق فناوری‌های نوین آبیاری در نظام زراعی در بلندمدت موجب کاهش هزینه یا ریسک تولید و افزایش درآمد کشاورز می‌شود. این امر به‌نوبهٔ خود می‌تواند موجب ترغیب کشاورزان برای سرمایه‌گذاری در مزرعه ازجمله به‌منظور ارتقای تسهیلات آبیاری شود (Ndiiri و همکاران، ۲۰۱۳).

اقتصاددانان بر این عقیده هستند که عامل کلیدی در رشد و بهره‌وری، رفاه اقتصادی و ثروت جامعه در بلندمدت، نوآوری و پیشرفت تکنولوژی است. شرط لازم و کافی برای رسیدن به این مهم، نفوذ تکنولوژی در جامعه است؛ یعنی افراد جامعه باید بپذیرند که تکنولوژی جدید به قبلی برتری دارد و یا اینکه اختراع و نوآوری را در زندگی خود مورد استفاده قرار دهند (حیدریه و همکاران، ۱۳۹۲)، پذیرش تکنولوژی جدید، عمدتاً از طریق مقایسه منافع و هزینه‌های به‌کارگیری آن عملی می‌شود. عموماً وقتی تکنولوژی جدیدی معرفی می‌شود، افراد سابقهٔ استفاده از آن را ندارند و از طرفی هزینهٔ تولید و درنتیجه قیمت آن در مرحله اولیه بسیار بالا است، لذا در مرحلهٔ اولیه معرفی، افراد کمی آن را می‌پذیرند؛ اما به‌مرورزمان و با آشکار شدن منافع کاربرد آن از طریق تبلیغات، انتقال اطلاعات و غیره، پذیرش تکنولوژی فزونی می‌یابد؛ بنابراین نفوذ و انتشار تکنولوژی جدید در یک جامعه در یک‌زمان اتفاق نمی‌افتد؛ بلکه این عمل یک فرآیند تدریجی است که به‌مرورزمان حاصل می‌شود. همه افراد یک نظام اجتماعی، یک نوآوری را در زمان مشابه و مشخص نمی‌پذیرند، بلکه برخی از آن‌ها زودتر و برخی دیرتر اقدام به آن عمل می‌کنند (شعبانعلی فمی، ۱۳۸۳).

در همین راستا به برخی از مطالعات صورت گرفته در این زمینه اشاره می‌گردد. اعظمی و همکاران (۱۳۹۰)، در بررسی رضایتمندی

کشاورزان در اجرای سامانه‌های تحت‌فشار که در استان کرمانشاه صورت گرفته است، اشاره‌کرده‌اند که سطح تحصیلات، پیشینهٔ بهره‌برداری، هزینهٔ راه‌اندازی سیستم، شرکت در کلاس‌های تخصصی آبیاری تحت‌فشار و درآمد، ازجمله عامل‌های مؤثر بر نگرش کشاورزان در پذیرش سامانه‌های تحت‌فشار می‌باشند. در تحقیقی که توسط جلالیان (۱۳۹۱)، با عنوان تحلیل اثرات نظام‌های آبیاری نوین بر وضعیت بهره‌برداران کشاورزی در شهرستان خدابنده انجام شد، چنین نتیجه‌گیری گردید که با اجرای طرح آبیاری تحت‌فشار؛ سطح زیر کشت، میانگین عملکرد در هکتار، میزان درآمد بهره‌برداران، بهره‌وری مصرف آب و کیفیت محصولات تولیدی افزایش‌یافته است. بهبود این شاخص‌ها موجب افزایش رضایت کشاورزان، افزایش درآمد و اشتغال‌زایی و تثبیت جمعیت و کاهش انگیزه مهاجرت شده است. Gholamrezi و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی با عنوان بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش سیستم‌های جدید آبیاری در شهرستان فریدن استان اصفهان، نشان داد که پنج عامل اقتصادی، اجتماعی، پشتیبان، فردی و زیست‌محیطی در پذیرش سیستم‌های جدید آبیاری مؤثر هستند. Shahzadi (۲۰۱۳) با بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار توسط کشاورزان گرمسار با استفاده از مدل لاجیت، نشان داده است که آموزش، مالکیت زمین، وام بانکی، اندازه زمین و درآمد سالیانه، اثرات مثبت و قابل‌توجهی در پذیرش سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار دارد درحالی‌که، سن و اندازه خانوار اثرات منفی بر اتخاذ سیستم آبیاری تحت‌فشار دارد. یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری نوین توسط کشاورزان شهرستان بهبهان پرداختند و بیان کردند متغیر سن در مدل نشرو چندبعدی و متغیر فاصله زمین‌های کشاورزی تا مرکز خدمات در مدل تنگناهای اقتصادی، مهم‌ترین متغیرهای متمایزکنندهٔ دو گروه پذیرنده و نپذیرنده می‌باشند. همچنین یافته‌ها بیانگر آن است که الگوی چندبعدی، توانایی بالاتری برای طبقه‌بندی کشاورزان پذیرنده و نپذیرندهٔ فناوری آبیاری نوین دارد.

طیب‌نیا و درینی (۱۳۹۹) به تحلیلی بر اثرات سامانه‌های آبیاری نوین بر نواحی روستایی پرداختند. براساس نتایج تحقیق، این سیستم‌ها موجب افزایش ۳۰ تا ۷۰ درصدی تولید محصولات کشاورزی شده‌اند. همچنین اثرات سیستم آبیاری بر معیشت ساکنین روستاها بالاتر از متوسط است که در میان این اثرات؛ متغیر تأثیر صرفه‌جویی در مصرف آب، مهم‌ترین اثرپذیری از سیستم آبیاری را دارد. به علاوه؛ میان دیدگاه مردم نسبت به بهبود تأثیرات آبیاری نوین و بهبود وضعیت اقتصادی؛ رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. همچنین متغیرهای افزایش درآمد، بازگشت مهاجرین و افزایش راندمان تولید از میان سایر متغیرها، دارای قدرت پیش‌بینی معنی‌دارتری برای تغییر وضعیت روستائیان می‌باشند. متغیر افزایش درآمد با ضریب بتای ۰/۲۷۷ بیشترین تأثیر را بر متغیر وضعیت روستائیان داشته است. کورکی‌نژاد (۱۴۰۰) به بررسی کارایی فنی آب و تعیین عوامل مؤثر بر پذیرش تکنولوژی نوین آبیاری با تأکید بر نقش سرمایه اجتماعی در تولیدکنندگان پسته شهرستان سیرجان پرداختند. نتایج نشان داد متغیرهای شرکت در برنامه‌های صرفه‌جویی آب، تحصیلات، سرمایهٔ اجتماعی، قیمت آب و نوع آبیاری، تأثیر مثبت بر کارایی فنی آب دارند. به‌علاوه متغیرهای دسترسی به اعتبارات بانکی، میزان درآمد، سرمایه اجتماعی و قیمت آب، بیشترین تأثیر مثبت بر پذیرش آبیاری نوین توسط کشاورزان را داشتند.

تحقیقات Adeoti (۲۰۰۸)؛ Calatrava و همکاران، (۲۰۰۵) و Mendola (۲۰۰۵) نشان می‌دهد که تصمیم به پذیرش یک نوآوری در کشاورزی، بستگی به عواملی ازجمله یدارایی‌های خانوار کشاورز، یویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی آنان، ویژگی‌های نوآوری ارائه‌شده، درك نیازها و ظرفیت تحمل خطر توسط کشاورزان دارد. مطالعه Adeoti (۲۰۰۸) نشان می‌دهد دارایی‌های فیزیکی/ طبیعی مانند زمین، دارایی انسانی (یعنی کمیت و کیفیت کارگران)، دارایی اجتماعی (شرکت در تعاونی و برنامه‌های ترویج کشاورزی) و دارایی‌های رسمی (دسترسی به اعتبارات رسمی و غیررسمی) پذیرش فناوری را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

Knowler و Bradshaw (۲۰۰۷) با بررسی تحقیقات انجام‌شده در زمینهٔ پذیرش کشاورزی حفاظتی، بیان کردند که تحصیلات، سن، اندازه مزرعه، درآمد خارج از مزرعه، تجربه و سطح زیر کشت از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پذیرش کشاورزی حفاظتی می‌باشند. Regassa و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی که با عنوان نمونه‌های پذیرفته‌شده و محدودیت‌های مربوط به کوچک بودن مقیاس در استفاده از تکنولوژی آبیاری به‌صورت پیمایش در کشور غنا انجام‌شده است. دو نوع روش جمع‌آوری داده در این مقاله به‌کاررفته است. روش اول آمارگیری هدایت‌شده بوده است که در پنج ناحیه و در بین کسانی که تکنولوژی آبیاری را پذیرفته‌اند، صورت گرفته و روش دوم پیروی از جزئیات نمونه رفتاری بوده است که در سه منطقه مورداستفاده قرارگرفته است. نتایج آنها نشان دادعوامل مؤثر بر عدم پذیرش تکنولوژی آبیاری تحت‌فشار عبارت‌اند از: عدم دسترسی به منابع مالی، ریسک قیمتی زیاد محصولات و نبود حمایت‌های سازمانی. نتایج پژوهش Long و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که محدودیت‌هایی در عرضه و تقاضای فناوری وجود دارد. این محدودیت‌ها می‌توانند بر پذیرش فناوری تأثیرگذار باشند. Mushtaq و همکاران (۲۰۱۵) در مقالهٔ خود بیان می‌کنند که استفاده از تکنولوژی‌های نوین آبیاری موجب صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی می‌گردد و تصمیم به بکارگیری آن‌ها، به عوامل اقتصادی و محیطی بستگی دارد.

مطالعه Jin و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که میزان زمین، درآمد، درك اثرات تغییرات اقلیمی ازجمله خسارت به محصولات، بر پذیرش تکنولوژی‌های کشت ارقام مقاوم به خشکی مؤثر بوده است. همچنین جنسیت و درك اثرات بر روی پذیرش سیستم‌های آبیاری جدید تأثیرگذار بوده است. به‌علاوه میزان اراضی کشاورزان، تجربه

کشاورزی و احتمال خسارت به محصول در آینده، بر پذیرش بیمه مؤثر بوده است. مطالعه Chuchird و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد اندازه زمین، درآمد مزرعه و عضویت در انجمن‌های کاربری آب، رابطه مثبتی با پذیرش چرخ آبگرد به‌عنوان یک فناوری استخراج آب از چاه‌ها داشته و درعین‌حال، سن، آموزش مهارت و عضویت در انجمن آب‌بران با استفاده از پمپ رابطه منفی داشتند.

دشت سیستان در منتهی‌الیه مرز شرقی ایران مابین طول شرقی ۶۱:۱۰ تا ۶۱:۵۰ و عرض شمالی ۱۸:۳۰ تا ۳۱:۲۱ واقع‌شده است و در گوشه شمالی استان پهناور سیستان و بلوچستان قرارگرفته است. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۶۷۸ متر بوده و از نقطه‌نظر جغرافیای طبیعی جزو دلتای رودخانه هیرمند می‌باشد. دشت سیستان منطقه رسوبی و سطحی می‌باشد که از رسوبات شاخه‌های متفاوت رودخانه هیرمند و سرشاخه‌های شمالی هامون تشکیل گردیده است. از مهم‌ترین خصوصیات آن می‌توان شیب کم دشت را نام برد که حدود ۲۵٪ در هزار می‌باشد تنها منبع تأمین آب دشت سیستان رودخانه هیرمند می‌باشد که از ارتفاعات بابا یغما در افغانستان سرچشمه می‌گیرد. هیچ‌گونه منابع آب زیرزمینی در دشت سیستان وجود ندارد. استفاده از لوله و جریان آب توسط پمپاژ با فشار بیش از یک اتمسفر و یا معادل ۱۰ متر ارتفاع آب به‌عنوان روش رو بسته و تحت‌فشار می‌باشد. چنانچه فشار موردنیاز جریان کمتر از ۱۰ متر باشد آنگاه روش انتقال و توزیع بنام روش کم‌فشار نامیده می‌شود (پیری و همکاران، ۱۳۹۳).

طرح آبیاری ۴۶ هزار هکتاری دشت سیستان در سال ۱۳۹۳ به عنوان یکی از مهمترین طرح‌های آبرسانی در کشور بصورت اجرایی آغاز گردید، اعتبار این طرح در مرحله نخست اجرا، از محل منابع صندوق ملی به مبلغ ۵۰۰ میلیون دلار و پس از پیشرفت مراحل اجرایی در مرحله دوم به مبلغ ۳۵۰ میلیون دلار بود. فاز اول این طرح در سال ۱۳۹۹ به بهره برداری رسید و در این مرحله کشاورزان برخی از مناطق که این طرح در آنها پیاده‌سازی شده بود شده بود به اجرای عملیات آبیاری با استفاده از سامانه‌های آبیاری نوین اقدام نمودند. با توجه به اینکه فناوری آبیاری تحت فشار در منطقه سیستان درحال اجرا می‌باشد و کشاورزان در پذیرش این فناوری دچار تردید می‌باشند و می‌توان گفت عوامل متعددی در پذیرش این فناوری نوظهور در منطقه مورد مطالعه نقش دارد، ازاین‌رو پژوهش حاضر باهدف بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری در بین کشاورزان منطقه سیستان با استفاده از مدل لاجیت انجام شده است.

شکل ۱- چارچوب مفهومی عوامل اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری

روش تحقیق

در مدل‌های رگرسیون مرسوم، متغیر وابسته به‌صورت کمی می‌باشد و متغیرهای مستقل، می‌توانند ترکیبی از متغیرهای کیفی و یا کمی باشند؛ اما در برخی مواقع متغیر وابسته به‌صورت کیفی[1] است و ممکن است فقط دو حالت مختلف داشته باشد و یا بیش از دو حالت را به خود اختصاص دهد. هدف ازاین‌گونه رگرسیون‌ها به دست آوردن احتمال اتفاق افتادن یکی از حالات متغیر وابسته به‌شرط مشخص بودن مقادیر متغیرهای مستقل می‌باشد. به همین دلیل این مدل‌ها را مدل‌های احتمال[2] می‌نامند (Gujarati و Porter، ۲۰۰۹). در مدل‌های دوتایی می‌توان وقوع متغیر وابسته را با (۱) و عدم وقوع آن را با (۰) نشان داد و برای تخمین آن‌ها

از مدل‌های احتمال غیرخطی لاجیت و یا پروبیت که دارای توابع توزیع تجمعی S شکل هستند، استفاده کرد.

آزمون اُم‌نیبوس[3]، آزمونی است که ارزیابی کل مدل رگرسیونی لاجستیک را نشان می‌دهد. بدین معنی که مدل رگرسیونی تا چه اندازه قدرت تبیین و کارایی دارد. در این آزمون، آمارهٔ خی‌دو (مجذور کا)[4] در سطح خطای کمتر از ۰/۰۵ معنی‌دار است و ضمن اینکه نشان از برازش مدل دارد، معنی‌داری این آزمون بیانگر آن است که متغیرهای مستقل، توانایی لازم را در پیش‌بینی متغیر وابسته دارند (قربانعلی‌زاده، ۱۳۹۹).

در مدل لاجیت از تابع لجیستیک (تابع توزیع تجمعی) با ۷ درجه آزادی و در مدل پروبیت از تابع توزیع تجمعی نرمال (تابع توزیع تجمعی با بی‌نهایت درجه آزادی) استفاده می‌شود (Baltagi، ۲۰۰۸). تابع تجمعی لاجیت به فرم زیر می‌باشد:

$$P = E(y = 1/X) = \frac{e^z}{1 + e^z} \qquad (۱)$$

که در آن Z به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z=X\beta+U \qquad (۲)$$

در تابع فوق وقتی متغیرهای مستقل (x) در محدوده ∞- تا ∞+ تغییر می‌کنند، P در دامنه ۰ تا ۱ تغییر خواهد کرد و همچنین رابطهٔ بین آن‌ها نیز غیرخطی است و وجود این دو خاصیت در تابع فوق، مشکل تخمین توسط تابع احتمال خطی را مرتفع می‌نماید. اما با توجه به این‌که در تابع فوق، P نه‌تنها نسبت به Xها بلکه نسبت به ضرایب تابع (β, s) نیز غیرخطی است (s انحراف استاندارد متغیر است که در جداول خروجی با نماد se نمایش داده شده است)، نمی‌توان آن را با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی تخمین زد. برای این‌که بتوان آن را با استفاده از این روش برآورد کرد، به ترتیب زیر عمل می‌شود.

لگاریتم طبیعی نسبت احتمال که با L نشان می‌دهند را مدل لاجیت می‌نامند که نه‌تنها برحسب متغیرهای مستقل خطی است بلکه برحسب پارامترها نیز خطی می‌باشد. در مدل لاجیت وقتی P در دامنه ۰ تا ۱ تغییر می‌کند، L در محدوده ∞- تا ∞+ تغییر می‌کند و هرچند که L برحسب متغیرهای مستقل خطی است ولی P غیرخطی است (Scott long و Freese، ۲۰۰۱).

درصورتی‌که متغیر وابسته بتواند بیش از دو حالت را به خود اختصاص دهد، می‌توان از مدل لاجیت چندگزینه‌ای استفاده کرد. تخمین لاجیت چندگزینه‌ای[5] را می‌توان به‌عنوان تخمین هم‌زمان مدل لاجیت برای تمام مقایسه‌های ممکن بین مقادیر متغیر وابسته در نظر گرفت. در حالت کلی اگر متغیر وابسته دارای j پیامد باشد، فقط لازم است که j-۱ مدل لاجیت تخمین زده شود و سایر ضرایب مدل با استفاده از ضرایب تخمین زده‌شده به دست می‌آیند. درصورتی‌که متغیر وابسته دارای j پیامد باشد، فرم کلی مدل لاجیت چندگزینه‌ای را می‌توان به‌صورت زیر نوشت (Scott long و Freese، ۲۰۰۱):

$$Ln\left(\Omega_{\frac{m}{b}}\right) = \ln\left(\frac{\Pr(y = {}^{m}/_{X}}{pr(y = {}^{b}/_{X}}\right) = X\beta_{\frac{m}{b}} form = 1toj \qquad (۳)$$

در این مطالعه به‌منظور انتخاب نمونه مناسب از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای تصادفی استفاده شد. کشاورزان منطقه سیستان جامعه آماری مطالعه را تشکیل دادند. با توجه به این‌که سیستم آبیاری تحت‌فشار در سیستان در حال اجرا می‌باشد و تاکنون تعداد محدودی از کشاورزان نسبت به اجرای آبیاری تحت فشار در مزارع خود اقدام نموده‌اند، لذا کلیه روستاها از سیستم آبیاری نوین برخوردار نبوده، به همین دلیل ابتدا تعدادی از این آبادی‌ها (خوشه‌ها) که در آن‌ها این سیستم در حال اجرا می‌باشد، به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. در مرحله بعد لیستی از کلیه بهره‌برداران کشاورزی آبادی‌های انتخاب‌شده، تهیه گردید و تعدادی از کشاورزان هر آبادی به‌صورت تصادفی از ۱۰۰ نفر از کشاورزان (۵۰ کشاورزی که اقدام به اجرای طرح آبیاری تحت فشار در مزارع نمودند و ۵۰ نفر از کشاورزان که این طرح در مزارع آنها اجرا نگردیده بود) انتخاب و اطلاعات موردنیاز از آن‌ها با انجام مصاحبه و تکمیل پرسش‌نامه در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ جمع‌آوری گردید. ابزار گردآوری داده‌ها در این پژوهش از نوع محقق ساخته بوده که با توجه به شاخص‌ها و مطالعات مرتبط در این حوزه جمع‌آوری گردیدند. روایی پرسشنامه توسط اساتید رشته اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل، مورد تایید قرار گرفت و پایایی آن توسط آلفای کرونباخ برابر ۰/۸۵۷ بدست آمد که در دامنه قابل قبولی می‌باشد. متغیرهای مستقل پژوهش شامل عوامل اجتماعی و اقتصادی اجرای طرح‌ها است و متغیر وابسته به صورت صفر و یک که بیانگر اجرا و عدم اجرای طرح آبیاری تحت فشار در مزارع می‌باشد. در این مطالعه به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش سیستم آبیاری نوین (تحت‌فشار) نسبت به روش‌های مرسوم و تعیین جهت تأثیر این عوامل از مدل لاجیت توسط نرم‌افزار SPSS۲۴ استفاده گردید.

نتایج

• نتایج توصیف جامعه مورد مطالعه

در بخش توصیفی جهت اختصار مقادیر کمترین و بیشترین فراوانی ارائه گردیده است. نتایج این بخش نشان داد که بیشترین فراوانی در خصوص تحصیلات کشاورزان مربوط به مقطع سیکل (راهنمایی) با ۲۵ درصد فراوانی و پس از آن دیپلم با ۲۰ درصد فراوانی می‌باشد، کمترین فراوانی مربوط به مقطع تحصیلی بالاتر از لیسانس و بالاتر از دیپلم به ترتیب با فراوانی ۶ و ۹ درصد می‌باشد. مالکیت محل فعالیت نیز گویای آن بود که ۸۰ درصد مالکیت‌ها شخصی و ۲۰ درصد آن‌ها اجاره‌ای می‌باشد. اکثر کشاورزان بین ۵۰-۳۵ سال سن داشتند (۴۵ درصد) و تنها ۱۶ درصد آن‌ها دارای سن کمتر از ۳۵ سال می‌باشند. در خصوص مساحت زمین تحت مالکیت کشاورزان، نتایج نشان داد که ۷۵ درصد آن‌ها بین ۴-۱ هکتار زمین داشتند. از لحاظ تجربه در فعالیت‌های کشاورزی، ۴۹ درصد آن‌ها کمتر از ۱۰ سال تجربه و تنها ۴

درصد آن‌ها بیش از ۳۰ سال در این زمینه تجربه داشتند. نتایج حاصل از درآمد نیز حاکی از آن بود که ۴۵ درصد افراد بیش از ۲/۵ میلیون تومان، ۴۰ درصد آن‌ها بین ۲-۱ میلیون و تنها ۳ درصد آن‌ها کمتر از ۱۰۰ هزار تومان درآمد داشتند؛ میانگین درآمد براساس میانگین سطح کشت که در قسمت فوق نیز به آن اشاره شده بدست آمده و بر حسب میزان کشت هر کشاورز متفاوت می‌باشد.

• رتبه‌بندی عامل‌های اقتصادی و اجتماعی

در این مطالعه، تأثیر عامل‌های اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار که با گویه‌ها و متغیرهای پژوهش و دیگر بررسی‌ها استخراج‌شده است، ازنظر کشاورزان بررسی شد. رتبه‌بندی این گویه‌ها با استفاده از پاسخ‌های کشاورزان به آنها و با میانگین‌گیری، صورت گرفته است(جدول ۱). در این بررسی عامل‌های اقتصادی مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار شامل مؤلفه‌های کافی بودن مقدار تسهیلات بانکی، توان سرمایه‌گذاری کشاورز و کاهش علف هرز و هزینه‌های مبارزه با آن به ترتیب با میانگین ۴/۱۸، ۴/۱۶ و ۴/۱۳ بیشترین رتبه را دارا بودند و کاهش هزینه‌های کارگری، کاهش مصرف آب و هزینه‌های مصرفی آب و کاهش کل هزینه‌های آبیاری در بلندمدت به ترتیب با میانگین ۱/۷۳، ۲/۳۷ و ۲/۸ کمترین رتبه را در بین عامل‌های اقتصادی دارا بودند. نتیجهٔ به‌دست‌آمده از رتبه‌بندی عامل‌های اجتماعی مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار با استفاده از میانگین، نشان می‌دهد که به ترتیب مؤلفه‌های اجتماعی از قبیل توصیه کارشناسان و متخصصان فنی به اجرای آبیاری تحت‌فشار، ارائه آموزش‌های توجیهی در ارتباط با آبیاری تحت‌فشار و بازدیدهای آموزشی از مناطقی که پیش‌تر آبیاری تحت‌فشار در آنجا اجراشده است، با میانگین ۴/۵۶، ۴/۳۲ و ۴/۰۱ بالاترین رتبه را دارا بودند و کمترین رتبه‌ها به ترتیب مربوط به تبلیغات فروشندگان و شرکت‌های طراح سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، دسترسی آسان به فروشگاه‌های عرضه قطعه‌های یدکی آبیاری تحت‌فشار و برخورد مناسب شرکت‌های مجری آبیاری تحت‌فشار با میانگین ۱/۴۶، ۱/۵۶ و ۱/۶۵ در بین مؤلفه‌های اجتماعی بودند.

جدول ۱- رتبه‌بندی عوامل اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری بر پایه میانگین

عوامل اقتصادی			
مؤلفه	میانگین	انحراف معیار	رتبه
کافی‌بودن مقدار تسهیلات بانکی	۴/۱۸	۰/۷۶	۱
توان سرمایه‌گذاری کشاورز	۴/۱۶	۱/۲۴	۲
کاهش علف هرز و هزینه‌های مبارزه با آن	۴/۱۳	۰/۶۶	۳
کاهش هزینه‌های تسطیح زمین	۴/۰۱	۱/۰۴	۴
تأمین به‌موقع تسهیلات بلندمدت بودن مدت بازپرداخت وام‌ها	۳/۹۹	۰/۹۸	۵
امکان بهره‌مندی از تسهیلات بانکی	۳/۹۱	۰/۹۶	۶
کاهش هزینه‌های سم‌پاشی	۳/۸۴	۱/۲۰	۷
قابلیت کشت متنوع	۳/۸۰	۱/۱۲	۸
پایین‌بودن نرخ بهره تسهیلات بانکی	۳/۷۹	۱/۲۹	۹
کاهش هزینه‌های کودپاشی	۳/۶۷	۱/۱۶	۱۰
پایین‌بودن هزینه‌های اجرایی آبیاری تحت‌فشار	۳/۳۲	۱/۱۷	۱۱
توسعه و افزایش سطح زیر کشت	۳/۲۶	۱/۳۴	۱۲
افزایش میزان تولید در واحد سطح	۳/۲۶	۱/۴۲	۱۳
افزایش کیفیت محصولات تولیدی	۳/۰۴	۱/۵۳	۱۴
کاهش کل هزینه‌های آبیاری در بلندمدت	۲/۸۰	۱/۶۵	۱۵
کاهش مصرف آب و هزینه‌های مصرفی آب	۲/۳۷	۱/۶۹	۱۶
کاهش هزینه‌های کارگری	۱/۷۳	۱/۰۶	۱۷

عوامل اجتماعی			
مؤلفه	میانگین	انحراف معیار	رتبه
توصیه کارشناسان و متخصصان فنی به اجرای آبیاری تحت‌فشار	۴/۵۶	۰/۹۴	۱
ارائه آموزش‌های توجیهی در ارتباط با آبیاری تحت‌فشار	۴/۳۲	۱/۲۸	۲
بازدیدهای آموزشی از مناطقی که پیش‌تر آبیاری تحت‌فشار در آنجا اجرا شده	۴/۰۱	۰/۹۶	۳
شرکت در دوره‌های آموزشی مربوط به مدیریت آب	۹/۹۵	۱/۰۱	۴
معرفی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در رادیو و تلویزیون	۳/۹۴	۱/۰۱	۵
استفاده از تجربه‌های مثبت دیگران در ارتباط با آبیاری تحت‌فشار	۳/۶۷	۱/۶۸	۶
اطمینان از وجود امنیت در منطقه	۳/۲۴	۱/۱۲	۷
معرفی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در نشریه‌های ترویجی	۲/۴۳	۱/۶۴	۸
دسترسی آسان به خدمات پس از فروش قطعه‌های یدکی مربوط به آبیاری تحت‌فشار	۲/۳۴	۱/۶۷	۹
برخورد مناسب شرکت‌های مجری آبیاری تحت‌فشار	۱/۶۵	۱/۲۲	۱۰
برخورد مناسب شرکت‌های مجری آبیاری تحت‌فشار	۱/۶۵	۱/۲۲	۱۱
دسترسی آسان به فروشگاه‌های عرضه قطعه‌های یدکی آبیاری تحت‌فشار	۱/۵۶	۰/۹۴	۱۲
تبلیغات فروشندگان و شرکت‌های طراح سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار	۱/۴۶	۰/۸۲	۱۳

• **بررسی تأثیر مشخصات فردی بر پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار**

- **ارزیابی کلی مدل:** نتایج آزمون اوم‌نیبوس نشان می‌دهد که متغیرهای مدل (سن، تحصیلات، مالکیت، سطح زیر کشت و درآمد) تا چه اندازه قدرت تبیین و کارایی داشته، لذا با توجه به سطح معنی‌داری مدل، برازش مدل قابل‌قبول بوده و در سطح خطای کمتر از ۰/۰۵ معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲).

- **بررسی برازش مدل:** نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که مقادیر دو آماره برابر ۰/۷۱۰ و ۰/۹۴۶ به‌دست‌آمده است، بدین معنی که پنج متغیر مستقل (سن، تحصیلات، مالکیت، سطح زیر کشت و درآمد) توانسته‌اند بین ۷۱ تا ۹۴/۶ درصد از تغییرات متغیر وابسته (پذیرش و عدم پذیرش آبیاری تحت‌فشار) را تبیین کنند.

نتایج حاصل از جدول ضرایب رگرسیون (جدول ۴) نیز نشان می‌دهد که سن به‌طور منفی و معنی‌داری پذیرش آبیاری تحت‌فشار را پیش‌بینی می‌کند، بدین معنی که افزایش سن موجب کاهش پذیرش فن‌آوری آبیاری تحت‌فشار شده و برعکس آن نیز صادق است که کاهش سن موجب افزایش پذیرش آبیاری تحت‌فشار می‌گردد. در خصوص میزان تحصیلات نیز مشاهده شد که تأثیر مثبت و معنی‌داری بر پذیرش آبیاری تحت‌فشار دارد، نوع مالکیت محل فعالیت تأثیر منفی بر پذیرش آبیاری تحت‌فشار داشته ولی این تأثیر معنی‌دار نمی‌باشد. با توجه به اینکه جهت تأثیرات مقدار سن، منفی و تحصیلات، مثبت بوده، لذا می‌توان گفت با افزایش تحصیلات و پایین‌بودن سن کشاورزان میزان پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار افزایش می‌یابد (جدول ۴).

• **بررسی تأثیر عوامل اجتماعی و اقتصادی بر پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار**

- **ارزیابی کلی مدل:** بررسی برازش مدل با استفاده از آزمون اوم نیبوس نشان داد متغییرهای مورد استفاده در مدل به طور معنی دار کارایی کافی جهت تبیین مدل را دارند (sig≤۰/۰۵) (جدول ۵).

- **بررسی برازش مدل:** نتایج جدول (۶) نشان می‌دهد که مقادیر دو آماره، برابر ۰/۶۹۱ و ۰/۹۲۱ به‌دست‌آمده است، بدین معنی که متغیرهای اجتماعی و اقتصادی توانسته‌اند بین ۶۹ تا ۹۲ درصد از تغییرات متغیر پذیرش و عدم پذیرش آبیاری تحت‌فشار را تبیین نمایند.

نتایج حاصل از جدول ضرایب رگرسیون (جدول ۷) نیز نشان می‌دهد که از بین دو عامل اجتماعی و اقتصادی؛ عوامل اقتصادی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر پذیرش آبیاری تحت‌فشار دارد، لذا می‌توان گفت با افزایش مؤلفه‌های اقتصادی از قبیل پایین بودن نرخ بهره تسهیلات بانکی، کافی بودن مقدار تسهیلات بانکی، توان سرمایه‌گذاری کشاورز و ... بین کشاورزان، میزان پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار افزایش می‌یابد.

جدول ۲- ارزیابی مدل توسط آزمون اوم نیبوس-تأثیر مشخصات فردی

	کای اسکویر	دامنه	سطح معنی‌داری
Step	۱۲۳/۷۱۳	۵	۰/۰۰۰
Block	۱۲۳/۷۱۳	۵	۰/۰۰۰
Model	۱۲۳/۷۱۳	۵	۰/۰۰۰

جدول ۳- بررسی برازش مدل-تأثیر مشخصات فردی

-2Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
۱۴/۹۱۷	۰/۷۱۰	۰/۹۴۶

جدول ۴- ضرایب رگرسیونی تأثیر مشخصات فردی کشاورزان بر پذیرش آبیاری تحت‌فشار

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
سن	-۰/۳۵۶	۰/۱۴۱	۶/۳۸۲	۱	۰/۰۱۲	۰/۷۰۰
میزان تحصیلات	۲/۶۶۹	۱/۳۶۲	۳/۸۴۳	۱	۰/۰۵۰	۱۴/۴۲۵
نوع مالکیت محل فعالیت	-۱/۵۰۲	۱/۹۳۱	۰/۶۰۵	۱	۰/۴۳۷	۰/۲۲۳
سطح زیر کشت	۱/۸۱۲	۰/۹۹۱	۳/۳۴۵	۱	۰/۰۶۷	۶/۱۲۱
مقدار درآمد ماهیانه وام‌گیرنده	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۱۱۵	۱	۰/۲۹۱	۱/۰۰۰
Constant	۲/۸۸۰	۴/۸۳۴	۰/۳۵۵	۱	۰/۵۵۱	۱۷/۸۱۸

جدول ۵- ارزیابی مدل توسط آزمون اوم نیبوس-تأثیر عوامل اجتماعی و اقتصادی

	کای اسکویر	دامنه	سطح معنی‌داری
Step	۱۱۷/۴۳۰	۲	۰/۰۰۰
Block	۱۱۷/۴۳۰	۲	۰/۰۰۰
Model	۱۱۷/۴۳۰	۲	۰/۰۰۰

جدول ۶- بررسی برازش مدل-تأثیر عوامل اجتماعی و اقتصادی

-2Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
۲۱/۲۰۰	۰/۶۹۱	۰/۹۲۱

جدول ۷- ضرایب رگرسیونی تأثیر عوامل اقتصادی و اجتماعی بر کشاورزان بر پذیرش آبیاری تحت‌فشار

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
اقتصادی	۰/۳۶۰	۰/۱۲۳	۸/۵۳۲	۱	۰/۰۰۳	۱/۴۳۴
اجتماعی	۰/۱۲۴	۰/۱۲۷	۰/۹۵۳	۱	۰/۳۲۹	۱/۱۳۲
Constant	-۲۰/۹۰۷	۴/۹۸۸	۱۷/۵۷۰	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

نتیجه‌گیری و بحث

فرآیند آبیاری یکی از عامل‌های تأثیرگذار در بهبود بهره‌وری تولیدات کشاورزی در کشورهای درحال‌توسعه، به‌ویژه در ایران است و توسعه، بهبود و مدیریت کارای آن به‌عنوان یکی از زمینه‌های مهم توسعه کشاورزی به شمار می‌آید.

نتایج پژوهش نشان داد برخی از عوامل اقتصادی تأثیرگذار بر پذیرش فناوری نوین آبیاری تحت‌فشار که در حال اجرا در منطقه سیستان می‌باشد، عبارت‌اند از کافی بودن مقدار تسهیلات بانکی، توان سرمایه‌گذاری کشاورز و کاهش علف هرز و هزینه‌های مبارزه با آن. به طور مشابه در پژوهش‌های Shahzadi (۲۰۱۳) و Regassa و همکاران (۲۰۱۴) نیز بیان کردند که منابع مالی و تسهیلات بانکی از عوامل مهم تأثیرگذار در استفاده از فناوری آبیاری تحت‌فشار و رضایتمندی ناشی از به‌کارگیری آن می‌باشد. بررسی عوامل اجتماعی مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار حاکی از آن بود که مؤلفه‌های اجتماعی از قبیل توصیهٔ کارشناسان و متخصصان فنی به اجرای آبیاری تحت‌فشار، ارائه آموزش‌های توجیهی در ارتباط با آبیاری تحت‌فشار و بازدیدهای آموزشی از مناطقی که پیش‌تر آبیاری تحت‌فشار در آنجا اجراشده، مهم‌ترین عوامل اجتماعی مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار می‌باشند، به طور مشابه بلالی و همکاران (۱۳۹۵) نیز بیان کردند که شرکت در دوره‌های آموزشی توجیهی و آشنایی با سودمندی‌ها و محدودیت‌های بهره‌گیری از فناوری آبیاری تحت‌فشار در پذیرش آن مؤثر می‌باشد. نتایج حاصل از جدول ضرایب رگرسیون نشان داد که سن به‌طور منفی و معنی‌داری پذیرش آبیاری تحت‌فشار را مورد تأثیر قرار می‌دهد، بدین معنی که افزایش سن موجب کاهش پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار شده و برعکس آن نیز صادق است که کاهش سن موجب افزایش پذیرش آبیاری تحت‌فشار می‌گردد (مشابه با نتایج پژوهش اصلانی (۱۳۹۲). در خصوص میزان تحصیلات نیز مشاهده شد که تحصیلات تأثیر مثبت و معنی‌داری بر پذیرش فناوری آبیاری تحت‌فشار دارد، در این راستا Kalantari و همکاران (۲۰۱۰) نیز در تحقیقی که به همین منظور برای شهرستان اردل از توابع استان چهارمحال و بختیاری انجام داده بودند، به نتایج مشابهی دست یافتند. همچنین Abdulai و همکاران (۲۰۱۱) بامطالعه‌ای که در جنوب غنا انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که کشاورزان با سطح تحصیلات بالاتر، در مورد وجود و نحوهٔ عملکرد فناوری‌های مختلف آبیاری آگاهی بیشتری دارند. این نتایج توسط Rossi و همکارانش (۲۰۱۶) که تحقیقی را در مورد باغداران پرتقال در برزیل انجام دادند، نیز ارائه شده است. سایر پژوهش‌ها نیز در مورد تأثیر مثبت سطح تحصیلات سرپرست خانوار روی پذیرش فناوری آبیاری بحث کرده‌اند (Singh و همکاران، ۲۰۱۵؛ Shahzadi، ۲۰۱۳؛ Vaezi و Daran، ۲۰۱۲ وBarse و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج رگرسیون لاجیت حاکی از آن بود که از بین دو عامل اجتماعی و اقتصادی؛ عوامل اقتصادی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر پذیرش آبیاری تحت‌فشار در بین کشاورزان منطقه سیستان دارد، از این رو تأثیرگذارترین مؤلفه‌های اقتصادی از قبیل پایین‌بودن نرخ بهرهٔ تسهیلات بانکی، کافی بودن مقدار تسهیلات بانکی، توان سرمایه‌گذاری کشاورز و ... بین کشاورزان، بر میزان پذیرش فناوری نوین آبیاری تأثیرگذار می‌باشد که نتایج پژوهش حاضر با نتایج Gholamrezi و همکاران (۲۰۱۴) و Shahzadi (۲۰۱۳) همخوانی دارد.

ازآنجایی‌که عوامل اقتصادی به‌عنوان مهم‌ترین گزینه در اجرای سیستم‌های نوین آبیاری در بین کشاورزان شناخته شد و با توجه به اینکه این‌گونه تکنولوژی‌ها توسط افرادی که از سطح سواد بیشتر و سن پایین‌تری برخوردار بودند بیشتر موردتوجه قرارگرفته، لذا می‌توان گفت با توجه به نوپا بودن این تکنولوژی در منطقه و اینکه در حال حاضر در منطقه سیستان، سیستم آبیاری تحت‌فشار در حال اجرا می‌باشد، لذا مسئولین و مجریان مربوطه می‌بایست به عوامل اقتصادی (مقدار تسهیلات بانکی، توان سرمایه‌گذاری کشاورز) و اجتماعی مؤثر (به خصوص تحصیلات و سن بهره‌برداران) بر پذیرش کشاورزان توجه ویژه داشته باشند و ازآنجایی‌که سطوح درآمدی افراد در این منطقه پایین بوده و نیازمند حمایت‌های مالی بیشتر هستند، می‌بایست سازو کارهای مناسب جهت رفع این‌گونه محدودیت‌ها با توجه به شرایط کشاورزان مهیا نمایند و با استفاده از آموزش‌های علمی و عملی و به‌صورت نمونه‌ای، کشاورزان را جهت پذیرش این تکنولوژی ترغیب نمایند. از طرفی با توجه به اقلیم گرم و خشک منطقه، می‌بایست گیاهان زراعی و باغی مناسب با این تکنولوژی و سازگار با محیط را که از لحاظ اقتصادی نیز دارای کارایی و عملکرد بالاتری هستند، به کشاورزان معرفی نمایند. از آنجایی که در زمان اجرای طرح آبیاری تحت فشار در منطقه سیستان، تعداد کمی از کشاورزان نسبت به پذیرش و اجرای طرح اقدام نموده بودند، لذا محققین دسترسی به تعداد نمونه بیشتری در این ارتباط نداشتند که خود از مهمترین محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌باشد؛ لذا می‌بایست پس از اجرای کامل طرح، سایر محققین بر روی تبعات اقتصادی و اجتماعی اجرای آن بر کشاورزان و تأثیرات زیست محیطی آن در منطقه و حتی تغییر الگوی کشت، مطالعات مؤثری انجام دهند.

پی‌نوشت

1-Qualitative dependent variable

2-Probability models

3-Omnibus Test

4-chi-square

5-Multinomial logit model

منابع

اخوان، ك. ۱۳۸۵. بررسی وضعیت آبیاری تحت‌فشار. فصلنامه نظام‌مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲: ۲۹ -۴۲.

اصلانی، م. ۱۳۹۲. بررسی عوامل مؤثر بر به‌کارگیری طرح‌های آبیاری تحت‌فشار توسط کشاورزان شهرستان فریدن استان اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه لرستان.

اعظمی، ا.، زرافشانی، ك.، دهقانی‌سانیچ، ح.، و گرجی، ع. ۱۳۹۰. واکاوی نیازهای آموزشی بهره‌برداران سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار در استان کرمانشاه (مطالعه موردی: شهرستان سنقز). نشریه آب و خاك (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۵): ۱۱۱۹ -۱۱۲۷.

بلالی، ح.، سعدی، ح.ا. و وحدت ادب، ر. ۱۳۹۵. عامل‌های اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر پذیرش تکنولوژی آبیاری تحت‌فشار در گندم‌زارهای شهرستان همدان. پژوهش مدیریت آموزش کشاورزی، ۸(۳۷): ۸۵-۹۶.

پیری، ج.، انصاری، ح. و شیرزادی لسکوکلایه، س. ۱۳۹۳. ارزیابی اقتصادی و مقایسه سیستم‌های ثقلی و تحت‌فشار شبکه توزیع آب در منطقه سیستان. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۸(۴): ۷۱۳-۷۲۴.

جلالیان، ح. ۱۳۹۱. تحلیل اثرات نظام‌های آبیاری نوین بر وضعیت بهره‌برداران کشاورزی در شهرستان خدابنده، فصلنامه اقتصاد فضا و توسعه روستایی، ۱(۲): ۴۱-۶۴.

حیدریه، س. ع.ا.، سیدحسینی، س. م. و شهابی، ع. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی مدل پذیرش فناوری در بانکداری ایران با تاکید بر پویایی سیستم. فصلنامه مدیریت توسعه فناوری، ۱: ۶۷-۹۸.

دانش، ف.، زاهدی، ر.، رشیدی، و. و صادقیان، ن. ۱۳۹۱. تحلیلی بر مفاهیم پذیرش و اشاعه نوآوری جهت ارائه مدل مفهومی برای پذیرش و اشاعه اطلاعات. پژوهشنامه پردازش و مدیریت اطلاعات، ۲۸(۳): ۵۶۹-۵۸۲.

شعبانعلی فمی، ح. ۱۳۸۵. اصول ترویج و آموزش کشاورزی (رشته اقتصاد کشاورزی). انتشارات دانشگاه پیام نور. تهران.

طیب‌نیا، س. ه. و درینی، س. ۱۳۹۹. تحلیلی بر اثرات سامانه‌های آبیاری نوین بر نواحی روستایی (مطالعه موردی: دهستان محمدآباد، شهرستان عنبرآباد). نشریه آب و خاک، ۳۴(۴): ۷۶۵-۷۸۰

عبدالملکی، م. و چیذری، م. ۱۳۸۷. تأثیر ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی بر نگرش و اطلاع‌یابی کشاورزان جهت پذیرش و به کارگیری سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار در استان لرستان. مجله دانش نوین کشاورزی، ۱۵: ۸۷ -۷۷.

عرفانی‌فر، ص.، زیبایی، م. و کسرایی، م. ۱۳۹۳. بررسی عوامل اقتصادی-اجتماعی مؤثر بر پذیرش تکنولوژی‌های نوین خاک‌ورزی حفاظتی در منطقه داراب (کاربرد مدل الجیت چندگزینه‌ای). اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۸: ۱۹۷-۲۰۳.

فانی، غ. ر.، حسین‌زاده تبریزی، س.ع. ر. و فریان، م. ۱۳۸۸. چالش‌های مدیریت بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی. تهران.

قربانعلی‌زاده خ. ۱۳۹۹. روش‌ها و آزمون‌های آماری (در علوم انسانی)، آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری، تحلیل آماری در SPSS، جلد اول، انتشارات ارسطو (با همکاری سامانه اطلاع‌رسانی چاپ و نشر ایران)، ۳۱۱ ص.

کورکی‌نژاد، ژ. ۱۴۰۰. کارایی فنی آب و تعیین عوامل مؤثر بر پذیرش تکنولوژی نوین آبیاری با تأکید بر نقش سرمایه اجتماعی (تولیدکنندگان پسته شهرستان سیرجان)، تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۵۲(۳): ۵۰۷-۵۲۳.

یزدان‌پناه، م.، زبیدی، ط.، صلاحی مقدم، ن. و روزانه، د. ۱۳۹۸. عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری آبیاری نوین توسط کشاورزان (مورد مطالعه شهرستان بهبهان). علوم ترویج و آموزش کشاورزی، ۱۵(۱): ۱۲۷-۱۴۱.

Abdulai A., Owusu V. and Bakang J. -E. A. 2011. Adoption of Safer Irrigation Technologies and Cropping Patterns: Evidence from Southern Ghana. Ecological Economics, 70(7): 1415-1423.

Adeoti AI. 2008. Factors influencing irrigation technology adoption and its impact on household poverty in Ghana. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS), 109(1): 51-63.

Baltagi B.H. 2008. Econometrics, Fourth edition. Springer Press. ISBN 978-3-540-76515-8.

Barse K., Gohad, V. and Lunge M. 2010. Adoption of Drip Irrigation System by Orange Growers in Amravati Taluka. Agriculture Update, 5(3/4): 346-348.

Calatrava-Leyva J., Franco JA, and Gonzalez-Roa MdC. 2005. Adoption of soil conservation practices in olive groves: The case of Spanish mountainous areas. 2005 International Congress, August 23-27, 2005, Copenhagen, Denmark 24661, European Association of Agricultural Economists.

Chuchird R., Sasaki N. and Abe I. 2017. Influencing factors of the adoption of agricultural irrigation technologies and the economic returns: A case

tralia. Journal of Cleaner Production, 103: 491-498.

Ndiiri J. A., Mati B. M., Home P. G., Odongo B. and Uphoff N. 2013. Adoption, constraints and economic returns of paddy rice under the system of rice intensification in Mwea, Kenya. Agricultural Water Management, 129: 44 -55.

Putler D.S., and Zilberman D. 1984. Computer use in agriculture, Evidence from Tulare County, California. American Journal of Agricultural Engineering, 70(4): 790-802.

Regassa N., Hope L and OwusuSarpongc E. 2014. Adoption patterns and constraints pertaining to small-scale waterlifting technologies in Ghana. Agricultural Water Management, 131(C): 194- 203.

Rossi F. R., Souza filho H. M. D. and Carrer M. J. 2016. Irrigation adoption by orange producers of the state of São Paulo-Brazil: determinants and barriers. 2016 Annual Meeting, February 6-9, 2016, San Antonio, Texas, 2016. Southern Agricultural Economics Association.

Scott long J. and Freese J. 2001. Regression models for categorical dependent variables using stata. A stata press publication.

Shahzadi E. 2013. Investigating Factors Influencing Adoption of Pressurized Irrigation Systems by Farmers Case Study: Garmsar County, Iran. American Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences (JAES), 13(1): 115-120.

Singh P.K., Patel S.K., Trivedi M.M. and Patel G.R. 2015. Assessing the relative impacts of the factors affecting MIS adoption processAssessing the Relative Impacts of the Factors Affecting MIS Adoption Process. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 22(3): 213-218.

Tornatzky L. G. and Fleischer M. 1990. The process of technological innovation. Lexington, MA: D.C. Heath & Company.Lexington, MA: Lexington Books.

Vaezi L. and Daran H.H. 2012. Evaluation of the Effective Parameters on Pressurized Irrigation System by Iranian Farmers. Middle-East Journal of Scientific Research, 11: 39-45.

study in Chaiyaphum Province, Thailand. Sustainability, 9(9): 1524.

Feeder G. 1980. Farm size, risk aversion and the adoption of new technology under uncertainty. Oxford Economics Papers. 32(2): 263-283.

Fifth Edition. McGraw. Hill press.

Gholamrezi S., Ebrahimi M. S. and Aslani M. 2014. Factors Affecting the Adoption of New Irrigation Systems by Iranian Farmers. Indian Journal of Scientific Research (IJSR). 5(1): 9-15.

Gujarati D.N. and Porter D.C. 2009. Basic Econometrics, 5th Edition, McGraw-Hill/Irwin, Boston, 400.

Jin J., Wang, W. and Wang, X. 2016. Adapting agriculture to the drought hazard in rural China: household strategies and determinants. Natural Hazards, 82(3): 1609-1619.

Kalantari Kh., Rahimian M., Mohammadi Y., Asadi A. and Ansari Ardali A. A. 2010. Investigation of Effective Factors on Admission and Refusing of Sprinkler Irrigation System of Ardal Township, Iran. Journal of Food, Agriculture & Environment, 8(2): 1218-1224.

Knowler D. And Bradshaw B. 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture:A review and synthesis of recent research. Food Policy, 32(1): 25–48.

Long T.B., Blok V. and Coninx I. 2016. Barriers to the adoption and diffusion of technological innovations for climate-smart agriculture in Europe: Evidence from the Netherlands, France, Switzerland and Italy. Journal of Cleaner Production, 112(1): 9-21.

Mendola M. 2005. Agricultural technology and poverty reduction: A micro-level analysis of causal effects (Working Paper No. 2005-14). Milan, Italy: Universita degli Studi di Milano Bicocca.

Mushtaq S, T.N. Maraseni K. Reardon S. Bundschuh J. and Jackson. T. 2016. Integrated assessment of watereenergyeGHG emissions tradeoffs in an irrigated lucerne production system in eastern Australia. Journal of Cleaner Production, in press.

Mushtaq S., Maraseni T. N., Reardon-Smith K., Bundschuh J. and Jackson T. 2015. Integrated assessment of water-energy-GHG emissions tradeoffs in an irrigated lucerne production system in eastern Aus-

2022, Vol.8, No.4, Pages 33 to 42
Journal of Water and Sustainable Development

آب و توسعه پایدار

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ٣٣ تا ٤٢
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Identification and Prioritization of Factors Affecting Water Scarcity in Kermanshah Province with Analytic Hierarchy Process (AHP)

J. Fathollahi[1*], S.M.B. Najafi[1], SH. Farhangian[2]

1,2-Assistance Professor of Economics and MSc Graduate of Economics, Faculty of Social Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran.

*(Corresponding Author Email: j.fathollahi@razi.ac.ir)

Received: 11-08-2021 Revised: 26-09-2021
Accepted: 30-10-2021 Available Online: 19-03-2022

Abstract

Identifying the effective and determining factors of water scarcity in each region is a necessary condition for proper management of water supply and demand and laying the groundwork for adaptation to water scarcity. Although Kermanshah province is not in a crisis situation according to the usual indicators for determining the water crisis, the continuation of the current situation will lead to a crisis and requires a review of the province's water resources management approaches. This research seeks to identify and prioritize the determinants of water scarcity in Kermanshah province in the theoretical framework of institutionalism and with the hierarchical analysis process. For this purpose, with the Delphi method and hierarchical analysis tool, and EXPERT CHOICE software, these factors were identified and prioritized. The results show that contrary to conventional approaches to water resources management, which emphasizes water supply management, the role of demand-side factors in the problem of water shortage in Kermanshah province is much more decisive so that 72.5% of the water shortage problem is explained by these factors. Demand-side factors, respectively, priority and share in water scarcity are: low water productivity in the agricultural sector (0.42), uncontrolled extraction of underground resources (0.21), agricultural production structure (0.13), virtual water exports (0.10), water loss in the route (0.06), water consumption culture (0.05), lack of meter (0.03). On the supply-side, the amount of precipitation (0.38), water budget (0.18), evaporation (0.18), time mismatch between precipitation and consumption (0.13), type of precipitation (0.05), precipitation fluctuation (0.05), and insufficient utilization of gray water (0.03) have the most important role in creating stress, respectively.

Keywords: Water Crisis, Kermanshah Province, Water Productivity, Institutional Economics, Analytic hierarchy process (AHP).

شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر کم‌آبی در استان کرمانشاه با کمک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

جمال فتح‌اللهی[۱*]، سید محمدباقر نجفی[۱]، شیما فرهنگیان[۲]

۱و۲- به‌ترتیب استادیار گروه اقتصاد و دانشجوی کارشناسی‌ارشد اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و تربیتی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: j.fathollahi@razi.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۰٤
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

چکیده

شناسایی عوامل موثر و تعیین‌کننده کم‌آبی در هر منطقه شرط لازم برای مدیریت صحیح عرضه و تقاضای آب و بسترسازی برای سازگاری با کم‌آبی است. هرچند استان کرمانشاه بر اساس شاخص‌های متداول تعیین بحران آب در وضعیت بحران قرار ندارد اما تداوم وضع موجود به بحران خواهد رسید و نیازمند بازنگری در رویکردهای مدیریت منابع آب استان است. این پژوهش در چارچوب نظری نهادگرایی و با کمک فرایند تحلیل سلسله مراتبی به‌دنبال شناسایی و اولویت‌بندی عوامل تعیین‌کننده کم‌آبی در استان کرمانشاه است. به‌این منظور با کمک روش دلفی و ابزار تحلیل سلسله مراتبی و نرم‌افزار EXPERT CHOICE این عوامل شناسایی و اولویت‌بندی شد. نتایج حاکی‌از آن است که برخلاف رویکردهای متعارف مدیریت منابع آب که بیشتر بر مدیریت عرضه آب تأکید می‌شود، نقش عوامل طرف تقاضا در مساله کم‌آبی استان کرمانشاه بسیار تعیین‌کننده‌تر است به‌طوری‌که ۷۲/۵ درصد از مساله کم‌آبی توسط این عوامل توضیح داده می‌شود. عوامل طرف تقاضا به ترتیب اولویت و سهم در کم‌آبی عبارتند از: بهره‌وری پایین آب در بخش کشاورزی (۰/۴۲)، برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی (۰/۲۱)، ساختار تولید بخش کشاورزی (۰/۱۳)، صادرات آب مجازی (۰/۱۰)، اتلاف آب در مسیر (۰/۰۶)، فرهنگ مصرف آب (۰/۰۵)، نداشتن کنتور (۰/۰۳). در طرف عرضه نیز میزان بارش (۰/۳۸)، بیلان آب (۰/۱۸)، تبخیر (۰/۱۸)، عدم تطابق زمانی بارش و مصرف (۰/۱۳)، نوع بارش (۰/۰۵)، نوسان بارش (۰/۰۵) و عدم بهره‌برداری کافی از آب خاکستری (۰/۰۳) به‌ترتیب بیشترین نقش را در ایجاد تنش دارند.

واژه‌های کلیدی: بحران آب، استان کرمانشاه، بهره‌وری آب، اقتصاد نهادی، تحلیل سلسله‌مراتبی.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Fathollahi J., Najafi S.M.B. and Farhangian SH. 2021. Identification and Prioritization of Factors Affecting Water Scarcity in Kermanshah Province with Analytic Hierarchy Process (AHP). Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 33-42. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2108.1073

مقدمه

آب یکی از مهمترین منابع کمیاب طبیعی است که حیات و بقای انسان به آن وابسته است. بیشتر آب‌های جهان در دریاها و اقیانوس‌ها است. تنها ۲/۵ درصد از آب‌های جهان، شیرین است (Guppy و Anderson، ۲۰۱۷) و ۰/۲۶ درصد از آن قابل دسترس برای استفاده بشر است (Saleth، ۲۰۰۴) که آن هم به‌طور یکسان بین مردم دنیا توزیع نشده است. بنابراین مدیریت تولید و مصرف آن، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، موضوع مهم و حیاتی است و مدیریت ضعیف منابع آب به‌عنوان یک محدودیت جدی برای توسعه (به‌خصوص برای کشورهای درحال‌توسعه) عمل می‌کند.

مدیریت منابع آب، در ایران اهمیت به‌سزایی دارد چرا که کشور ایران در کمربند خشک جهان واقع شده است و ۶۱ درصد از مساحت کشور در اقلیم خشک و فراخشک قرار دارد. این رقم در سطح دنیا ۱۹/۶ درصد است (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۳۹۷). به‌عبارت‌دیگر سهم مساحت مناطق خشک و فراخشک ایران ۳/۱ برابر میانگین درصد جهانی آن است. بنابراین مقابله با کمبود آب و تأمین آب مورد نیاز، همواره یکی از مهمترین دغدغه‌های ایرانیان بوده است. استان کرمانشاه نیز هر چند نسبت به اکثر مناطق کشور ۱/۸ برابر پرباران‌تر است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۷) اما میانگین بارندگی آن از میانگین جهانی کمتر است.

ایران با سرانه ۱۶۰۰ مترمکعب آب شیرین تجدیدپذیر از نظر شاخص فالکن مارک[1] در آستانه ورود به شرایط تنش آبی است (FAO[2]، ۲۰۱۹). هر چند وضعیّت کرمانشاه (با سرانه ۴۶۰۰ مترمکعب) نسبت به کل کشور در حال حاضر تااندازه‌ای مطلوب است اما نسبت به میانگین جهانی-بیش از ۵۷۰۰ مترمکعب (Worl Bank، ۲۰۲۱) وضعیّت مناسبی ندارد و تداوم مصرف بی‌رویه فعلی منجر به ایجاد بحران در آینده نزدیک خواهد شد. بر اساس شاخص سازمان ملل[3]، کل ایران با برداشت ۷۲ درصد از منابع تجدیدپذیر در وضعیّت کمبود شدید قرار دارد. در استان کرمانشاه هر چند به دلیل برداشت‌های غیرمجاز، آمار و اطلاعات دقیقی از میزان برداشت آب شیرین (به عنوان درصدی از منابع آب تجدیدپذیر داخلی استان) در دسترس نیست، اما منفی بودن بیلان آب در استان کرمانشاه (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۶) حاکی‌از آن است که درصد برداشت آب شیرین به‌عنوان درصدی از منابع تجدیدپذیر داخلی آب استان بسیار زیاد است.

وزارت نیرو، از شاخص نسبت آب قابل برنامه‌ریزی (آب برداشتی) به میزان منابع آب تجدیدپذیر به‌عنوان شاخص تعیین‌کننده میزان تنش آبی برای تخصیص آب به حوضه‌های آبریز استفاده می‌کند. محدوده مناسب این شاخص بسته به پارامترهای مختلف حوضه مانند وضعیت اقلیمی، سرانه آب تجدیدپذیر، وضعیت زیست‌محیطی، درآمد، تنش‌های اجتماعی و ... متفاوت است. ایران جز دسته کشورهای با درآمد متوسط محسوب م شود که در این دسته، درصد برداشت آب نسبت به منابع آب تجدیدپذیر ۱۱/۳ درصد است، درحالی‌که این رقم در ایران در شرایط موجود ۸۶ درصد و بر اساس آب قابل برنامه‌ریزی ابلاغی (با فرض اعمال مدیریت مصارف) حدود ۶۹ درصد است. بر این اساس می‌توان ایران را جز کشورهای با تنش آبی بالا منظور کرد (حیدری، ۱۳۹۹). بنابراین، مساله آب یکی از مهمترین مسائل حال و آینده ایران و استان کرمانشاه است و نیازمند چاره‌جویی برای مدیریت مناسب آن است. مدیریت مناسب نیازمند شناخت ابعاد مساله است. مسئله آب، ابعاد و اثرات متفاوتی دارد و به‌علت اهمیّت بالای آن پژوهش‌های بسیاری درباره آن انجام شده است که برخی از مهمترین آنها به شرح زیر است.

ولایتی (۱۳۸۵) به بررسی بحران آب در استان خراسان پرداخته است و به این نتیجه رسید که علت بحران آب در این استان اضافه برداشت‌های مستمری است که به وسیله چاه‌های عمیق صورت می‌گیرد و نه خشکسالی‌ها به تنهایی؛ اگرچه خشکسالی‌ها نیز در این بحران نقش دارند. بحران آب در ایران و جهان عنوان پژوهش دیگری است که توسط ببران و هنربخش (۱۳۸۷) انجام شده است. در این مقاله علاوه‌بر معرفی شاخص‌های تعیین بحران آب به بیان مهمترین چالش‌های امروز آب جهان و ایران در خصوص دسترسی به منابع آب پایدار می‌پردازد و در نهایت راهکارهایی برای مقابله و پیشگیری از وقوع شرایط نامطلوب اجتماعی، سیاسی و اقتصادی ناشی از مدیریت ضعیف و استفاده غیربهینه از این منبع حیاتی، ارائه می‌کند.

محمدجانی و یزدانیان (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای با بررسی شاخص‌های بین‌المللی آب و چشم‌انداز بحران آب در جهان در افق سال ۲۰۵۰ ابعاد بحران آب در کشور از منظر عرضه و تقاضا را بررسی کردند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد ایران در وضعیت «بحران شدید آب» قرار دارد. چالش‌های مرتبط با طرف عرضه عبارتند از: افت بارندگی در مقایسه با روند بلندمدت، افت حجم جریان‌های سطحی آب در کشور نسبت به روند بلندمدت، بهره‌برداری بی‌رویه و افت منابع آب‌های زیرزمینی، نبود مدیریت کارآمد چاه‌های کشور، وضعیت دشت‌های کشور به‌عنوان شاخص بحران آب، توزیع نامتقارن منطقه‌ای منابع آب و بارندگی در کشور، مهار آب‌های سطحی از طریق ایجاد سد، پدیده‌های طبیعی خشکسالی، انتشار پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری. بر اساس یافته‌های این پژوهش چالش‌های مرتبط با تقاضای آب عبارتند از: بهره‌وری پایین آب در بخش کشاورزی، ساختار نظام مالکیت در بخش کشاورزی و تأثیر آن بر بهره‌وری آب، سطح سواد پایین بهره‌برداران و تأثیر آن بر بهره‌وری آب، قیمت یارانه‌ای آب در بخش کشاورزی، رشد جمعیت

و افزایش تقاضا برای منابع آب کشور، نبود شناخت کافی اهمیت استفاده از تجارت آب مجازی در مدیریت منابع آب کشور، الگوی نادرست مصرف و هدر رفت آب در مرحله انتقال از مبادی عرضه تا مصرف‌کننده نهایی، تفکیك نشدن آب شرب و بهداشتی، استقرار صنایع پر مصرف آب در مناطق مرکزی و کویری و همسویی پیك مصرف آب و برق در تابستان. مهکویی (۱۳۹۶) با روش توصیفی به بررسي وضعیت منابع آب به‌ویژه آب شیرین و کمبود آن در کشورهای اسلامي منتخب پرداخت و به این نتیجه رسید در برخي کشورهای اسلامي به‌ویژه ایران، منابع آب شیرین و قابل‌استفاده برای مردم در وضعیت مناسبی قرار ندارد.

قربانی‌سپهر و همکاران (۱۳۹۸) علاوه‌بر تصویرسازی از مفهوم بحران آب و آلودگی آن، به تشریح و تبیین بحران آب در ایران و راه‌های مقابله به آن پرداخته‌اند. نتایج حاکی‌از آن است که مهار بحران آب در ایران مستلزم مدیریت یکپارچه در زمینه حفظ و توزیع منابع آبی در کشور است. همچنین تشکیل هسته‌های پژوهشی متشکل از نخبگان و اساتید و فرهنگ‌سازی در بین ساکنین شهرهای ایران به‌ویژه شهرهای خشک می‌تواند به حل بحران آب در ایران کمک کند. اسکوهی و کاظمی (۱۴۰۰) به تحلیل و بررسی نظریه‌های حکمرانی و مدیریت منابع آب ایران پرداخته و نتیجه گرفتند که ضرورت دارد مردم هر کشوری باتوجه‌به شرایط خودشان به تدوین شیوه حکمرانی و مدیریت منابع آب بپردازند.

بررسی مطالعات انجام شده حاکی‌از آن است که عوامل موثر بر کم‌آبی یا ابعاد مساله آب در استان کرمانشاه بررسی نشده است. از طرفی، هر چند پژوهش‌های انجام شده به طور پراکنده برخی از ابعاد مسأله آب را به‌طورکلی بررسی کرده‌اند اما هیچ‌یک بر شناسایی و اولویت‌بندی مجموعه این ابعاد در ارتباط با استان کرمانشاه متمرکز نشده‌اند. ازاین‌رو، هدف اصلی این مقاله شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر کم‌آبی و ابعاد و جنبه‌های گوناگون مسئله آب در استان کرمانشاه به‌منظور بسترسازی برای سیاست‌گذاری بهینه در راستای حل مسئله آب و سازگاری با کم آبی در این منطقه است. نوآوری این تحقیق، توجه به نقش نهادها در مواجهه با تنش آبی و یافتن راه‌های سازگاری با کم آبی است. نهادها از مجرای بهره‌وری و فرهنگ مصرفی، که هر دو به شدت تابع نهادها هستند، بر راهبردهای سازگاری با کم آبی تأثیرگذارند.

مواد و روش

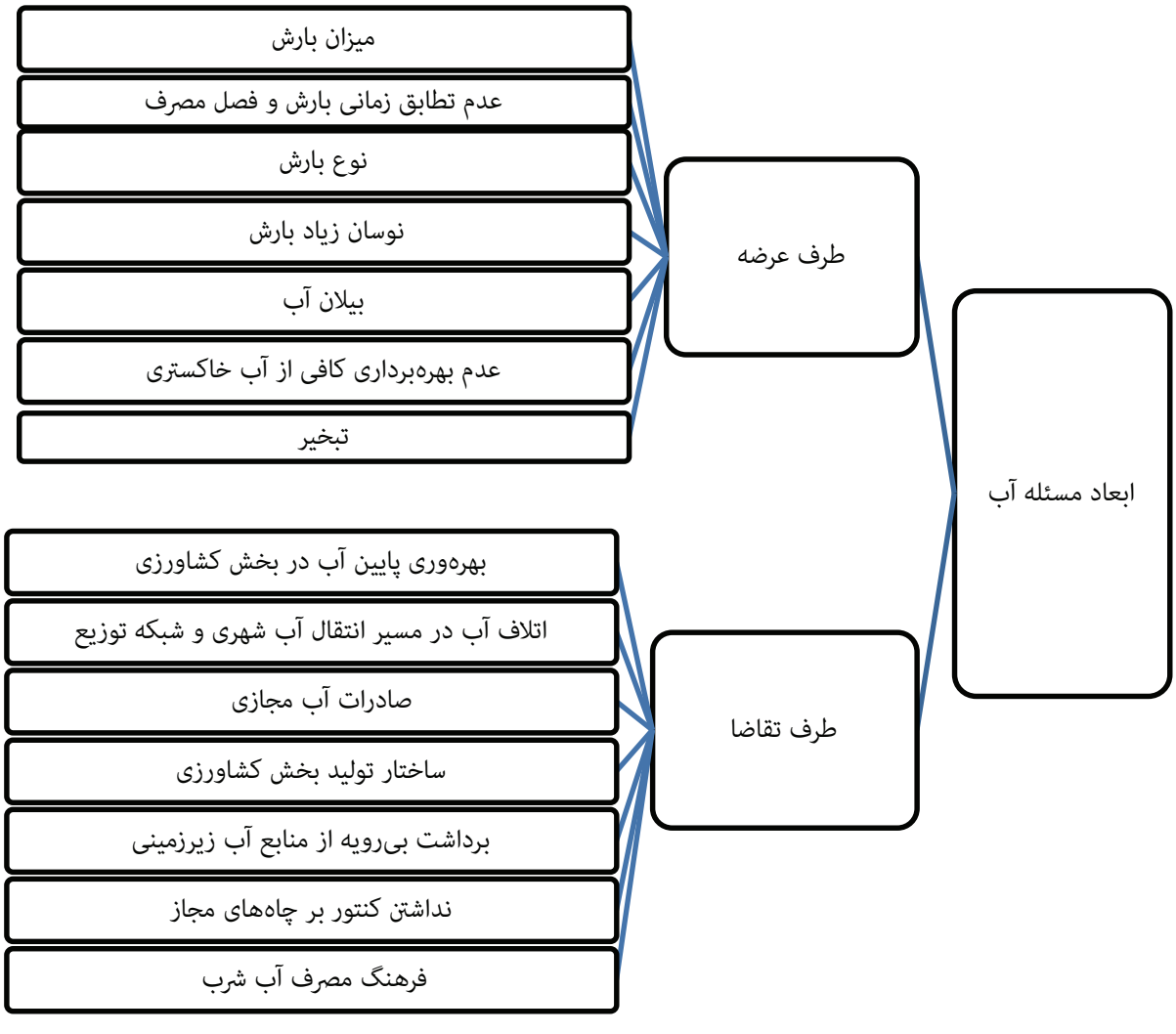
روش تجزیه‌وتحلیل در این پژوهش توصیفی-تحلیلی است. بخشی از داده‌های مورد نیاز به‌صورت کتابخانه‌ای و بخشی از طریق مصاحبه با کارشناسان جمع‌آوری می‌شود. چارچوب نظری مورد استفاده، اقتصاد نهادی است. اقتصاد نهادی به‌عنوان خانواده‌ای از نظریه‌ها است که وجه اشتراک آن‌ها «مهم دانستن توجه به نهادها» در مطالعه اقتصاد است (چاونس، ۱۳۹۰). به‌طورکلی می‌توان گفت؛ پایه و اساس سیاستگذاری‌ها در علم اقتصاد بر دو پارادایم متفاوت بنا گذاشته می‌شود: پارادایم نئوکلاسیک که قیمت را مهمترین عامل تخصیص بهینه منابع معرفی می‌کند و اعتقاد بر آن است که شرط لازم و کافی برای عملکرد صحیح اقتصادی، قیمت‌های صحیح است. در این چهارچوب، اصلاح قیمت آب، راه‌حل مشکل کمیابی تلقی می‌شود. بر اساس دومین پارادایم، نهادها، تعیین‌کننده عملکرد اقتصادی هستند و قیمت هم یکی از این نهادها است. از نظر نورث، نهادها عبارتند از قیود و محدودیت‌هایی که توسط بشر شکل گرفته‌اند و با تعیین ساختار انگیزشی و تعاملات انسانی عملکرد اقتصادی جوامع را رقم می‌زنند (North، ۱۹۹۰و ۱۹۹۳). این محدودیت‌ها دربرگیرنده نهادهای رسمی، نهادهای غیررسمی و نحوه اجرای آن‌ها است. بر اساس آموزه‌های این مکتب اقتصادی، مساله کم‌آبی، از طریق اصلاح نهادهای مرتبط که قیمت هم می‌تواند یکی از آنها باشد، قابل مدیریت است.

در چهارچوب نظری اقتصاد نهادی، با جمع‌آوری و ارائه اطلاعات، تلاش می‌شود عوامل نهادی، سازمانی، فناوری و تکنولوژیکی مؤثر بر مسئله آب در استان کرمانشاه استخراج شود. به‌این‌منظور ابتدا بر اساس چهارچوب تحلیل اقتصادی که موجودیت پدیده‌های اقتصادی را در دو سمت عرضه و تقاضا بررسی می‌کند، ابعاد مساله آب به عوامل طرف عرضه و عوامل طرف تقاضای آب تقسیم شد. با مطالعه اسناد مطالعات جامع منابع آب استان و برخی پژوهش‌های مرتبط و نیز بحث و گفتگو با کارشناسان واحد مطالعات شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، عوامل سمت عرضه و تقاضای آب به شرح شکل (۱) تعیین شد. این ابعاد از طریق پیمایش دلفی ۳ نفر از صاحب‌نظران رشته اقتصاد و مهندسی منابع آب، پالایش شد. برای اولویت‌بندی این ابعاد، از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[۴] استفاده شد.

تصمیم‌گیری توسط تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در چهار گام اصلی شامل؛ تعریف هدف، ترسیم سلسله مراتب تصمیم، تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی و محاسبه وزن معیارها و تعیین اولویت‌بندی کلی تعریف شده است (Saaty، ۲۰۰۸). در این پژوهش، هدف، اولویت‌بندی عوامل موثر بر کم‌آبی در استان کرمانشاه است. در سطح اول سلسله مراتب، عوامل طرف عرضه و عوامل طرف تقاضا قرار می‌گیرد. عوامل موثر بر طرف عرضه و عوامل تعیین‌کننده طرف تقاضا طبق نمودار (۱) در سطح دوم سلسله‌مراتب قرار می‌گیرد. مقایسه‌های زوجی بر اساس مقیاس استاندارد ۹ درجه‌ای ساعتی[۵] صورت می‌گیرد (Nguyen، ۲۰۱۴).

برای استخراج وزن هر معیار از پرسشنامه مقایسات زوجی استفاده شد. این پرسشنامه‌ها توسط گروه متمرکز صاحب‌نظران موضوع آب در استان تکمیل شد. بر اساس ارزیابی انجام شده از کارشناسان دستگاه‌های اجرایی مرتبط با موضوع (جهاد کشاورزی، شرکت سهامی آب منطقه ای کرمانشاه و شرکت آب و فاضلاب استان کرمانشاه) و بررسی‌های میدانی محققین، اعضای گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی، به‌عنوان کارشناسان خبره مرتبط با موضوع انتخاب شدند. پرسشنامه‌های مقایسه زوجی از طریق مصاحبه حضوری تکمیل و نتایج با کمک نرم‌افزار EXPERT CHOICE استخراج شد.

تعداد مصاحبه شوندگان از طریق نرخ ناسازگاری تعیین شد. به‌این صورت که تعداد مصاحبه‌ها تا تثبیت نرخ ناسازگاری ادامه یافت. این نرخ از پرسشنامه چهارم به پنجم تغییرات اندکی را نشان می داد. بنابراین تعداد مصاحبه شوندگان ۵ نفر تعیین شد.



شکل ۱- سلسله مراتب ابعاد مسئله آب در استان کرمانشاه

نتایج و بحث

طبق نظرات کارشناسان، تنش آب در استان کرمانشاه وجود دارد و عوامل طرف تقاضای آب، بیشترین نقش را در ایجاد تنش آبی دارند. براساس مجموع نظر متخصصان و کارشناسان، ۷۲/۵ درصد از تنش آب در استان کرمانشاه به طرف تقاضای آب و ۲۷/۵ درصد به طرف عرضه آب مربوط می‌شود. بنابراین راه‌حل کم‌آبی را باید بیشتر در عوامل طرف تقاضا جستجو کرد. در دنیا نیز، مدیریت منابع آب به سمت عوامل طرف تقاضا جهت گیری شده است (Wu و همکاران، ۲۰۲۱؛ Huang و همکاران؛ ۲۰۲۱). چرا که عرضه

آب، تقریبا مقدار ثابتی است و با ذخیره دانش فعلی بشر، افزایش عرضه، چندان مقرون‌به‌صرفه نیست و تنها باعث تحمیل هزینه‌های زیست‌محیطی بر جامعه می‌شود. درخشان و عمرانیان خراسانی (۱۳۹۸) بیان کردندافزایش عرضه آب از طریق اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی خسارات جبران‌ناپذیری همچون فرونشست، شور شدن آب‌خانه بر اثر شوری برداشت خودالقایی، کاهش منابع آب سطحی و نابودی چمشه و قنوات را تحمیل می‌کند.

در طرف تقاضا، بهره‌وری پایین آب در بخش کشاورزی، بیشترین تاثیر را در تنش آبی استان دارد به‌طوریکه این متغیر به تنهایی ۳۱ درصد (۴۲/۴×۷۲/۵) از تنش آبی را توضیح می‌دهد. بر اساس داده‌های بانک جهانی، تولید ناخالص داخلی به ازای هر متر مکعب آب مصرفی، در حدود ۶ دلار به قیمت ثابت سال ۲۰۱۰ می‌باشد که بسیار کمتر از میانگین جهانی آن (۲۰ دلار در هر متر مکعب) است (World Bank، ۲۰۲۱). بخش کشاورزی استان کرمانشاه نیز سالانه بیش از ۱۴۱۷ میلیون مترمکعب (۸۱ درصد کل مصرف آب استان) آب مصرف می‌کند (شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، ۱۳۹۸). در سال ۱۳۹۷ ارزش‌افزوده این بخش ۱۲۳۱۵ میلیارد ریال (به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰) بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰). بنابراین بهره‌وری آب کشاورزی در این استان ۸۶۹۰ ریال (به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰) به ازای هر متر مکعب آب مصرفی در این بخش است[۶]. به‌عبارت‌دیگر هر یک لیتر آب مصرفی در بخش کشاورزی، تنها ۹ ریال ارزش افزوده ایجاد می‌کند. مقایسه این رقم با قیمت یک لیتر آب آشامیدنی، حاکی‌از شدت ناکارآیی مصرف آب در این بخش است. توکلی و جمینی (۱۳۹۴) از مطالعات خود نتیجه می‌گیرند که تلاش برای افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگترین بخش مصرف‌کننده آب می‌تواند تا حد زیادی مشکل تنش آب را برطرف نماید. پژوهش طاهرآبادی و همکاران (۱۳۹۵) نیز نظام آبیاری سنتی و کمبود سرمایه‌گذاری برای آبیاری نوین، عدم همکاری پیوسته بین کشاورزان و سازمان‌های دولتی در همه زمینه‌ها و نبود آگاهی کافی در کشاورزان را به‌عنوان مهمترین دلایل بهره‌وری پایین آب در بخش کشاورزی معرفی می‌کند. ماهیت مساله بهره‌وری پایین آب به نوعی است که دارای روابط علّی با نهادهای مختلف می‌باشد. در نتیجه شناخت عمیق آن نیازمند کاربست روش تحلیل نهادی و شناخت نهادهای موثر بر سطح آن می‌باشد. چهارچوب نظری اقتصاد نهادی برای ادراک و تبیین مساله بهره‌وری، از تحلیل توصیفی-علّی روابط نهادی بهره می‌گیرد و به دنبال تبیین سازوکارها و علل نهادی تأثیرگذار بر مساله است. Yu (۲۰۰۵) هم آثار متقابل نهادها و بهره‌وری آب در بخش کشاورزی را تایید می‌کند و Manish (۲۰۰۹) توجه به فرهنگ و تاریخ را در مدیریت منابع آب تاکید می‌نماید.

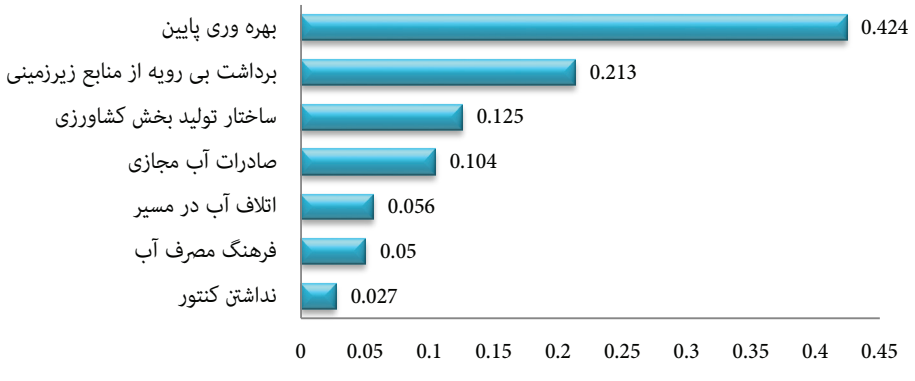
برداشت بی‌رویه از منابع آب زیزمینی با فاصله ۵۰ درصدی به لحاظ تاثیر در تنش آبی (با رقم ۰/۲۱) با عامل قبلی (بهره‌وری آب) در رتبه بعدی قرار دارد. بر اساس آمار شرکت آب منطقه‌ای در استان کرمانشاه در مجموع ۱۸۲۱۹ حلقه چاه وجود دارد که سالانه حدود ۱/۳ میلیارد مترمکعب آب برداشت می‌شود. از این میزان، تعداد ۱۱۵۱۹ حلقه چاه مجاز است که حجم برداشت سالانه از این چاه‌ها ۹۲۴ میلیون مترمکعب است. حجم برداشت از چاه‌های غیرمجاز ۳۶۲ میلیون مترمکعب از ۶۷۰۰ چاه غیرمجاز است (شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، ۱۳۹۸). به‌عبارت‌دیگر ۳۷ درصد از چاه‌های استان غیرمجاز است. بنابراین حدود ۳۰ درصد برداشت از منابع زیرزمینی، قابل مدیریت نیست. چاه‌های غیرمجاز و برداشت بی‌رویه، امکان مدیریت این منابع را از بین می‌برد. از طرفی مسدود کردن چاه‌های غیرمجاز و ایجاد محدودیت در برداشت آب‌های زیرزمینی هم ممکن است معیشت روستاییان را با مشکل مواجه سازد. بنابراین کاهش چاه‌های غیرمجاز و جلوگیری از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی نیازمند برنامه‌ریزی برای اصلاح الگوی کسب‌وکار و معیشت و اشتغال روستاییان است. ارائه هرگونه راه‌حل برای این بخش از مساله نیز مستلزم توجه به نهادهای موجود در روستا است.

ساختار تولید بخش کشاورزی و صادرات آب مجازی با فاصله کمی از یکدیگر در اولویت‌های سوم و چهارم به لحاظ اثرگذاری در تنش آبی قرار دارند. منظور از ساختار تولید، مهمترین زیربخش‌ها به لحاظ سهم ارزش افزوده، مهمترین محصولات تولیدی و شیوه تولید این محصولات است. در بخش کشاورزی استان، نخست؛ زیربخش زراعت و باغداری بیشترین سهم (۸۰ درصد) را به خود اختصاص می‌دهد. دوم عمده محصولات تولیدی این زیربخش نیز محصولات آب‌بر است و به روش سنتی آبیاری می‌شود (سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۶). ساختار تولید بخش کشاورزی عمدتاً متأثر از سیاست‌های سطح ملی است و اصلاح آن زمان‌بر است. مجموعه‌ای از سیاست‌های قیمتی و اصلاحات نهادی می‌تواند منجر به اصلاح این ساختار شود.

خالص ورود و خروج آب از کشور (صادرات آب مجازی) و در نتیجه استان‌های کشور، بعد دیگر مدیریت منابع آب است. پژوهش‌های انجام شده حاکی‌از آن است که در سال ۱۳۹۵ خالص صادرات آب مجازی کشور ۵۵۶۳ میلیون مترمکعب بوده است (بانویی و همکاران، ۱۳۹۵). خالص آب مجازی خارج شده از سطح شهرستان‌های حوضه آبریز کرخه (یکی از دو حوضه آبریز استان کرمانشاه) به سایر مناطق ۴۰۸۵ میلیون مترمکعب تخمین زده شده است (حسین‌تبار،۱۳۹۳). بنابراین هم در سطح کشور و هم در استان کرمانشاه، خالص صادرات آب مجازی مثبت است. درحالی‌که کشورها یا مناطقی که با مشکل کمیابی مواجه هستند، باید تولید و یا صادرات کالاها با محتوای آب مجازی زیاد را کاهش داده و کاهش تولید این محصولات را با واردات از

کشـورها یـا مناطقی که کمبود آب ندارند، جبران نمایند (کیانی، ۱۳۹۶). استراتژی‌های متفاوتی را می‌توان برای تولید محصولات بیشتر و مقرون به‌صرفه‌تر با وجود مصرف آب کمتر به‌کار برد (Faramarzi و همکاران، ۲۰۱۰) که یکی از این استراتژی‌ها پیدا کردن ارزش اقتصادی محصولاتی است که آب مجازی زیادی دارند و تلاش شود صادرات آب مجازی از این طریق مقرون‌به‌صرفه‌تر شود (رنجبر و فتوکیان، ۱۳۹۴). پس لازم است که نسبت به صادرات کالاها یا محصولات کشاورزی آب‌بر حساس بود و با دقت زیادی عمل کرد. به‌عنوان‌مثال بخش قابل توجهی از تقاضای آب در استان کرمانشاه، از صادرات اسیدسیتریک، انرژی برق، گوجه‌فرنگی، رب گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی و ... مشتق می‌شود و مدیریت صادرات این محصولات باید بخشی از برنامه مدیریت منابع آب استان باشد.

از نظر صاحب‌نظران، اتلاف آب در مسیر انتقال و فرهنگ مصرف آب تقریبا به یک اندازه در تنش آبی موثرند و عدم نصب کنتور کمترین نقش را در ایجاد تنش آبی دارد (شکل ۲). به‌طور متوسط از کل آب شرب تولیدی کشور ۳۰ درصد آن هدر می‌رود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۶). این مقدار با میزان هدررفت آب در کشور ترکیه که پرآب‌تر از ایران می‌باشد، برابر است (World Bank، ۲۰۲۱). میزان هدررفت آب در استان کرمانشاه از میانگین کشور نیز بیشتر است؛ به‌طوری‌که میزان هدررفت آب شرب شهری طی دوره (۹۴-۱۳۹۰) به ۴۵ درصد رسیده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۶). الگوی مصرف آب شرب نیز بسیار غیرمعقولانه است و از سرانه مصرف آب شرب کشورهای پرآبی مانند اعضای اتحادی i اروپا نیز بیشتر است. شواهد آماری حاکی‌از آن است که بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ مصرف روزانه مصرف‌کنندگان خانگی اتحادیه اروپا نزدیک به ۴۸ مترمکعب در سال بوده است. درحالی‌که رقم مشابه برای ایران بیش از ۷۵ مترمکعب و برای استان کرمانشاه بیش از ۶۶ مترمکعب تخمین زده می‌شود[۷] (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۶). این دو بعد تا حدودی به همدیگر هم مرتبط هستند. چرا که حساسیت فرهنگ عمومی به اسراف آب و تبدیل آن به خواست عمومی، می‌تواند تصمیمات مدیران را تحت تاثیر قرار داده و منجر به اصلاح شبکه توزیع و کاهش اتلاف آب شود. اصلاحات فرهنگی و توجیه کشاورزان نسبت به تبعات ادامه برداشت‌های بی‌رویه از منابع زیرزمینی، به افزایش استقبال از نصب کنتور بر چاه‌های آب در بخش کشاورزی نیز کمک می‌کند.



شکل ۲- اولویت‌بندی عوامل طرف تقاضای آب (خروجی نرم‌افزار EXPERT CHOICE)

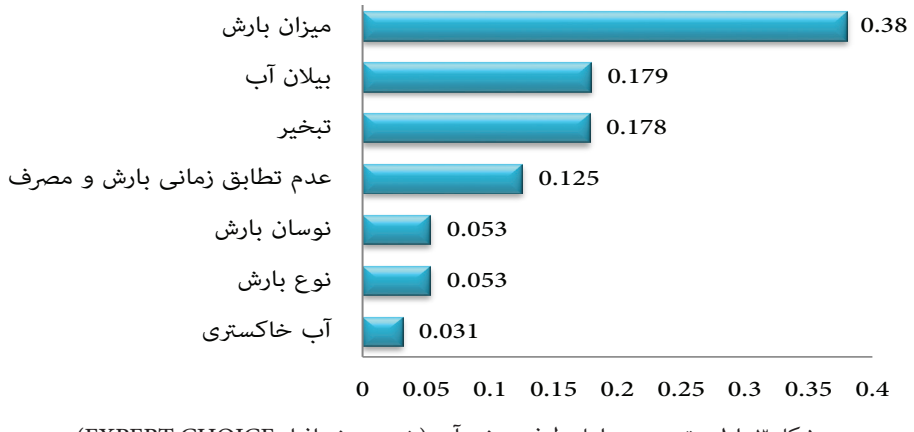
همچنان که قبلاً بیان شد، به طور کلی نقش عوامل طرف عرضه در کم‌آبی، تنها ۲۷/۵ درصد است. در بین عوامل طرف عرضه، میزان بارش‌ها با ۳۸ درصد بیشترین نقش را در عرضه آب دارد. به عبارت دیگر تنها ۱۰ درصد (۲۷/۵×۰/۳۸) از کل مساله آب استان به کاهش بارش‌ها مرتبط است. هرچند متوسط بلندمدت بارش استان کرمانشاه با ۴۷۴ میلیمتر نزدیک به دو برابر میانگین کشوری است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۸) اما باتوجه‌به اینکه حدود ۴۶ درصد از بارندگی استان به خارج از کشور (عراق) منتقل می‌شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۶)، میزان نزولات جوی در دسترس هر نفر جمعیت استان کرمانشاه کم‌وبیش با مقدار مشابه در کل کشور برابر است. بر اساس مطالعات آمایش استان کرمانشاه، میانگین بارش طی بازه زمانی ۳۰ ساله منتهی با ۱۳۹۳ کمتر از ۲ میلی‌متر در سال کاهش داشته است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۷). کمتر بودن میزان بارش‌ها نسبت به میانگین جهانی به همراه عدم تطابق فصل بارش و فصل کشت محصولات کشاورزی، نوع و نوسان آنها که در رتبه‌های بعدی عوامل طرف عرضه قرار دارند و روی هم حدود ۶۰ درصد عوامل طرف عرضه را تشکیل می‌دهند، منجر به کاهش جریان‌های طبیعی عرضه آب می‌شود.

بیلان منفی آب و تبخیر هر کدام با سهم ۱۸ درصدی در عرضه و سهم ۵ درصدی در تنش آبی استان، در رتبه‌های بعدی قرار دارند. بیلان عمومی آب به‌عنوان تراز بین عوامل ورودی و خروجی آب

زیرزمینی در محدوده استان کرمانشاه، منفی و برابر ۳۸- میلیون مترمکعب است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۷). به‌عبارت‌دیگر سالانه ۳۸ میلیون متر مکعب از حجم ذخایر زیرزمینی استان کاسته می‌شود. این امر باعث افت ۱۲/۵ متری سطح آب‌های زیرزمینی استان شده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۶). تبخیر، عامل سوم تعیین‌کننده طرف عرضه با ضریب اهمیت ۱۸ درصد است. مطالعات انجام شده حاکی‌از آن است که میانگین تبخیر و تعرق سالیانه در سطح استان کرمانشاه حدود ۲۱۳۸/۲ میلی‌متر در سال است که نزدیک به ۴/۵ برابر مقدار بارش سالیانه (۴۷۲/۸ میلی‌متر) می‌باشد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۶) درحالی‌که میزان تبخیر در سطح کشور سه برابر میانگین بارش در کشور است (بانویی و همکاران،۱۳۹۵). این به‌این معنی است که نسبت تبخیر به بارش در کرمانشاه از میانگین کشوری بالاتر است.

عدم تطابق فصل بارش و مصرف با ضریب ۱۲/۵ درصد پس از بیلان آب و تبخیر در رتبه چهارم عوامل موثر بر عرضه آب قرار دارد. فصل بارش در ایران و استان کرمانشاه فصول پاییز و زمستان است. اما اوج فصل مصرف آب، تابستان است؛ زیرا در تابستان به‌علت فعالیت‌های کشاورزی و افزایش دمای هوا بیشترین مصرف آب رخ می‌دهد که باعث ناهماهنگی عرضه با تقاضای آب می‌شود. نوع بارش و نوسان آن هر کدام با سهم ۵ درصدی در رتبه‌های بعدی به لحاظ قدرت تعیین‌کنندگی در میزان عرضه آب قرار گرفته‌است. در سال‌های اخیر در جهان و ایران پدیده گرمایش زمین و افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب تغییر اقلیم و تاثیر بر نوع بارش شده است (آذرخشی و همکاران، ۱۳۸۹). پژوهش‌ها حاکی‌از افزایش معنی‌دار پارامترهای دمایی در کشور و استان است (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۶، معصوم‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). این امر باعث کاهش بارش‌ها به‌صورت برف- که ماندگاری بالاتری برای نفوذ به سفره‌های زیرزمینی دارد- در رژیم بارندگی کشور و استان شده است. نوسان‌های زیاد در میزان بارش سال‌های متفاوت در کشور و استان کرمانشاه و کاهش آن در سال‌های اخیر نسبت به میانگین درازمدت، نگرانی برای مسئله آب را افزایش می‌دهد. میانگین بارندگی بلندمدت کشور طی دوره ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ از ۰/۴۱ تا ۱/۲۶ میزان بلندمدت در نوسان است. میانگین بارندگی بلندمدت استان کرمانشاه ۱/۸ برابر میانگین بلندمدت کشور است اما نوسان آن طی سال‌های مورد بررسی زیاد است و از ۰/۴۷ مقدار بلندمدت استان در سال ۱۳۸۴ تا ۱/۴ برابر در سال ۱۳۸۳ متغیر است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۷). ازآنجاکه تغییر در میزان، نوع و زمان بارش بسیار پر هزینه و تقریبا امکان‌ناپذیر است، از طرفی نقش این عوامل هم در ایجاد شرایط کم‌آبی فعلی، نسبت به عوامل طرف تقاضا، بسیار کم است؛ بنابراین در مدیریت منابع آب، به جای عوامل عرضه، باید طرف تقاضا را هدف‌گیری نمود.

بهره‌برداری اندک از آب خاکستری هم با نقش ۳ درصدی در رتبه آخر عوامل تعیین‌کننده عرضه آب قرار دارد (شکل ۳). بر اساس گزارش‌های منتشر شده شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (۱۴۰۰)، نسبت ظرفیت در دست بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به حجم فاضلاب جمع‌آوری شده در شبانه‌روز به‌عنوان شاخص اندازه‌گیری ظرفیت استفاده از آب خاکستری در استان کرمانشاه کمتر از ۳۹ درصد است. رقم مشابه در سطح کشور ۹۳/۵ درصد و برای استان کردستان-به‌عنوان یکی از استان‌های همجوار که دارای میانگین بارندگی بیشتری نسبت به استان کرمانشاه است- ۱۰۰ درصد است (شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان، ۱۴۰۰ و شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، ۱۴۰۰). به‌عبارت‌دیگر در سطح کشور به صورت میانگین می‌توان ۹۳ درصد از فاضلاب جمع‌آوری شده را تصفیه نمود در صورتی که در استان کرمانشاه بر اساس ظرفیت در دست بهره‌برداری، تنها ۳۹ درصد از فاضلاب جمع‌آوری شده قابل تصفیه است. این رقم برای استان کردستان ۱۰۰ درصد است. بنابراین در استان کرمانشاه در هر شبانه‌روز به ازای هر نفر جمعیت استان، ۸۵ لیتر فاضلاب در طبیعت رها می‌شود. ارقام مشابه برای کل کشور ۴/۵ لیتر و برای استان کردستان ۱ لیتر است (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۴۰۰).



شکل ۳- اولویت‌بندی عوامل طرف عرضه آب (خروجی نرم‌افزار EXPERT CHOICE)

نتیجه‌گیری

بررسی وجود مشکل در بخش آب بر اساس تعاریف استاندارد بحران آب بدون لحاظ شرایط خاص هر منطقه از جمله پراکندگی زمانی و مکانی بارش‌ها، نوع بارش‌ها، و ... باعث اشتباه در بیان واقعیت مسئله آب می‌شود و ممکن است منشأ سوءتفاهمات فراوان شود. در این پژوهش به منظور تبیین مساله کم‌آبی، به کمک چارچوب نظری اقتصاد نهادی، تلاش شد توانایی تحلیل مسأله در استان کرمانشاه بسط داده شود. ضرورت بسط شاخص‌های تعیین بحران آب متناسب با شرایط استان در این چهارچوب نظری قابل فهم است. به‌عنوان‌مثال کوتاه‌تر کردن دوره زمانی محاسبه شاخص‌های تعیین بحران آب، خطای تقلیل‌گرایی را کاهش می‌دهد و می‌تواند به واقعی‌تر شدن شاخص‌ها کمک کند.

عدم تعادل در منابع آبی، به‌عنوان یکی از چالش‌های بزرگ کشور، پیامد عدم تعادل در عرضه و تقاضای آب در کشور است. عرضه آب تقریبا ثابت است و تقاضای آب، به شدت تابع نهادها و فناوری است. بنابراین تجزیه و تحلیل تقاضای آب، که بخش بسیار اساسی هدف تعادل در منابع آب را تشکیل می‌دهد، با بحث نهادها، فرهنگ و فناوری، آمیخته شده است و ادراک عمیق آن‌ها نیازمند استفاده از چهارچوب نظری دارای توانایی روشمند برای تجزیه و تحلیل نقش نهادها و فناوری است. چهارچوب نظری شناخته شده در این زمینه، چهارچوب نظری اقتصاد نهادی است.

بر اساس نتایج این پژوهش، در استان کرمانشاه، نقش عوامل طرف تقاضا در کم‌آبی بسیار بیشتر از عوامل طرف عرضه است. به عبارت دیگر، افزایش شدید مصرف آب (تقاضای آب) عمده‌ترین عامل در ایجاد زمینه تنش آبی است. باتوجه‌به اینکه که آب نیز مانند بقیه کالاها، دارای عرضه و تقاضا است، بیشتر چنین تصور می‌شود که می‌توان روی عرضه هم تدبیر کرد. درحالی‌که باتوجه‌به وضعیت کم‌وبیش ثابت عرضه آب، اقدامات صورت گرفته در راستای افزایش در میزان عرضه آب، تنها هزینه‌های محیط‌زیستی را بر جامعه تحمیل کرده است و منجر به حل مساله کم‌آبی نشده است. بنابراین باید انرژی را روی عوامل طرف تقاضا متمرکز نمود. عواملی از قبیل بهبود بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، فرهنگ‌سازی برای پذیرش نصب کنتور بر چاه‌های آب کشاورزی و جلوگیری از برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به‌منظور کنترل بیلان آب، برنامه‌ریزی برای اصلاح ساختار تولید در بخش کشاورزی به سمت محصولات سازگار با کم‌آبی و دارای ارزش‌افزوده به جای تاکید بر خودکفایی در تولید محصولات آب‌بر، اصلاح سیاست‌های تجارت خارجی در بخش محصولات کشاورزی به‌منظور کنترل تجارت مجازی آب و برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری بیشتر از آب خاکستری.

پی‌نوشت

۱- براساس شاخص فالکن مارک، کشورهایی که دارای سرانه آب تجدیدپذیر بیش از ۱۷۰۰ مترمکعب در سال هستند بحران آب ندارند، کشورهایی که سرانه منابع آب تجدیدپذیر بین ۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰ مترمکعب دارند، کشورهایی با «تنش آبی» و کشورهایی که سرانه آب تجدیدپذیر کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در سال دارند، کشورهایی با «کمبود آب» هستند (Falkenmark و همکاران، ۱۹۸۹).

2-Food and Agriculture Organization of the United Nation

۳- بر اساس این شاخص، هرگاه نسبت برداشت آب به کل منابع آب تجدیدپذیر کشور بیشتر از ۴۰ درصد باشد این کشور با بحران شدید مواجه است. اگر این نسبت بین ۲۰ تا ۴۰ درصد باشد بحران در وضعیت متوسط، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد بحران در حد متعادل و برای مقادیر کمتر از ۱۰ درصد بدون بحران گفته می‌شود (Brown & Matlock, ۲۰۱۱).

4-Analytic Hierarchy Process (AHP)

5-Saaty

۶- بخش کشاورزی ایران، با مصرف ۸۵۶۷۲ میلیون متر مکعب آب(شرکت آب منطقه ای کرمانشاه، ۱۳۹۸) ۴۵۴۵۷۸ میلیارد ریال ارزش افزوده تولید می‌کند (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰). بنابراین میانگین بهره‌وری آب مصرفی بخش کشاورزی کشور، ۵۳۰۶ ریال بر متر مکعب است.

۷- لازم به ذکر است؛ داده‌های استفاده شده برای میانگین مصرف آب، میزان فروش آب شرب است. در استان کرمانشاه به دلیل وجود چشمه‌های زیاد و بالابودن سطح آب‌های زیرزمینی در برخی مناطق، بخشی از آب شرب مصرفی توسط چشمه‌ها و چاه‌های خانگی تأمین می‌شود، بنابراین میزان فروش آب در استان کرمانشاه، میزان مصرف واقعی آب را کمتر از کشور تخمین می‌زند.

منابع

آذرخشی، م.، فرزادمهر، ج.، اصلاح، م. و صحابی، ح. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران. نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۶(۱): ۱-۱۶.

اسکوهی، م. و اسماعیلی، ک. ۱۴۰۰. تحلیلی بر نظریه‌های حکمرانی و مدیریت منابع آب در ایران. آب و توسعه پایدار، ۸(۱): ۱-۱۰.

بانویی، ع. ا.، ذاکری، ز.، مؤمنی، م. و اسفندیاری کلوکن، م. ۱۳۹۵.

تأملی بیشتر در سنجش خالص صادرات آب مجازی در ایران با تأکید بر مسئله بیش‌آوردی و کم‌آوردی ناشی از بهره‌وری. جامعه و اقتصاد، ۱۳(۲۹): ۱۱۵-۱۳۰.
ببران، ص. و هنربخش، ن. ۱۳۸۷. بحران وضعیت آب در ایران و جهان. فصلنامه راهبرد، ۴۸: ۱۹۳-۲۱۲.
توکلی، ج. و جمینی، د. ۱۳۹۴. تحلیل عوامل پیش‌برنده تجهیز اراضی زراعی به سیستم‌های آبیاری بارانی (مطالعه موردی: روستاهای شهرستان روانسر). جغرافیا و پایداری محیط، ۵(۳): ۸۹-۱۰۰.
چاونس، ب. ۲۰۰۹. اقتصاد نهادی. ترجمه محمود متوسلی، علی نیکونسبتی و زهرا فرضی‌زاده. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول. ۱۳۹۰. تهران.
حیدری، ع. ۱۳۹۹. چالش‌های تخصیص آب در ایران. https:// otaghiranonline.ir/news/۳۴۷۰۶ (بازدید ۱۴۰۰/۷/۲).
حسین‌تبار، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی حجم آب مجازی مبادلاتی محصولات عمده زراعی در کرمانشاه. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی کشاورزی آبیاری و زهکشی. دانشگاه رازی.
درخشان، ه. و عمرانیان خراسانی، ح. ۱۳۹۸. ذخیره خشکسالی، ضرورت پایایی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۶(۱): ۷۷-۸۴.
ذوالفقاری، ح.، رحیمی، ح. و اوجی، ر. ۱۳۹۶. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر درجه-روزهای گرمایشی و سرمایشی ایران. جغرافیا و پایداری محیط، ۷(۲۲): ۱-۲۰.
رنجبر، ا. و فتوکیان، م. ر. ۱۴۹۴. بررسی روند صادرات وواردات آب مجازی در ایران. کنفرانس بین‌المللی علوم، مهندسی و فناوری‌های محیطی. دانشگاه تهران. ایران.
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه. ۱۳۹۶. مطالعات آمایش استان کرمانشاه. جلد ۴: تحلیل محیط‌زیست.
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه. ۱۳۹۷. مطالعات آمایش استان کرمانشاه، جلد ۳۱: تلفیق.
سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه. ۱۳۹۶. میزان آب مصرفی برای یک هکتار از محصولات زراعی. کرمانشاه، ایران
سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور. ۱۳۹۷. سیمای بیابان‌ها https://www.frw.ir/02/fa/staticpages/page.as-px?tid=1502 (بازدید ۱۳۹۷/۸/۹).
شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان. ۱۴۰۰. گزارش صنعت آب و فاضلاب تا پایان سال ۱۳۹۸. www.kdrw.ir (بازدید ۱۴۰۰/۳/۱۵).
شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه. ۱۴۰۰. گزارش صنعت آب و فاضلاب تا پایان سال ۱۳۹۸. www.kshrw.ir (بازدید ۱۴۰۰/۳/۱۵).
شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه. ۱۳۹۸. مطالعات جامع منابع آب استان کرمانشاه. کرمانشاه، ایران.
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. ۱۴۰۰. سالنامه آماری سال ۱۳۹۸ صنعت آب و فاضلاب بخش شهری. https://www.nww.ir/statistics-and-information (بازدید ۱۴۰۰/۶/۲۵).
طاهرآبادی، ف.، معتمد، م.ک.، خالدیان. م.ر. ۱۳۹۵. تحلیل موانع و مشکلات مدیریت آب کشاورزی در دستیابی به توسعه پایدار؛ مورد: شهرستان‌های کنگاور و صحنه در استان کرمانشاه. اقتصاد فضا و توسعه روستایی، ۵(۱۷): ۵۷-۷۰.
قربانی سپهر، آ.، متقی، ا. و یوسفی شاتوری، م. ۱۳۹۸. تحلیل بحران آب در ایران و راه های مقابله با آن. چهاردهمین کنگره انجمن جغرافیایی ایران. تهران. https://civilica.com/doc/876565 (بازدید ۱۳۹۷/۱۱/۱۲).
کیانی، غ. ۱۳۹۶. بررسی وضعیت تجارت داخلی و بین‌المللی آب مجازی در ایران. نشریه علوم آب و خاک علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۲۲(۱): ۱۱۵-۱۲۵.
محمد جانی، ا. و یزدانیان، ز. ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. فصلنامه روند، ۶۵ و ۶۶: ۱۱۷-۱۴۴.
مرکز آمار ایران. ۱۴۰۰. حساب‌های منطقه‌ای. https://www.amar.org.ir/ (بازدید ۱۴۰۰/۵/۱۵).
مرکز آمار ایران. ۱۳۹۸. سالنامه آماری. مقایسه نسبت ارتفاع بارش سالانه به میانگین بلندمدت در سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۳.
معصوم‌پور، ج.، میری، م. و باقری سید شکری، س. ۱۳۹۵. اثر تغییر اقلیم برآدهی و ویژگی‌های چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه.جغرافیا و پایداری محیط، (۲۱): ۵۱-۶۶.
مهکویی، ح. ۱۳۹۶. تحلیلی بر بحران منابع آب در کشورهای اسلامي منتخب. فصلنامه مطالعات سیاسي جهان اسلام، ۲۲: ۱۹۹-۱۶۹.
ولایتی، س. ۱۳۸۵. بحران آب استان خراسان. مدرس علوم انسانی (ویژه‌نامه جغرافیا)، ۲۱۳:۴۸-۲۳۴.
Brown A. and Matlock M.D. 2011. A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies, The Sustainability Consortium, Food, Beverage & Agriculture, University of Arkansas. White Paper#106. www.sustainabilityconsortium.org.
Falkenmark M., Lundquist J. and Widstrand C. 1989. Marco-scale water scarcity requires micro-scale approaches: aspects of vulnerability in semiarid development. Natural Resources Forum, 13(4): 67 -258.
FAO. 2019. http://www.fao.org/nr/ water (Visited 10 April 2019).
Faramarzi M., Yang H., Mousavi J., Schulin R., Binder C.R. and Abbaspour K.C. 2010. Analysis of in-

and Economic Performance. New York: Cambridge University Press. Cambridge, England.

North D. C. 1993. Institutions, transaction costs and productivity in the long run. Economic History, 9309004, EconWPA. University Library of Munich, Germany.

Saaty T. L. 2008. Decision making with analytic hierarchy process. International journal o scrivices., 1(1): 83-98.

Saleth R. Maria And Ariel D. 2004. The Institutional Economics of Water: Cross-Country Analysis of Institutions and Performance. The World Bank.

World Bank. 2021. water productivity (constant 2010 US$ GDP per cubic meter of total freshwater withdrawal). www.worldbank.org (Visited 6 August 2021).

Wu L., Elshorbagy A., Pande S And Zhuo L. 2021. Trade-offs and synergies in the water-energy-food nexus: the case of Saskatchewan. Canada. Resources, Conservation & Recycling, 164: 105-192.

Yu B. 2005. Agricultural Productivity And Institutions In Sub-Saharan Africa. Phd Dissertation in Agricultural Economics. Perrin Lincoln. Nebraska.

tra- country virtual water trade strategy to alleviate water scarcity in Iran. Hydrology and Earth system Sciences, 14(8): 1417-1433.

Guppy. L. And Anderson K. 2017. Water Crisis Report. United Nations University Institute for Water, Environment and Health. Hamilton. Canada.

Huang D., Shen Z. And Sun C. 2021. Shifting from Production-Based to Consumption-Based Nexus Governance: Evidence from an Input–Output Analysis of the Local Water-Energy-Food Nexus. Water Resour Management. 35: 1673–1688.

Manish K. 2009. Institutional and Regulatory Economics of Public Private Partnerships in Infrastructure: Evidences from Stochastic Cost Frontier Analysis and Three Case Studies of Urban Water Utilities. PHD Dissertation in economics. The Faculty of Columbian College of Arts and Sciences of The George Washington University.

Nguyen G.H. 2014. The Analytic Hierarchy Process: A Mathematical Model for Decision Making Problems,senior independent theses, The College of Wooster Libraries Open Works, paper 6054.

North D.C. 1990. Institutions, Institutional Change,

2022, Vol.8, No.4, Pages 43 to 50
Journal of Water and Sustainable Development

آب و توسعه پایدار

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ٤٣ تا ٥٠
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: **Applied Article**

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Interaction of Applied Water Volume and Irrigation Water Salinity on Wheat Yield in Arid Regions (Case study: Yazd)

M. H. Rahimian[1*], H. Gholami[2], Gh. H. Ranjbar[1], H. Beyrami[1], B. Moravvej ol Ahkami[3], M. Karimi[1], S.A.M. Cheraghi[4]

1- Assistance Professor, Faculty Member of National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. 2- Ph.D. student of Irrigation and Drainage Engineering, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran. 3- Assistance Professor, Faculty Member, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. 4- Assistance Professor, Faculty Member, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran.

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

Received: 07-06-2021 Revised: 14-07-2021
Accepted: 17-07-2021 Available Online: 06-12-2021

برهمکنش حجم آب مصرفی و شوری آب آبیاری بر عملکرد گندم در مناطق خشك (مطالعه موردی: یزد)

محمدحسن رحیمیان[1*]، حسن غلامی[2]، غلامحسن رنجبر[1]، حسین بیرامی[1]، بی‌تا مروج الاحکامی[3]، مهدی کریمی[1]، سیدعلی محمد چراغی[4]

۱- استادیار، عضو هیئت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. ۲- دانشجوی دکتری رشته علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. ۳- استادیار، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. ٤- استادیار، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

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

تاریخ دریافت: ١٤٠٠/٠٣/١٧ تاریخ بازنگری: ١٤٠٠/٠٤/٢٣
تاریخ پذیرش: ١٤٠٠/٠٤/٢٦ تاریخ انتشار: ١٤٠٠/١٢/٢٨

Abstract

Farmers, who are faced with the problem of irrigation water salinity, sometimes ask questions about the yield forecast under the effect of irrigation water salinity (ECiw) and the volume of applied water (Viw). The answer to this question requires knowledge of the crop production function. The aim of this study was to investigate the interaction between ECiw and Viw on wheat grain yield (Narin cultivar) in the Yazd region. For this purpose, the response of wheat yield under the effects of irrigation water salinity (including 3, 5, and 8 dS.m-1) and volume of applied water (from 4500 to 11600 m3.ha-1) was analyzed during 2017-2018, 2018-2019, and 2019-2020 cropping seasons. The results showed that the effectiveness of applied water on wheat yield has increased in saline conditions than in non-saline conditions. Therefore, wheat growers in saline areas should be confident about the adequacy of available water to meet the field water requirements (both ET and leaching requirements) and also follow the irrigation scheduling more carefully and obsessively compared to none-saline conditions. In this case study, a wheat yield function was presented and evaluated, as well. This function works based on the salinity and the volume of irrigation water (ECiw and Viw). With a coefficient of determination (R2) of 0.67, this function is expected to estimate the wheat yield with an approximate error of ±524 kg.ha-1. This equation can be used to estimate the production decline due to increasing salinity of irrigation water or decreasing the volume of applied water, to predict the yield before the harvest time as well as to meet the field water required to produce a certain amount of grains in the studied region.

Keywords: Yield Function, Irrigated Wheat, Salinity, Yazd.

چکیده

کشاورزانی که با مساله شوری روبه‌رو هستند، گاهی سوالاتی در خصوص پیش‌بینی عملکرد، تحت تأثیر شوری آب آبیاری (EC_{iw}) و حجم آب مصرفی (V_{iw}) مطرح می‌نمایند که پاسخ به آن‌ها، مستلزم اطلاع از تابع تولید گیاه می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش شوری آب آبیاری و حجم آب مصرفی برعملکرد گندم (رقم نارین) طی سه سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶، ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در یزد انجام شد تا تأثیر مقادیر مختلف حجم آب (بین ۴۵۰۰ تا ۱۱۶۰۰ مترمکعب بر هکتار) بر عملکرد گندم در سه سطح شوری (۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر) مورد تجزیه و تحلیل رگرسیون قرار بگیرد. در ادامه، معادله‌ای برای تخمین عملکرد براساس شوری و حجم آب مصرفی ارائه و ارزیابی شد. نتایج حاصله بیانگر افزایش تأثیرپذیری افت عملکرد گندم از حجم آب آبیاری در شرایط شور نسبت به شرایط غیرشور بود؛ به‌طوری‌که کشاورزان مناطق شور باید در مورد کفایت حقابه در اختیار خود برای تأمین نیاز آبی مزرعه (اعم از نیاز گیاه و نیاز آبشوئی) اطمینان داشته و برنامه‌ریزی‌های آبیاری را با دقت بیشتری نسبت به شرایط غیرشور انجام دهند. در خصوص معادله تخمین عملکرد براساس EC_{iw} و V_{iw}، ضریب تبیین (R^2) این معادله ۰/۶۷ بوده و انتظار می‌رود عملکرد گندم را با خطای تقریبی ۵۲۴± کیلوگرم بر هکتار در منطقه مطالعاتی برآورد نماید. این معادله برای برآورد افت تولید گندم در اثر افزایش شوری و یا کمبود آب آبیاری، تخمین عملکرد مزرعه قبل از برداشت محصول و یا تامین نیاز آبی مزرعه برای تولید مقدار مشخصی محصول در منطقه مطالعاتی کاربرد دارد.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید، گندم آبی، شوری، یزد.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Rahimian M.H., Gholami H., Ranjbar Gh.H., Beyrami H., Moravvej ol Ahkami B., Karimi M., Cheraghi S.A.M. 2022. Interaction of Applied Water Volume and Irrigation Water Salinity on Wheat Yield in Arid Regions (Case study: Yazd). Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 43-50. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2106.1053

مقدمه

گندم (Tritcum Aestivum L.) یکی از مهمترین محصولات زراعی جهان است که در سبد غذایی جوامع و تامین انرژی مورد نیاز انسان‌ها جایگاه ویژه‌ای دارد. براساس گزارش سازمان خوار و بار جهانی (FAO، ۲۰۱۸) تولید کل غلات جهان نزدیک به ۲/۵۸۷ میلیارد تن می‌باشد و نزدیک به ۷۲۲ میلیون تن آن به گندم اختصاص دارد. از دید اهمیت سطح زیر کشت، گندم در درجه اول جهانی در بین محصولات زراعی قرار دارد. باتوجه‌به نیاز زیاد جوامع به این محصول، تغییر میزان تولید آن بر تغییر قیمت گندم و اقتصاد بازارهای جهانی نیز اثرات عمده دارد (حبیب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹). به همین دلایل این گیاه همواره به‌عنوان یك گیاه استراتژیك و اساسی در کشورهای مختلف شناخته می‌شود. براساس آمار موجود کشورمان، از ۱۲ میلیون هکتار سطح کشت محصولات سالانه کشور در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷، نزدیک‌به ۸/۴۴ میلیون هکتار، معادل ۷۱/۲ درصد آن به غلات اختصاص داشته و محصول گندم با ۶۹/۵ درصد، عمده‌ترین غله کشور شناخته شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). طی یك دوره ۱۵ ساله از ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴، سالانه حدود ۶/۳ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی کشورمان به کشت این محصول اختصاص داده شد و میانگین عملکرد گندم آبی در این سال‌ها، نزدیک‌به ۳۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار بوده است (زاهد و همکاران، ۱۳۹۸). اگرچه کشت گندم در ایران سابقه طولانی داشته است، اما مناطق عمده گندمکاری کشور با مشکلات بی‌شماری از جمله مساله شوری منابع آب و خاك روبه‌رو هستند (چراغی، ۱۳۸۶). به‌طوری‌که علاوه‌بر محدودیت کمّی منابع آب و اعمال کم‌آبیاری اجباری مزارع، آب آبیاری مورد استفاده در این مناطق کیفیت پایینی دارد. به‌عنوان‌مثال، میانگین شوری آب چاه‌های کشاورزی در استان‌های واقع در فلات مرکزی کشور مانند سمنان، اصفهان، قم و یزد به‌ترتیب برابر با ۲/۷، ۳/۴، ۴/۰ و ۵/۲ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است (رحیمیان و دهقانی، ۱۳۹۷). زیرا مساله تولید گندم در این مناطق، تحت تأثیر تنش‌های کم‌آبی و شوری به‌صورت باهم خواهد بود. Munns و James (۲۰۰۳) تاکید کرده‌اند مساله شوری در بسیاری از مناطق جهان مانند ایران به‌عنوان عامل محدود کننده عملکرد و کیفیت محصول به شمار می‌رود. براساس آخرین اطلاعات موجود در زمینه وسعت و وضعیت شوری خاك‌های کشاورزی، بالغ بر ۶/۸ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی کشورمان خاك‌های مبتلا به درجات مختلف شوری دارند (مومنی، ۱۳۸۹). روشن است تولید گیاهان در چنین شرایطی در معرض کاهش جدی قرار داشته و توجه به پاسخ گیاهان نسبت به تنش‌های شوری و کم‌آبی، اهمیت دارد. ازاین‌رو میزان تولید این محصول استراتژیك در شرایط مختلف محیطی از دیدگاه شوری و خشکی، با نوساناتی همراه خواهد بود. مهمترین ابزار نظریه تولید -که بیانگر چگونگی ترکیب عوامل تولید برای دستیابی به مقادیر مختلف محصول به بهترین رویّه ممکن است- تابع تولید[1] می‌باشد که نشان‌دهنده نرخ تبدیل نهاده‌ها[2] به ستاده[3] می‌باشد (خزایی و هوشمند، ۱۳۹۳). نهاده‌های مهمی در تولید گندم نقش دارند که آب، مهمترین آن‌ها محسوب می‌شود (Shroyer و همکاران، ۱۹۹۷). به همین دلیل است که تابع تولید گندم اغلب براساس میزان تولید به‌ازای حجم آب مصرفی در مزرعه بیان می‌شود. تابع تولید گندم می‌تواند بر حسب رابطه آب-عملکرد بدون در نظر گرفتن شوری، رابطه شوری-عملکرد بدون در نظر گرفتن تنش خشکی و رابطه آب-عملکرد با در نظر گرفتن شوری باشد که مورد اخیر تحت عنوان تابع تولید آب-شوری شناخته می‌شود (ذوالفقاران و همکاران، ۱۳۹۶). درباره رابطه آب-عملکرد بدون تنش شوری، مطالعاتی مانند Doorenbos و Kassam (۱۹۷۹)، Doorenbos و Pruitt (۱۹۷۷)، Vaux و Pruitt (۱۹۸۳) و Feddes و همکاران (۱۹۸۰) انجام شده است. در این زمینه، اطلاعات ارزشمندی توسط کمیته ملی آبیاری و زهکشی در قالب کتاب اصول و کاربرد کم‌آبیاری (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵) ارائه شده است. در زمینه رابطه شوری-عملکرد بدون تنش خشکی مطالعاتی مانند Maas (۱۹۹۰ و ۱۹۸۶)، Maas و Hoffman (۱۹۷۷)، Van Genochten (۱۹۸۳) و Letey و Dinar (۱۹۸۶) انجام شده است. همچنین، در بررسی اثر تنش‌های خشکی و شوری بر روی عملکرد نیز می‌توان به مطالعات کیانی و همکاران (۱۳۸۲ و ۱۳۸۴)، ذوالفقاران و همکاران (۱۳۹۶)، Datta و همکاران (۱۹۹۸)، Datta و Dayal (۲۰۰۰) اشاره کرد. هدف این پژوهش، بررسی برهمکنش حجم آب مصرفی، شوری آب آبیاری و عملکرد گندم در منطقه یزد و ارائه معادله‌ای جهت برآورد عملکرد گندم به کمك این دو پارامتر است. این منطقه علاوه‌بر محدودیت شوری آب آبیاری، با مساله محدودیت کمّی منابع آب کشاورزی نیز مواجه می‌باشد و کشت گندم به‌صورت آبی انجام می‌شود. میانگین عملکرد گندم این استان در حدود ۳۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد (رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۶).

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت کرت‌های جدا از هم در قالب طرح بلوك‌های کاملاً تصادفی و طی سه سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶، ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقات شوری صدوق واقع در استان یزد انجام شده است. خاك این مزرعه بافت سیلتی لوم دارد. منطقه مطالعاتی براساس روش دومارتن اصلاح شده اقلیم فرا خشک سرد دارد. میانگین بارندگی سالانه ۶۹ میلی‌متر،

میانگین پتانسیل تبخیر سالانه ۳۰۹۰ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۲۰ درجه سانتی‌گراد و بیشینه و کمینه مطلق دمای سالانه به‌ترتیب ۴۴ و ۶/۵- درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. جدول (۱) خصوصیات فیزیکی خاك محل اجرای این آزمایش را نشان می‌دهد.

در این پژوهش تأثیر مقادیر مختلف حجم آب داده شده به گندم (رقم نارین) بر شاخص عملکرد محصول در سه سطح شوری آب آبیاری (شامل مقادیر تقریبی ۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر) تجزیه و تحلیل شد. نحوه انتخاب سطوح شوری، براساس حدود شوری آب آبیاری مورد استفاده در مزارع گندم استان یزد و همچنین، در نظر گرفتن حد آستانه تحمل به شوری گندم (حدود ۶ دسی زیمنس بر متر) بود. جدول (۲) ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری استفاده شده در مزرعه را نشان می‌دهد. سطوح شوری گفته شده از طریق اختلاط دو منبع آبی شور و غیرشور در اتاقك کنترل و تنظیم شوری مورد نظر توسط شوری‌سنج پرتابل و سپس پمپاژ آب به شبکه لوله‌گذاری مزرعه، وارد کرت‌های تحقیقاتی شده است. هر یك از سطوح شوری گفته شده از ابتدای فصل رشد گیاه و پس از کاشت بذر در کرت‌ها اعمال شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاك محل اجرای آزمایش

عمق خاك (سانتیمتر)	ویژگی‌های بافت خاك				چگالی ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)	رطوبت حجمی خاك تحت مکش‌های مختلف (بار) بر حسب اعشار				
	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت		اشباع	۰/۳	۱	۵	۱۰	۱۵
۳۰-۰	۵۶/۴	۲۱/۸	۲۱/۸	SCL	۱/۳۹	۰/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۰۸
۶۰-۳۰	۶۲/۴	۱۶/۸	۲۰/۸	SCL	۱/۳۷	۰/۶۱	۰/۴۵	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۵
۹۰-۶۰	۶۹/۴	۱۲/۸	۱۷/۸	SL	۱/۴۵	۰/۵۶	۰/۳۷	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۶
۱۲۰-۹۰	۳۳/۴	۴۵/۸	۲۰/۸	L	۱/۶۱	۰/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۷

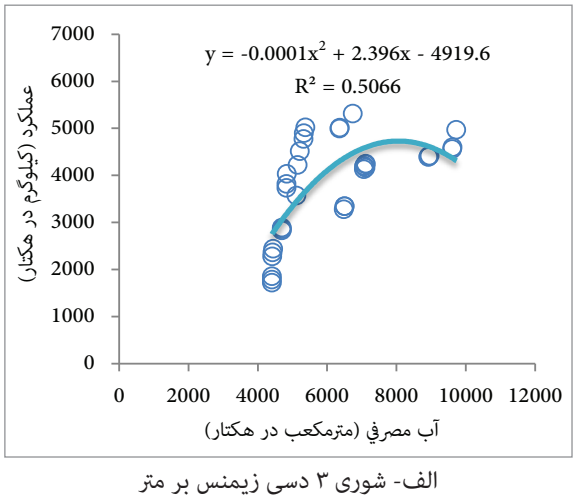
جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در این پژوهش

تیمار	EC	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	CO_3^{2-}	HCO^{3-}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	SAR	RSC	SI
	(ds/m)		(meq/L)									
S 1	۳/۱۱	۸/۳۹	۴/۷۰	۵/۹۹	۱۸/۳۵	۰/۱۷	۱/۵۳	۲۲/۷۸	۴/۵۵	۷/۹۴	-۸/۹۸	۰/۸۹
S 2	۵/۰۰	۸/۳۵	۵/۸۴	۹/۳۵	۳۴/۰۸	۰/۱۷	۱/۵۳	۳۴/۷۳	۱۲/۸۴	۱۲/۳۷	-۱۳/۴۸	۰/۹۵
S 3	۸/۱۴	۸/۲۳	۷/۷۲	۱۵/۲۴	۵۵/۲۹	۰/۰۰	۱/۸۳	۶۷/۲۴	۹/۱۷	۱۶/۳۲	-۲۱/۱۲	۱/۰۷

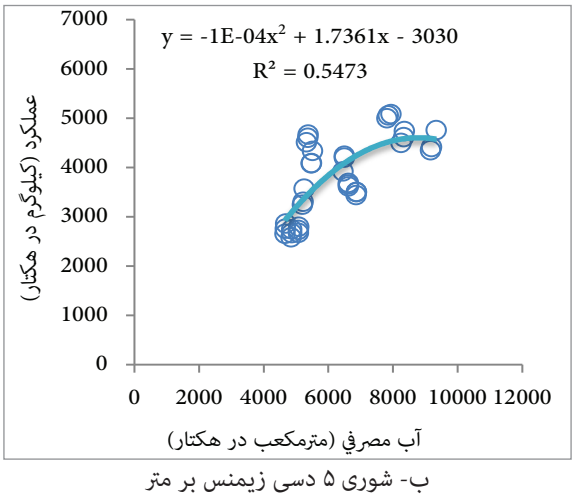
مساحت هر یك از کرت‌های آزمایشی ۸۱ متر مربع و روش‌های آبیاری شامل قطره‌ای (تیپ) و غرقابی (کرتی) بوده که در هر یك از سطوح شوری پیش‌گفته، آبیاری تیمارها با دو روش اشاره شده در بالا انجام شد. علاوه‌بر این، در روش آبیاری تیپ از فواصل مختلف لترال‌های آبیاری (شامل ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتیمتر از همدیگر) استفاده شد؛ به‌طوری‌که به‌دلیل تنوع تیمارهای آبیاری تیپ از نظر فواصل لترال‌ها و همچنین تنوع در شوری آب آبیاری و ضرورت اعمال کسر آبشوییآبشویی متفاوت برای هر سطح شوری، عملاً حجم‌های مختلف آب آبیاری در هر تیمار اتفاق افتاده که مقادیر دقیق آن از طریق اندازه‌گیری توسط کنتور حجمی در هر نوبت آبیاری، مشخص شده است. حجم آب مصرفی در روش غرقابی نیز از طریق کنتور حجمی منصوب برروی لوله اصلی اندازه‌گیری شده است. تفاوت حجم آب مصرفی در روش‌های مختلف آبیاری (تیپ و غرقابی)، تفاوت حجم آب مصرفی در شوری‌های مختلف آب آبیاری (سه سطح شوری)، تفاوت‌های سالانه حجم آب مصرفی در هر یك از سه سال آزمایش و همچنین، تفاوت‌های جزئی حجم آب اندازه‌گیری شده در هر یك از تکرارهای آزمایش (۳ تکرار) در هر سال باعث بروز تغییرات و تنوع در آمار و ارقام حجم آب مصرفی و عملکرد گندم شده و امکان بررسی رابطه بین آب-شوری-عملکرد و ارائه معادله ریاضی مربوط به آن را فراهم نموده است. سرانجام با اندازه‌گیری عملکرد دانه و مقادیر تجمعی حجم آب مصرفی در طول فصل رشد، ارتباط بین عملکرد با حجم آب مصرفی در سطوح مختلف شوری آب آبیاری تجزیه و تحلیل شد. در اجرای این پژوهش، تیمارهای مختلف شوری آب آبیاری در کرت‌های اصلی و روش‌های مختلف آبیاری در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

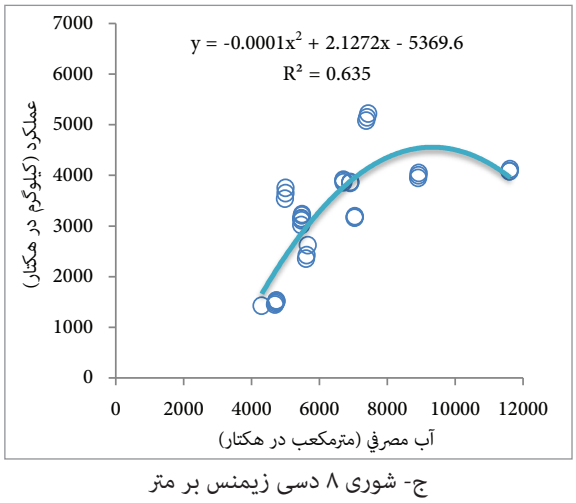
شکل (۱) ارتباط رگرسیونی بین حجم آب مصرفی و عملکرد گندم در سطوح مختلف شوری آب آبیاری شامل ۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر را به تفکیك نمایش می‌دهد. برروی هر شکل، برازش مناسبترین خط بر نقاط مذکور انجام شد که معادلات مربوط به آن و ضریب تبیین آن‌ها نیز نشان داده شده است. به‌دلیل بیشترین انطباق فرم معادله چندجمله‌ای درجه ۲ بر نقاط مذکور، خطوط برازش شده بر این نمودارها نیز به همین فرم تعریف شده‌اند. پیش‌بینی عملکرد گندم توسط معادلات برازش شده بر روی تمام این نمودارها، به‌صورت میانگین عملکرد در اثر مقدار مشخص آب آبیاری خواهد بود. هر یك از معادلات مذکور نقطه تغییر جهت (نقطه عطف) دارد که این نقطه، بیانگر پیش‌بینی حداکثر میانگین عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) به‌ازای مصرف مقدار مشخص آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) با میزان شوری مشخص (۳، ۵ یا ۸ دسی زیمنس بر متر) می‌باشد؛ به‌طوری‌که با عبور از این نقطه و هم‌زمان با افزایش مصرف آب، عملکرد محصول به تدریج وارد روند کاهشی خواهد شد. به‌عنوان مثال در مورد شوری آب آبیاری ۳ دسی زیمنس بر متر، با حجم تقریبی مصرف آب ۷۲۰۰ مترمکعب بر هکتار، میانگین حداکثر عملکرد گندم حدوداً برابر با ۴۷۰۰ کیلوگرم بر هکتار بوده است (شکل ۱- الف). ازاین‌رو مصارف بیشتر آب آبیاری نه تنها موجب افزایش عملکرد گندم نخواهد شد، بلکه افت تولید نیز به‌همراه خواهد داشت. شستشوی عناصر غذایی خاك ناحیه ریشه در اثر افزایش نفوذ عمقی آب، از مهمترین دلایل افت تولید گندم در این شرایط عنوان شده است (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵). برای سطح شوری ۵ دسی زیمنس بر متر، نقطه عطف نمودار (شکل ۱- ب) در عملکرد ۴۵۰۰ کیلوگرم و آب مصرفی ۷۹۰۰ مترمکعب بر هکتار می‌باشد. همچنین، برای سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر، نقطه عطف نمودار (شکل ۱- ج) در عملکرد ۴۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار و آب مصرفی ۸۳۰۰ مترمکعب بر هکتار به‌دست آمده است. همانطوری‌که اشاره شد، عملکردهای گفته شده به‌صورت میانگین بوده و ممکن است در برخی مزارع، مقادیر بیشتر و یا کمتر از این اعداد نیز به‌دست بیاید.



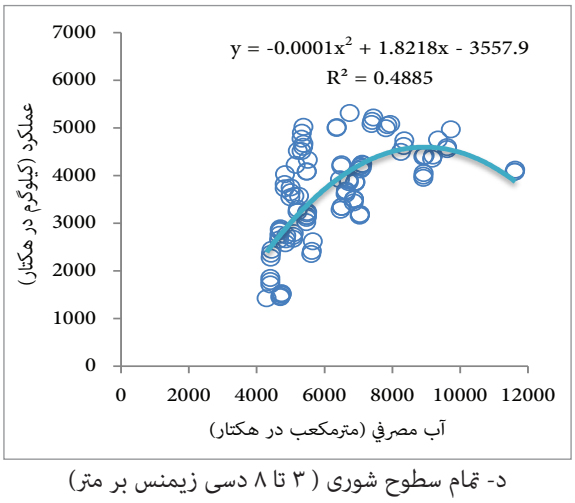
الف- شوری ۳ دسی زیمنس بر متر



ب- شوری ۵ دسی زیمنس بر متر



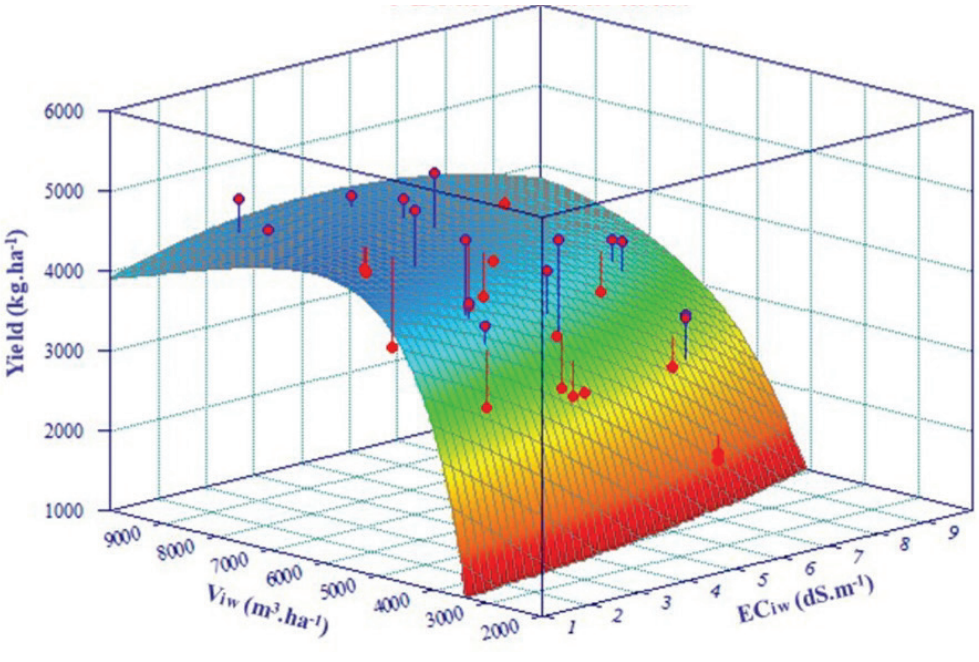
ج- شوری ۸ دسی زیمنس بر متر



د- تمام سطوح شوری (۳ تا ۸ دسی زیمنس بر متر)

شکل ۱- رابطه بین حجم آب مصرفی و عملکرد گندم در سطوح مختلف شوری آب آبیاری

یکی از مهمترین نکته‌هایی که باید در خصوص شکل (۱) اشاره شود، افزایش ضریب تبیین (R^2) بین پارامترهای حجم آب مصرفی و عملکرد گندم در اثر افزایش شوری آب آبیاری است. به‌طوری‌که این ضریب برای سطوح شوری ۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر، به‌ترتیب برابر با ۰/۵۱، ۰/۵۵ و ۰/۶۴ به‌دست آمده است. افزایش همبستگی بین حجم آب مصرفی و عملکرد گندم در اثر افزایش شوری آب آبیاری بیانگر افزایش تأثیرپذیری عملکرد گندم از میزان آب آبیاری در شرایط شور نسبت به شرایط غیرشور است. به‌عبارت‌دیگر، در مزارعی که کیفیت آب آبیاری آن‌ها غیراستاندارد (شور) باشد، نقش آب مصرفی بر عملکرد گندم بسیار مهمتر و تأثیرگذارتر از شرایط استاندارد (غیرشور) خواهد بود. به‌عبارت‌دیگر، امکان غلبه بر مساله شوری و کاهش اثرات منفی آن بر عملکرد گندم از طریق افزایش حجم آب کاربردی در مزرعه وجود دارد. بنابراین، کشاورزان مناطق شور باید در مورد کفایت حقابه در اختیار خود برای تامین نیاز آبی مزرعه (اعم از نیاز گیاه و نیاز آبشویی) اطمینان داشته و برنامه‌ریزی آبیاری را با دقت و وسواس بالاتری نسبت به شرایط غیرشور انجام دهند. عملکرد گندم وابسته به فاکتورهای زیادی مانند مدیریت آبیاری، مدیریت تغذیه گیاهی، حجم آب مصرفی، تراکم و تاریخ کاشت، رقم، مدیریت و مبارزه با آفات و بیماری‌ها و ... است (زاهد و همکاران، ۱۳۹۸) و هر یک از این فاکتورها می‌توانند تحت تأثیر تنش‌های محیطی مختلف مانند خشکی و شوری قرار بگیرند. به‌دلیل اینکه شوری به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل محدودکننده عملکرد گندم در مناطق عمده گندمکاری کشور محسوب می‌شود، ازاین‌رو توجه به مساله کنترل و کاهش شوری خاک ناحیه ریشه در مزارع گندم، نقش بارز در افزایش عملکرد خواهد داشت (چراغی، ۱۳۸۶). از طرفی دیگر، کنترل شوری خاک مستلزم کاربرد آب اضافی برای تامین نیاز آبشویی[۴] (LR) و در نتیجه، افزایش میزان آب مصرفی مزرعه خواهد بود. بنابراین همانطورکه نتایج گفته شده نشان می‌دهد، اهمیت آب مصرفی بر عملکرد گندم در شرایط شور بیشتر و تأثیرگذارتر از شرایط غیرشور خواهد بود. در شرایط غیرشور، به‌دلیل تامین محیط مناسب‌تر ناحیه ریشه برای رشد گیاه، علاوه‌بر مساله حقابه یا حجم آب آبیاری موجود، توجه به سایر عوامل تولید گندم هم باید در اولویت کاری بهره‌برداران قرار داشته باشد. شکل (۲) نیز اثرات متقابل شوری آب آبیاری (EC_{iw})، حجم آب مصرفی (V_{iw}) و عملکرد گندم (Yield) به‌صورت یك رویه[۵] سه‌بعدی نمایش داده که توسط نرم‌افزار Table Curve 3D تهیه شده است. این نرم‌افزار رویه‌های متعددی را برازش داده که باتوجه‌به آماره‌های خطا و ضریب تبیین (R^2)، مناسب‌ترین رویه از بین آن‌ها انتخاب و معرفی شده است.



شکل ۲- نمایش سه‌بعدی اثرات متقابل شوری آب آبیاری (ECiw) و حجم آب مصرفی (Viw) بر عملکرد گندم (Yield) در منطقه یزد

شکل عمومی بهترین معادله برازش شده بر نقاط این نمودار (رویه شکل ۲) به‌صورت رابطه (۱) است:

$$Yield=a+bEC_{iw}+c/V_{iw}+dEC_{iw}^{2}+e/V_{iw}^{2}+fEC_{iw}/V_{iw} \quad (۱)$$

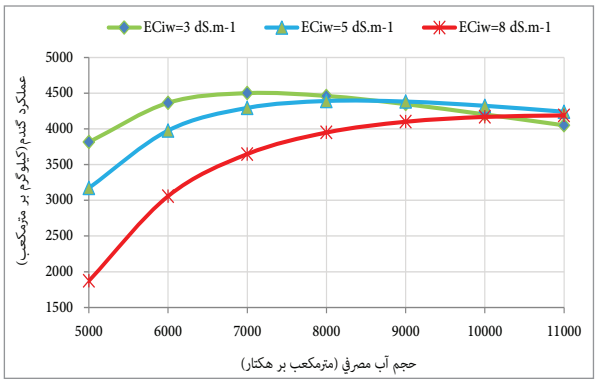
که در آن عملکرد (Yield) بر حسب کیلوگرم بر هکتار، شوری آب آبیاری (EC_{iw}) بر حسب دسی‌زیمنس بر متر و حجم آب کاربردی (V_{iw}) بر حسب مترمکعب بر هکتار است. ضرایب ثابت

این معادله حروف a تا f به‌ترتیب برابر با ۸۶۰/۵۳-، ۶۲۱/۴۷، ۶۴۴۰۵۰۷۵، ۲۲/۴۳-، $۱/۸۹\times۱۰^{۱۱}$-، ۳۸۱۷۳۸۵/۶- می‌باشند. برای ارزیابی این معادله از آماره‌های خطا استفاده شد و نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است. این آماره‌ها شامل میانگین خطای اریب (MBE)، ضریب همبستگی پیرسون (r) ضریب تبیین ($R^۲$)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، مقدار نسبی جذر میانگین مربعات خطا (RRMSE)، ضریب نش- ساتکلیف (NSE)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و میانگین قدرمطلق درصد خطا (MAPE) بودند. مقادیر MBE، RMSE و MAE بر حسب پارامتر مورد ارزیابی (عملکرد گندم) و مقادیر r، $R^۲$، RRMSE و MAPE به‌صورت درصد است. آماره MBE، در صورت بیش‌برآورد عملکرد گندم توسط معادله نسبت به عملکرد به‌دست آمده در مزرعه، این آماره مثبت (+) و در صورت کم برآوردی، این آماره منفی (-) خواهد بود. آماره همبستگی r بین ۱- تا ۱+ قرار داشته و هرچه به یکی از این دو عدد نزدیکتر باشد، معادله دقت بالاتری خواهد داشت. ضریب تبیین یا $R^۲$ که از مجذور r حاصل می‌شود، بین ۰ تا ۱ بوده و هرچه بزرگتر باشد، بیانگر همبستگی بالاتر معادله گفته شده است. آماره نش ساتکلیف (NSE) که بین منفی بینهایت تا یك می‌تواند قرار گیرد، هر چه به عدد یك نزدیکتر باشد بهتر بوده و معرف بالا بودن دقت عملکرد برآورد شده توسط معادله می‌باشد. چنانچه این عدد کمتر از ۰/۶۵ به‌دست آید، برای تخمین عملکرد گندم معادله دقت کافی نداشته و غیر قابل قبول محسوب می‌شود. چنانچه ضریب NSE بین ۰/۶۵ تا ۰/۸ باشد، دقت معادله قابل قبول بوده، چنانچه بین ۰/۸ تا ۰/۹ خوب و بالاتر از ۰/۹ عالی محسوب می‌شود. آماره‌های MAE و MAPE هر چه به صفر نزدیکتر باشند، به معنی بالاتر بودن دقت تخمین عملکرد گندم توسط معادله گفته شده خواهد بود. ضریب همبستگی (r) و ضریب تبیین ($R^۲$) این معادله به‌ترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۰/۶۷ است و انتظار می‌رود معادله گفته شده بتواند باتوجه‌به شوری آب آبیاری و حجم آب مصرفی، عملکرد محصول را با خطای RMSE تقریبی ۵۲۴± کیلوگرم بر هکتار برآورد نماید (جدول ۳).

جدول ۳- مشخصه های آماری نمودار سه‌بعدی شوری آب آبیاری (EC_{iw})، حجم آب مصرفی (V_{iw}) و عملکرد گندم (Yield) در منطقه یزد

ضریب همبستگی r	ضریب تبیین $R^۲$	جذر میانگین مربعات خطا RMSE	جذرمیانگین مربعات خطای نسبی RRMSE	میانگین خطای اریبی MBE	شاخص کارایی نش - ساتکلیف NSE	میانگین قدرمطلق درصد خطا MAPE	میانگین قدرمطلق خطا MAE
۰,۸۲۰	۰,۶۷۰	۵۲۴	۱۴,۲	۰,۱	۰,۶۷	۱۲,۴	۴۲۹,۶

رابطه (۱) اگرچه شوری خاك ناحیه ریشه (ECe) را به‌صورت مستقیم دخالت نمی‌دهد، اما هر دو پارامترهای شوری آب آبیاری (EC_{iw}) و حجم آب مصرفی (V_{iw}) را در نظر می‌گیرد و مساله توجه به شوری خاك را به شکلی دیگر، پوشش می‌دهد؛ زیراکه شوری خاك متاثر از شوری آب آبیاری (EC_{iw}) و حجم آب مصرفی و یا به‌عبارتی دقیق‌تر، کسر آبشویی (LF) است و بدون اطلاعات کافی در این زمینه (به‌ویژه در مورد کسر آبشویی)، امکان برآورد شوری خاك مزرعه وجود نخواهد داشت (Ayers و Westcot، ۱۹۸۹). همچنین، به نظر می‌رسد برآورد یا اندازه‌گیری پارامترهای حجم آب مصرفی و شوری آب آبیاری سهل‌الوصول‌تر و کم هزینه‌تر از پایش شوری خاك ناحیه ریشه در طول فصل رشد گیاه باشد و به همین دلیل، معادله گفته شده کاربردی‌تر خواهد بود. این معادله برای تخمین عملکرد مزرعه قبل از برداشت محصول، برآورد افت تولید در اثر افزایش شوری آب آبیاری، برآورد افت تولید در اثر کاهش حجم آب مصرفی، بررسی عملکرد و صرفه اقتصادی کاشت گندم در شرایط شور و یا برنامه‌ریزی و تأمین نیاز آبی مزرعه برای تولید مقدار مشخصی محصول کاربرد دارد. با کمك رابطه (۱)، امکان پیش‌بینی عملکرد گندم توسط پارامتر حجم آب مصرفی درهر یك سطوح شوری آب آبیاری (به‌عنوان‌مثال ۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر) به‌صورت مجزا وجود دارد که نتایج حاصل از این کار، در شکل (۳) نشان داده شده است. در واقع، این شکل نحوه استفاده از رابطه (۱) را برای شوری‌های ۳، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر آسان نموده است. ب‌عنوان‌مثال، در صورتی‌که شوری آب آبیاری ۵ دسی زیمنس بر متر و حجم آب مصرفی یك مزرعه گندم ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار باشد، عملکرد پیش‌بینی شده گندم توسط این معادله، نزدیک‌به ۳۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار خواهد بود. همچنین، در شرایط شوری آب آبیاری ۸ دسی زیمنس بر متر، برای اینکه میزان عملکرد مشابه با مزرعه قبلی (یعنی ۳۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار) تولید شود، نیاز به حجم تقریبی ۶۲۰۰ مترمکعب آب خواهد بود که در مقایسه با شرایط قبل، حدود ۲۴٪ بیشتر بوده و باید توسط بهره‌بردار تامین شود. در غیراین‌صورت (یعنی عدم تامین آب به میزان گفته شده)، مزرعه با افت قابل توجهی در تولید گندم مواجه خواهد شد؛ به‌طوری‌که پیش‌بینی عملکرد گندم در شرایط شوری آب آبیاری ۸ دسی زیمنس بر متر و حجم آب مصرفی ۵۰۰۰ مترمکعب بر هکتار، در حدود ۱۹۰۰ کیلوگرم بر هکتار خواهد بود.



شکل ۳- نمودارهای پیش‌بینی عملکرد گندم توسط پارامتر حجم آب مصرفی در سطوح مختلف شوری آب آبیاری (۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر) برای منطقه یزد

ذکر این نکته نیز ضروری است که پیش‌بینی عملکرد گندم توسط رابطه (۱) و یا شکل (۳) مربوط به گندم رقم نارین، برای منطقه یزد و با عملیات متداول زراعی انجام شده در سال‌های ۹۷-۱۳۹۶، ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ بوده است. در داده‌های مزرعه‌ای گفته شده، حدود بالا و پایین شوری آب آبیاری به‌ترتیب ۳ و ۸ دسی زیمنس بر متر و حدود بالا و پایین حجم آب مصرفی به‌ترتیب ۴۵۰۰ و ۱۱۶۰۰ مترمکعب بر هکتار بوده که منجر به عملکردهای ۱۵۰۰ تا ۵۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار شده است. همچنین، وضعیت این منطقه از نظر بارندگی (بویژه بارندگی‌های موثر در طول فصل رشد) مطلوب نبوده؛ به‌طوری‌که میانگین بارندگی درازمدت سالانه منطقه مطالعاتی در حدود ۶۹ میلیمتر گزارش شده است. بنابراین پیش‌بینی عملکرد گندم برای سایر ارقام و شرایط محیطی و یا برای مقادیر شوری و حجم آب مصرفی خارج از حدود گفته شده، می‌تواند از دقت پیش‌بینی‌ها بکاهد و یا نتایج به‌دست آمده را غیرمعتبر کند.

نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، مطالعه برهمکنش حجم آب مصرفی و شوری آب آبیاری برعملکرد گندم در منطقه یزد بوده است. این منطقه علاوه‌بر محدودیت شوری آب آبیاری، با خشکسالی و محدودیت کمّی منابع آب کشاورزی نیز مواجه است. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر افزایش تأثیرپذیری عملکرد گندم از میزان آب آبیاری در شرایط شور نسبت به شرایط غیرشور بود؛ به‌طوری‌که در اثر افزایش شوری آب آبیاری، همبستگی بین حجم آب مصرفی و عملکرد گندم افزایش یافته و عملکرد به میزان بیشتری تحت تأثیر حجم آب مصرفی قرار گرفته است. بنابراین، کشاورزان مناطق شور باید در مورد کفایت حقابه در اختیار خود برای تامین نیاز آبی مزرعه (اعم از نیاز گیاه و نیاز آبشویی) اطمینان داشته و برنامه‌ریزی‌های آبیاری را با دقت بیشتری نسبت به شرایط غیرشور انجام دهند و با بهبود مدیریت آبیاری، از افت عملکرد جدی گندم در شرایط شور جلوگیری کنند. در ادامه، معادله‌ای برای تخمین عملکرد گندم براساس شوری آب آبیاری و حجم آب مصرفی ارائه شد. معادله پارامتر شوری خاك ناحیه ریشه (ECe) را در برآورد عملکرد محصول به‌صورت مستقیم دخالت نمی‌دهد، اما آن را به شکلی دیگر و به‌صورت غیرمستقیم پوشش می‌دهد؛ زیرا که شوری خاك ناحیه ریشه متاثر از پارامترهای شوری آب آبیاری و حجم آب مصرفی (و به‌عبارتی دقیق‌تر، کسر آبشویی یا LF) بوده و این دو پارامتر، به‌صورت توام در معادله گنجانده شده‌اند. مهمترین کاربرد این معادله، پیش‌بینی عملکرد گندم براساس پارامترهای شوری آب آبیاری و حجم آب مصرفی است و می‌تواند در مواقعی مانند برآورد افت تولید گندم در اثر افزایش شوری آب آبیاری یا کاهش حجم آب مصرفی، بررسی صرفه اقتصادی کاشت گندم در شرایط شور، تخمین عملکرد مزرعه قبل از برداشت محصول و یا برنامه‌ریزی و تامین نیاز آبی مزرعه برای تولید مقدار مشخصی محصول استفاده شود و سوالات بهره‌برداران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی در این زمینه‌ها را پاسخ دهد.

پی‌نوشت‌ها

1-Yield Function
2-Inputs
3-Output
4-Leaching Requirement
5-Surface

منابع

احمدی، ک.، عبادزاده، ح.ر.، حاتمی، ف.، عبدشاه، ه. و کاظمیان، آ. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی (جلد ۱: محصولات زراعی). مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. معاونت برنامه ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی.

چراغی، س.ع.م. ۱۳۸۶. ارزیابی مدیریت‌های بهره‌برداری از منابع آب و خاك شور اراضی تحت کشت گندم مناطق مختلف کشور، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی.

حبیب‌زاده، ع.، عیوضی، ع.ر. و عبدی، س. ۱۳۹۹. ارزیابی مناطق مستعد کشت گندم آبی از نظر هزینه‌های اقتصادی و کاهش مصرف آب در شهرستان-های استان آذربایجان‌غربی. نشریه علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۱(۳):۲۲۰-۲۰۵

خزایی، ج. و هوشمند، م. ۱۳۹۳. کنترل ناپارامتریک غیرخطی شوک های بهره‌وری در برآورد تابع تولید کشاورزی استان‌های برگزیده ایران (مطالعه موردی: برآورد تابع تولید گندم آبی). نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۸(۳): ۲۵۹-۲۴۶

ذوالفقاران، ا.، قهرمان، ب.، حقایقی، ا. و جلینی، م. ۱۳۹۶. تأثیر آبیاری بارانی متعامد تحت شرایط کم‌آبی و شوری‌های متفاوت بر تولید گندم (دانه و کاه) جهت و برازش مناسب‌ترین تابع تولید بر آن. تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۱۱(۴): ۹۷۹-۹۷۱

رحیمیان، م.ح.، حاجی حسینی ع.، اسپرس، ر.، بیرامی، ح. ۱۳۹۶. تدوین سند بهره‌وری آب کشاورزی در استان یزد، گزارش علمی فنی به شماره ثبت ۵۳۲۹۸، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران، ص. ۱۲۹.

رحیمیان، م.ح.، دهقانی، ف. ۱۳۹۷. نگاه تحلیلی به کیفیت (شوری) منابع آب مورد استفاده در بخش کشاورزی، گزارش علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، (منتشر نشده).

زاهد م.، سلطانی ا.، زینلی ا.، ترابی ب.، زند ا.، عالیمقام س.م. ۱۳۹۸. مدل‌سازی پتانسیل عملکرد و خلاء عملکرد گندم آبی در ایران، تولید گیاهان زراعی (مجله الکترونیك تولید گیاهان زراعی)، ۱۲(۳): ۳۵-۵۲

سپاسخواه ع.ر.، توکلی ع.ر.، موسوی ف. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران، ایران.

کیانی، ع.ر.، میرلطفی، س.م.، همایی، م. و آبیار، ن.م. ۱۳۸۲. بررسی اقتصادی تولید گندم در شرایط شوری و کم آبی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۱(۴۴-۴۳): ۱۶۳-۱۷۸.

کیانی، ع.ر.، میرلطفی، س.م.، همایی، م. و چراغی، س.ع.م. ۱۳۸۴. تعیین بهترین تابع تولید آب-شوری گندم در منطقه شمال گرگان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۶(۲۵): ۱-۱۴.

مومنی، ع. ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاك ایران، مجله پژوهش‌های خاك، ۲۴(۳): ۲۰۳-۲۱۵.

Ayers R.S. and Westcot D.W. 1989. Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) irrigation and drainage paper No. 29 Rev.1, Rome, Italy.

Datta K.K. and Dayal B. 2000. Irrigation with poor quality water: An empirical study of input use economic loss and coping strategies. Indian Journal of Agricultural Economics, 55: 26-37.

Datta K.K., Sharma V.P. and Sharma D.P. 1998. Estimation of a production function for wheat under saline conditions. Agricultural Water Management, 36: 85- 94.

Doorenbos J. and Kassam A.H. 1979. Yield response to water. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Irrigation and drainage Paper No. 33, Rome, Italy.

Doorenbos J. and Pruitt W.O. 1977. Guidelines for prediction crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Irrigation and drainage Paper No. 24, Rome, Italy.

FAO. 2018. World Food and Agriculture – Statistical Pocketbook. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

Feddes R.A., Kowalik P.J. and Zaradny H. 1980. Simulation of field water use and crop yield. Pudoc (Centre for agricultural publishing and documentation), 143(2): 254-255.

Letey J. and Dinar A. 1986. Simulated crop production function for several crops when irrigated with saline waters. Hilgardia, 54:1-32.

Maas E.V. 1986. Salt tolerance of plants. Journal of Applied Agricultural Research, 1:12-26

Maas E.V. 1990. Crop salt tolerance. Agricultural Salinity Assessment and Management Monograph, 71: 262-304

Maas E.V. and Hoffman G.J. 1977. Crop salt tolerance - current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers, 103(IR2): 115-134.

Munns R. James R.A. 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat, Plant and Soil, 253:201-218.

Shroyer J.P., Whitney D. and Peterson D. 1997. Wheat Production Handbook. K-State Research & Extension, Manhattan, Kansas.

Van Genochten, M. Th. 1983. Analyzing crop salt tolerance data: Model description and user's manual. Research report No. 120. U. S. Salinity Lab. Reverside, C. A.

Vaux H. J. Jr. and Pruitt W. V. 1983. Crop-water production functions, In: Hillel, D. (Ed.). Advances in irrigation. Vol. 2. Academic Press Inc., NY.

2022, Vol.8, No.4, Pages 51 to 58
Journal of Water and Sustainable Development

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ٥١ تا ٥٨
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: **Applied Article**

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Investigation of Applied Water, Yield and Water efficiency of Potato Fields in the Conditions of Farmers in Razavi Khorasan Province

M. Joleini[1*], M. Karimi[2], J. Baghani[3]

1, 2- Associate professor and Assistant Professor, Khorasan Razavi Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Mashhad, Iran. 3- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, AREEO, Karaj, Iran.

*(Corresponding Author Email: m.jolaini@areeo.ac.ir)

Received: 26-08-2021 Revised: 07-11-2021
Accepted: 09-11-2021 Available Online: 19-03-2022

بررسی میزان آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب مزارع سیب‌زمینی در شرایط زارعین استان خراسان رضوی

محمد جلینی[1*]، محمد کریمی[2]، جواد باغانی[3]

۱ و۲- به‌ترتیب دانشیار و استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. ۳- استادیار، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: m.jolaini@areeo.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰٤ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۱٦
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

Abstract

Due to water shortage in the country, improving the irrigation management of potato fields can reduce water consumption and increase the efficiency of this important product. For this purpose, it is necessary to have sufficient and accurate information about the status of applied water and water efficiency in the conditions of farmers' management. Therefore, the amount of applied water, yield, and water efficiency in the conditions of farmers' management in two major potato production areas in Razavi Khorasan province were investigated. The two areas of Fariman and Torbat Heydariyeh with the highest area of cultivation and production of potatoes were selected as pilots cities. The method of irrigation in all fields was the drip method. In experimental farms, irrigation and agronomic characteristics, water source and irrigation network characteristics, required meteorological data, applied water volume, potato yield, and water efficiency in the crop year 2019 were measured. Also, the volume of water used by farmers was compared with the estimated irrigation needs based on meteorological data from 2019 and the last ten years calculated by the Penman-Monteith method. The amount of applied water based on meteorological data in 2019 was about 26% and to 10-year statistics was about 15% more. The results also showed that the volume of applied potato water in the studied farms varied from 9888 to 14573 m3/ha and its average was 11885 m^3/ha. Potato yield in selected fields varied from 28600 to 60000 kg/ha and the average was 40399 kg/ha. Water efficiency varied from 2.22 to 5.25 and the average was 3.42 kg/m^3.

Keywords: Potato, Applied Water, Yield, Water Efficiency, Razavi Khorasan Province.

چکیده

باتوجه‌به کمبود آب در کشور، بهبود مدیریت آبیاری مزارع سیب‌زمینی می‌تواند کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب این محصول مهم را به همراه داشته باشد. به این منظور، لازم است اطلاع کافی و دقیقی از وضعیت میزان آب کاربردی و بهره‌وری آب در شرایط مدیریت زارعین وجود داشته باشد. ازاین‌رو میزان آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب در شرایط مدیریت زارعین در دو منطقه عمده تولید سیب‌زمینی در استان خراسان رضوی بررسی شد. دو منطقه فریمان و تربت حیدریه با بیشترین سطح زیرکشت و تولید محصول سیب‌زمینی به‌عنوان شهرستان‌های پایلوت انتخاب شدند. روش آبیاری تمام مزارع، روش قطره‌ای (تیپ) بود. در مزارع آزمایشی، خصوصیات آبی و زراعی، مشخصات منبع آب و شبکه آبیاری، داده‌های هواشناسی مورد نیاز، حجم آب کاربردی، عملکرد سیب‌زمینی و بهره‌وری آب در سال زراعی ۱۳۹۸ اندازه‌گیری شد. همچنین حجم آب کاربردی توسط کشاورزان با نیاز آبیاری برآورد شده براساس داده‌های هواشناسی سال ۹۸ و ده ساله اخیر محاسبه شده به روش پنمن- مانتیث مقایسه شد. مقدار آب کاربردی بر اساس داده‌های هواشناسی سال ۹۸ حدود ۲۶ درصد و نسبت به آمار ۱۰ ساله حدود ۱۵ درصد بیشتر بود. نتایج همچنین نشان داد، حجم آب کاربردی سیب‌زمینی در مزارع مورد مطالعه از ۹۸۸۸ تا ۱۴۵۷۳ مترمکعب در هکتار متغیر و میانگین آن ۱۱۸۸۵ مترمکعب در هکتار بود. عملکرد سیب‌زمینی در مزارع منتخب از ۲۸۶۰۰ تا ۶۰۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار متغیر و میانگین آن ۴۰۳۹۹ کیلوگرم بر هکتار بود. بهره‌وری آب از ۲/۲۲ تا ۵/۲۵ متغیر و میانگین ۳/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، آب کاربردی، عملکرد، بهره‌وری آب، استان خراسان رضوی.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Joleini M., Karimi M., Baghani J. 2022. Investigation of Applied Water, Yield and Water efficiency of Potato Fields in the Conditions of Farmers in Razavi Khorasan Province. Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 51-58. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2108.1075

مقدمه

اهمیت محصول سیب‌زمینی با بهبود وضعیت اقتصادی و بهداشتی مردم کشورهای در حال توسعه همواره رابطه مستقیم و مثبت داشته‌است و ازاین‌رو از این گیاه می‌توان به‌عنوان غذای آینده کشورهای در حال توسعه نام برد. با این حال افزایش عملکرد سیب‌زمینی در واحد سطح در بسیاری از مناطق دنیا با عوامل محدودکننده‌ای از جمله آب مواجه است که شناخت آنها و بررسی روش‌های مدیریت محصول تحت تأثیر اینگونه عوامل، از ضروریات تولید سیب‌زمینی در چنین شرایطی محسوب می‌شود (حسن‌پناه و همکاران، ۱۳۹۷). از طرفی استان خراسان رضوی با کسری مخزن منابع آب زیرزمینی مواجه است. ازاین‌رو تلاش در جهت استفاده بهتر از آب‌های استحصالی و کاهش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، اجتناب‌ناپذیر است. مقدار آبی که توسط کشاورزان برای تولید محصولات کشاورزی در سطح کشور مصرف می‌شود، به عواملی مانند رقم، طول دوره رشد، مدیریت مزرعه، بافت خاک، کیفیت آب، ابعاد واحد آبیاری، اقلیم، سامانه آبیاری، نوع منبع آبی و ... بستگی دارد.

اکبری (۱۳۷۷) نشان داد روش آبیاری بارانی در مقایسه با روش شیاری عملکرد بالاتری دارد و علاوه بر آن بیش از ۳۵ درصد نسبت به آبیاری شیاری در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود. رضوانی و جعفری (۱۳۸۳) گزارش کردند در مزارع سیب‌مینی استان همدان، در روش آبیاری با نوارهای تیپ ۵۸۲۰ مترمکعب در هکتار و روش آبیاری بارانی کلاسیك ثابت ۶۹۷۲ مترمکعب در هکتار آب مصرف می‌شود. عملکرد سامانه آبیاری بارانی ویل‌موو ۴۸/۵ و سامانه قطره‌ای ۳۳/۵ تن در هکتار و میانگین بهره‌وری آب در روش‌های آبیاری ۶/۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است. احمدی عدلی (۱۳۸۵) در طول فصل رشد با ۹ آبیاری، میزان آب مصرفی سیب‌زمینی در منطقه اردبیل را ۴۵۶۰ متر مکعب در هکتار به‌دست آورد. قدمی فیروزآبادی و سیدان (۱۳۸۵) گزارش کردند متوسط بهره‌وری آب سیب‌زمینی در منطقه همدان ۲/۶ کیلوگرم بر مترمکعب است. بهراملو (۱۳۸۸) نتیجه گرفت عملکرد سیب‌زمینی برای ارقام آگریا، مارفونا و سانته در آبیاری بارانی با متوسط ۳۷ تن نسبت به روش آبیاری قطره‌ای با ۲۹ تن معنی‌داری بود، اما بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای با متوسط ۴/۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب بیشتر از روش آبیاری بارانی با متوسط ۴/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود. باغانی (۱۳۸۹) با اندازه‌گیری ۳۰ مزرعه سیب‌زمینی در دشت مشهد- چناران، میانگین آب داده شده در آبیاری سطحی و قطره‌ای به‌ترتیب ۱۴۹۵۵ و ۹۱۶۹ مترمکعب بر هکتار، عملکرد به‌ترتیب ۴۵۶۰۰ و ۵۷۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب به‌ترتیب ۳/۲۴ و ۶/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب را به‌دست آورد. جلینی و کاظمی (۱۳۹۰) در تحقیقی تأثیر دور آبیاری ۲، ۴ و ۶ روز به روش آبیاری قطره‌ای بعد از سبز شدن گیاه روی عملکرد و کارآیی مصرف آب ارقام آلمرا، آگریا، سانته و سینورا سیب‌زمینی بررسی کردند. نتایج نشان داد اثر دور آبیاری روی میزان عملکرد و کارآیی مصرف آب معنی‌دار نشد. حیدری (۱۳۹۰) در تحقیق خود مقدار بهره‌وری آب در محصولات عمده کشاورزی برای چند منطقه از کشور را بررسی کردند. طبق نتایج این تحقیق متوسط بهره‌وری آب سیب‌زمینی در مناطق کرمان، همدان، مغان، گلستان و خوزستان ۲/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب برآوردشد. سلیمانی‌پور و همکاران (۱۳۹۰) در اصفهان به این نتیجه رسیدند روش آبیاری بارانی نسبت به روش تیپ و روش تیپ نسبت به روش شیاری از لحاظ عملکرد برتری داشت. همچنین کشت یک ردیفه نسبت به کشت دو ردیفه عملکرد بیشتری داشت. بهراملو (۱۳۹۰) در روش آبیاری نشتی در همدان نتیجه گرفت در این روش آبیاری، متوسط عملکرد محصول ۲۵/۴ تن در هکتار و کارایی مصرف آب ۲/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب است. مولائی (۱۳۹۱) در اصفهان نتیجه گرفت بهره‌وری آب سیب‌زمینی برای ارقام بورن و ساتینا در آبیاری قطره‌ای نواری به‌ترتیب ۴/۰۲ و ۳/۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب و در آبیاری بارانی به‌ترتیب ۲/۱۹ و۲/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بهره‌وری‌آب در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری بارانی در رقم بورن و ساتینا به‌ترتیب ۸۳ و ۷۳ درصد بیشتر بود. قدمی فیروزآبادی و سیدان (۱۳۹۴) گزارش کردند مقدار بهره‌وری آب در روش سنتی و بارانی به‌ترتیب ۱/۲۳ و۴/۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شده است. مامن‌پوش و همکاران (۱۳۹۴) در مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان نتیجه گرفتند عملکرد سیب‌زمینی در تیمار ۱۰۰ درصد تامین نیاز آبی ۲۹/۹ تن در هکتار بود که با تیمار ۱۲۰ درصد تفاوت معنی‌دار نداشت. نادری و همکاران (۱۳۹۵) در شهرکرد نتیجه گرفتند کمترین و بیشترین عملکرد سیب‌زمینی در سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل به‌ترتیب برابر با ۱۳/۲ و ۴۵/۲ تن بر هکتار به‌دست آمد. جلینی و کریمی (۱۳۹۶) تأثیر دور آبیاری (۲ و ۴ روز) و درصد نیتروژن مصرفی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد توصیه کودی) را بر عملکرد و کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی رقم اکریا بررسی نمودند. عملکرد و بهره‌وری آب در دور آبیاری ۲ و ۴ روز به‌ترتیب برابر با ۲۹/۸ و ۲۷/۸ تن در هکتار و ۴/۰۱ و ۳/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. جلالی و همکاران (۱۳۹۶) نیاز آبی سیب‌زمینی را در سه اقلیم (خشک، سرد و گرم)، برآورد نمودند. بر اساس بررسی آنها، تفاوت آب مصرفی و بهره‌وری آب بین اقلیم‌های مختلف معنی‌دار بود. متوسط نیاز آبی خالص سیب‌زمینی در سه اقلیم به‌ترتیب برابر ۵۰۴۴، ۵۰۷۸ و ۵۷۰۳ مترمکعب بر هکتار برآورد شد. رضوانی و همکاران (۱۳۹۸) نتیجه گرفتند سامانه آبیاری قطره‌ای باعث بهتر سبز شدن بوته‌های سیب‌زمینی شد. بهره‌وری آب تحت سامانه آبیاری قطره‌ای حدود ۳۵ درصد بیشتر از سامانه آبیاری بارانی بود. شاهرخ‌نیا و باغانی (۱۴۰۰) تحقیقی در ۱۵ مزرعه سیب‌زمینی در سه شهرستان آباده، اقلید و خرمبید استان فارس تحت مدیریت زارعین انجام دادند. متوسط مقدار آب کاربردی در مزارع سیب زمینی معادل ۹۴۲۰ مترمکعب در هکتار بدست آمد که ۳۳۵۰ مترمکعب از میانگین نیاز آبی ناخالص

کمتر بود. عملکرد و بهره‌وری آب نیز به‌ترتیب ۴۳/۴ تن در هکتار و ۴/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد.

Shock و همکاران (۱۹۹۳) نتیجه گرفتند سیب‌زمینی در برخی از مراحل رشد به‌خصوص قبل از تشکیل غده‌ها نسبت به تنش آبی تا حدی مقاوم است و اعمال تنش آبی یا کم‌آبیاری در این مرحله از رشد ضمن افزایش بهره‌وری آب، تأثیر اندکی در کاهش عملکرد دارد. Yuan و همکاران (۲۰۰۳) تأثیر سطوح آب برابر با ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد تبخیر از طشتک تبخیر کلاس A در روش آبیاری قطره‌ای را برای سیب‌زمینی بررسی نمودند. نتایج نشان داد با افزایش میزان آب مصرفی محصول بازارپسند (وزن غده بیشتر از ۸۰ گرم) افزایش ولی وزن خشك محصول و کیفیت غده‌ها کاهش یافت. Onder و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی سطوح مختلف آبیاری در دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی روی سیب‌زمینی گزارش کردند اثر متقابل روش و سطوح آبیاری بر عملکرد گیاه معنی‌دار بود. Montazar و Kosari (۲۰۰۷) مقادیر بهره‌وری مصرف آب ۱۰ محصول زراعی را با استفاده از نتایج ۶۷ طرح تحقیقاتی انجام‌شده طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۶ در ایستگاه‌های تحقیقاتی ۱۳ استان کشور تعیین نمودند. میانگین بهره‌وری آب سیب‌زمینی۲/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. Bahramloo و Nasseri (۲۰۰۹) با بررسی تعداد بهینه آبیاری رقم آگریا در آبیاری سطحی در همدان، نتیجه‌گیری نمودند عملکرد این محصول با ۱۶ و ۱۸ نوبت آبیاری به‌ترتیب ۲۸/۵ و ۲۴/۶ تن در هکتار و بهره‌وری آب به‌ترتیب ۲/۳۶ و ۱/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود. Matovic و همکاران (۲۰۱۶) دو نوع سامانه آبیاری بارانی و قطره‌ای زیرسطحی را برای سیب‌زمینی در صربستان بررسی کردند و سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را مناسبتر دانستند. Tang و همکاران (۲۰۱۸) اثر زمان کاشت و برنامه آبیاری را در افزایش بهره‌وری آب سیب‌زمینی در شمال چین بسیار موثر و حدود ۷۰ درصد دانستند.

با بررسی منابع مشخص شد میزان آب کاربردی سیب‌زمینی در مناطق مختلف و با سامانه‌های آبیاری گوناگون متغیر می‌باشد. ازاین‌رو اطلاع از وضعیت مصرف و بهره‌وری آب مزارع سیب‌زمینی می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران استانی و کشوری کمک نماید تا بتوانند به‌طور موثرتری هم تولید را افزایش داده و هم در مصرف آب صرفه‌جویی نمایند. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی وضعیت مزارع سیب‌زمینی استان خراسان رضوی از لحاظ حجم آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب و عوامل تأثیرگذار بر آنها در شرایط زارعین بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت میدانی و به‌منظور تعیین آب کاربردی سیب‌زمینی در مزارع تحت مدیریت کشاورزان طی فصل زراعی ۱۳۹۸ اجرا شد. کل سطح زیرکشت و عملکرد در واحد سطح سیب‌زمینی در استان خراسان رضوی به‌ترتیب ۴۹۷۹ هکتار و ۳۲۷۷۱ کیلوگرم در هکتار بود (احمدی و همکارن، ۱۳۹۹). در این استان دو شهرستان فریمان و تربت حیدریه که بیشترین سطح زیرکشت سیب‌زمینی را داشتند، انتخاب شد. سطح زیر کشت و عملکرد سیب‌زمینی در واحد سطح در منطقه فریمان به‌ترتیب ۷۶۵ هکتار و ۳۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و در منطقه تربت حیدریه به‌ترتیب ۲۲۴۵ هکتار و ۲۹۲۶۱ کیلوگرم در هکتار بود (سالنامه آماری بخش کشاورزی استان خراسان رضوی، ۱۳۹۸). تعداد مزارع انتخابی در دشت فریمان ۱۲ و در دشت تربت حیدریه ۱۰ مزرعه و روش آبیاری در مزارع قطره ای (نوار تیپ) بود. مزارع با کمک کارشناسان معاونت تولیدات گیاهی و مدیریت آب و خاک سازمان جهادکشاورزی استان شناسایی و انتخاب شدند. مزارع طوری انتخاب شدند که عوامل مختلف از جمله مساحت مزرعه، بافت خاک، نوع مالکیت، کیفیت آب آبیاری و سطح زیر کاشت سیب‌زمینی را پوشش دهند. مدیریت آبیاری بدون هیچ دخالتی، توسط بهره‌بردار صورت گرفت و بر همین اساس پارامترهای مختلف مزرعه‌ای شامل موقعیت جغرافیایی، دبی آب ورودی به مزرعه، منبع آب آبیاری (سطحی، زیرزمینی)، تاریخ کاشت، نوع رقم، سطح زیرکشت، تعداد دفعات آبیاری، شوری آب و خاک، تاریخ برداشت، طول دوره رشد و عملکرد محصول اندازه‌گیری و در فرم مربوط به ثبت اطلاعات درج شد.

میزان آب کاربردی در مزارع، از طریق مراجعه حضوری و با اندازه‌گیری دبی آب به‌صورت حجمی تعیین شد. اندازه‌گیری دبی خروجی از روزنه‌ها با روش حجمی برای کنترل میزان آب کاربردی در هر بار آبیاری اندازه‌گیری شد. پس از تعیین دبی آب در مزارع، بر اساس تعداد ساعت آبیاری، حجم آب کاربردی در هر نوبت آبیاری اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد با ضرب تعداد نوبت‌های آبیاری در حجم آب داده شده در هر بار آبیاری، عمق و حجم کل آب کاربردی سیب‌زمینی در مزارع منتخب تعیین شد. اطلاعات هواشناسی روزانه مورد نیاز برای برآورد نیازآبی به روش پنمن-مانتیث از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مناطق اخذ گردید. تبخیر-تعرق گیاه مرجع از روش پنمن-مانتیث، با استفاده از داده‌های هواشناسی (شامل متوسط روزانه درجه حرارت حداکثر و حداقل هوا، درصد رطوبت نسبی حداکثر و حداقل هوا، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب متر بر ثانیه و تعداد ساعات آفتابی در شبانه روز) سال انجام تحقیق (۱۳۹۸) و ۱۰ سال منتهی به زمان انجام پژوهش با استفاده از نرم افزار ETo-Calculator برآورد شد (Raes، ۲۰۱۲). سپس با ضرب تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ضریب گیاهی سیب‌زمینی، تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه سیب‌زمینی به‌دست آمد. مقادیر ضریب گیاهی برای هر مرحله رشد بر اساس تلفیق یافته‌های پژوهشی در منطقه و اعداد پیشنهادی نشریه فائو ۵۶ انتخاب شد (Allen و همکاران، ۱۹۹۸). میانگین برخی پارامترهای هواشناسی در طول دوره رشد سیب‌زمینی در مناطق بررسی در جدول (۱) آورده شده است. مشاهده می‌شود

که درجه حرات حداکثر، حداقل، سرعت باد و ساعات آفتابی در سال ۱۳۹۸ از میانگین داده‌های ۱۰ ساله کمتر ولی رطوبت نسبی حداکثر و حداقل در سال ۹۸ نسبت به میانگین ۱۰ ساله بیشتر می‌باشد.

براساس نشریه شماره ۲۹ فائو، نیاز آب آبشویی در روش آبیاری و قطره‌ای از رابطه (۱) برآورد شد (Ayers و Westcot، ۱۹۹۴).

$$LR=ECw/2MaxECe \quad (۱)$$

که در آن، ECw هدایت الکتریکی آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر)، ECe آستانه تحمل ۱۰ درصد کاهش محصول (۱/۷ دسی زیمنس بر متر) و MaxECe شوری با عملکرد صفر (برابر ۱۰/۰ دسی‌زیمنس بر متر) است. شاخص بهره‌وری آب از نسبت مقدار عملکرد سیب‌زمینی (کیلوگرم در هکتار) به حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) به‌دست آمد (Molden و همکاران، ۱۹۹۸). به‌عبارت‌دیگر شاخص بهره‌وری آب در تولید سیب‌زمینی از رابطه (۲) به‌دست آمد.

$$WP=CY/CW \quad (۲)$$

که در آن، WP بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی در طول فصل)، CY عملکرد سیب‌زمینی (کیلوگرم در هکتار) و CW حجم آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) بود. در پایان فصل عملکرد سطح زراعی در هر یک از مزارع انتخابی اندازه‌گیری شد و باتوجه‌به میزان آب کاربردی اندازه‌گیری شده، بهره‌وری آب در هر یك از مزرعه‌های انتخابی در دشت‌های مورد مطالعه تعیین شد.

نتایج و بحث

مشخصات کلی مزارع و پارامترهای اولیه اندازه‌گیری و محاسبه شده در دو دشت و کل مزارع در جدول (۲) آورده شده است. حداقل، حداکثر و میانگین میزان دبی در کل مزارع انتخابی به‌ترتیب برابر با ۲۵، ۷۵ و ۳۴/۷ لیتر در ثانیه، میزان شوری آب آبیاری حداقل ۰/۵۰ دسی‌زیمنس بر متر و حداکثر ۲/۱۰ با میانگین ۰/۹۷ دسی‌زیمنس بر متر بود. باتوجه‌به شوری آب آبیاری و شوری عصاره اشباع خاک، درصد ضریب آبشویی بین ۲/۵ تا ۱۰/۵ درصد و میانگین آن برابر با ۴/۹ درصد به‌دست آمد. حداقل، حداکثر و میانگین سطح زیرکشت محصول سیب‌زمینی به‌ترتیب برابر با ۲/۵، ۷۸/۰ و ۲۴/۸ هکتار و رقم مورد کشت در مزارع اگریا و فونتانا بود. طول دوره رشد در مزارع انتخابی بین ۹۴ تا ۱۴۲ با میانگین ۱۱۹ روز و میانگین عمق آب در هر بار آبیاری بین ۳۴/۲ تا ۷۷/۸ با میانگین ۴۸/۳ میلی‌متر بود. تعداد کل نوبت‌های آبیاری نیز بین ۱۶ تا ۳۵ با میانگین ۲۴ بار متغیر بود. نوع منبع آب در تمام مزارع چاه عمیق و شبکه آبیاری مدرن و بافت خاک نیز از شن لومی تا لوم رسی متغیر بود. تاریخ کاشت از ۱۳۹۸/۰۲/۱۵ تا ۱۳۹۸/۰۴/۱۰ و تاریخ برداشت از ۱۳۹۸/۰۶/۱۰ تا ۱۳۹۸/۰۷/۱۵ متغیر بود.

جدول ۱- میانگین برخی پارامترهای هواشناسی در طول دوره رشد سیب‌زمینی در مناطق مورد بررسی

منطقه	زمان	دمای حداکثر (سانتی‌گراد)	دمای حداقل (سانتی‌گراد)	رطوبت نسبی حداکثر (درصد)	رطوبت نسبی حداقل (درصد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	ساعات آفتابی (ساعت در روز)
فریمان	سال ۹۸	۲۳/۹	۹/۲	۵۶/۶	۳۳/۹	۲/۵	۹/۵
	متوسط ۱۰ ساله	۲۷/۷	۱۲/۸	۴۳/۰	۲۶/۲	۳/۶	۱۰/۰
تربت حیدریه	سال ۹۸	۲۶/۶	۱۲/۹	۴۴/۹	۲۵/۹	۳/۲	۱۰/۰
	متوسط ۱۰ ساله	۲۸/۰	۱۳/۸	۴۶/۷	۲۳/۱	۴/۷	۱۱/۸

جدول ۲- تغییرات داده‌های اولیه و پایه در مزارع مناطق منتخب استان خراسان رضوی

منطقه	پارامتر	دبی (لیتر بر ثانیه)	شوری آب (دسی زیمنس بر متر)	شوری خاک (دسی زیمنس بر متر)	درصد آبشویی (درصد)	سطح زیرکشت سیب‌زمینی (هکتار)	طول دوره رشد (روز)	متوسط عمق هر آبیاری (میلیمتر)	تعداد نوبت آبیاری (عدد)
فریمان	حداقل	۲۵/۰	۰/۶۰	۳/۰	۱/۰	۲/۵	۱۱۰	۳۶/۰	۱۸
	حداکثر	۴۰/۰	۱/۸۰	۹/۰	۲۲/۰	۴۸/۰	۱۳۹	۵۸/۳	۳۵
	میانگین	۳۰/۳	۰/۹۱	۴/۶	۵/۰	۲۰/۶	۱۲۰	۴۸/۵	۲۳
تربت حیدریه	حداقل	۲۶/۰	۰/۵۰	۰/۷۵	۲/۵	۲/۵	۹۴	۳۴/۲	۱۶
	حداکثر	۷۵/۰	۲/۱۰	۳/۱۵	۱۰/۵	۷۸/۰	۱۴۲	۷۷/۸	۳۰
	میانگین	۴۰/۳	۱/۰۴	۱/۵۷	۵/۲	۲۹/۹	۱۱۸	۴۸/۱	۲۵
کل مزارع	حداقل	۲۵/۰	۰/۵۰	۰/۷۵	۲/۵	۲/۵	۹۴	۳۴/۲	۱۶
	حداکثر	۷۵/۰	۲/۱۰	۳/۱۵	۱۰/۵	۷۸/۰	۱۴۲	۷۷/۸	۳۵
	میانگین	۳۴/۷	۰/۹۷	۱/۴۶	۴/۹	۲۴/۸	۱۱۹	۴۸/۳	۲۴

• مقایسه عمق آب داده شده به مزارع با نیاز آبیاری برآورد شده

برای مقایسه میزان آب داده شده توسط کشاورزان با نیاز آبیاری در مزارع منتخب، ابتدا از تقسیم نیاز آبی سیب‌زمینی بر راندمان آبیاری در هر کدام از مزارع، میزان نیاز آبیاری محاسبه شد. باتوجه‌به نظر کارشناسان و شیوه آبیاری در مزارع مورد مطالعه، پتانسیل راندمان آبیاری برای روش قطره‌ای ۹۰ درصد در نظر گرفته شد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). در جدول (۳) متوسط عمق آب داده شده به مزارع سیب‌زمینی در مناطق مختلف اجرا با مقادیر نیاز ناخالص آبیاری سیب‌زمینی برآورد شده به سه روش سند ملی، داده‌های هواشناسی سال ۹۸ و داده‌های هواشناسی ۱۰ ساله منتهی به سال ۹۸ مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول ۳- مقایسه میانگین عمق آب داده شده و آب آبیاری برآورد شده

منطقه	پارامتر	عمق آب داده شده (میلی‌متر)	نیاز ناخالص آبیاری محاسبه شده (میلی‌متر) بر اساس		
			سند ملی	داده‌های هواشناسی سال ۹۸	داده‌های هواشناسی ۱۰ ساله اخیر
فریمان	حداقل	۱۴۰۲	۱۱۸۳	۷۵۷	۹۳۶
	حداکثر	۱۰۰۳	۱۱۸۳	۹۲۹	۱۱۸۳
	میانگین	۱۱۵۰	۱۱۸۳	۸۱۸	۱۰۲۱
تربت حیدریه	حداقل	۹۸۸	۱۱۸۹	۷۳۲	۷۷۳
	حداکثر	۱۴۵۳	۱۱۸۹	۱۱۰۹	۱۱۹۰
	میانگین	۱۲۳۵	۱۱۸۹	۹۴۳	۱۰۰۰
کل مزارع	حداقل	۹۸۸	۱۱۸۳	۷۳۳	۷۷۳
	حداکثر	۱۴۵۳	۱۱۸۹	۱۱۰۹	۱۱۹۰
	میانگین	۱۱۸۸	۱۱۸۶	۸۷۵	۱۰۱۱

متوسط عمق آب داده شده برابر با ۱۱۸۸ میلی‌متر بود در صورتی‌که مقدار برآورد شده نیاز ناخالص آبیاری به سه روش سند ملی، داده‌های هواشناسی سال ۹۸ و میانگین داده‌های هواشناسی ۱۰ ساله به‌ترتیب ۱۱۸۶، ۸۷۵ و ۱۰۱۱ میلی‌متر به‌دست آمد. نتایج نشان داد میانگین مقدار آب داده شده توسط کشاورزان برابر با مقدار برآورد شده مطابق با سند ملی بود ولی در مقایسه با مقدار محاسبه شده بر اساس داده‌های هواشناسی ۹۸ حدود ۲۶ درصد و نسبت به آمار ۱۰ ساله حدود ۱۵ درصد بیشتر آب داده بودند. دلیل کاهش نیاز آبیاری سند ملی با مقادیر محاسبه شده با داده‌های هواشناسی سال ۹۸ و متوسط ۱۰ ساله شاید این باشد که زمان کاشت و برداشتی که مبنای محاسبات و برآوردهای نیاز آبی در سند ملی آب در نظر گرفته شده است (طول دوره رشد) با واقعیت مناطق منطبق نیست. طول دوره رشد واقعی سیب‌زمینی در اکثر مزارع منتخب، کمتر از طول دوره رشد سیب‌زمینی در سندملی برای همان مزارع بود. در سند ملی طول دوره رشد سیب‌زمینی ثابت و برابر با ۱۸۶ روز در نظر گرفته شده است در صورتی‌که متوسط طول دوره رشد در مزارع منتخب ۱۱۹ روز (جدول ۲) بود. ضمن این که سال ۹۸ (سال اجرای تحقیق) میزان متوسط داده‌های هواشناسی طوری بوده است که سبب کاهش تبخیر و تعرق شده است (جدول ۱). هدف از اجرای آبیاری قطره‌ای مصرف آب کمتر بوده است، اما کشاورزان مدیریت خوب و قابل قبولی نداشته‌اند، که این امر جای تأمل دارد و لازم است به کشاورزان در این زمینه آموزش لازم داده شود.

• دامنه تغییرات حجم آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب سیب‌زمینی

دامنه تغییرات حجم آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب سیب‌زمینی در مزارع منتخب در جدول (۴) ارائه شده است. تغییرات میزان آب کاربردی از ۹۸۸۸ تا ۱۴۵۷۳ مترمکعب در هکتار متغیر و متوسط حجم آب کاربردی در کل مزارع ۱۱۸۸۵ مترمکعب در هکتار بود. دلیل تفاوت حجم آب کاربردی در مزارع منتخب می‌تواند این باشد که مزارع آزمایشی طوری انتخاب شدند که عوامل مختلف از جمله بافت خاک، نوع مالکیت و حقابه کشاورز، شوری آب و خاک، تاریخ کاشت، نوع رقم، تعداد دفعات آبیاری، تاریخ برداشت، طول دوره رشد و ... متغیر باشد، ضمن این که مدیریت آبیاری کشاورزان در هر مزرعه با مزرعه دیگر تفاوت داشته است. هدف از اجرای تحقیق نیز تعیین میزان آب کاربردی تحت مدیریت زارعین بوده‌است. همانطورکه در جدول (۴) مشاهده می‌شود از نظر ریاضی و یا آماری رابطه مشخص و مناسبی بین حجم آب کاربردی و عملکرد در مزارع منتخب وجود ندارد. به‌طوری‌که در بسیاری از موارد عملکرد مزرعه‌ایی با حجم آب کاربردی بیشتر، کمتر از مزرعه دیگر با حجم آب کاربردی کمتربود. همچنین در موارد دیگری عملکرد زیاد مزرعه با حجم آب کاربردی زیادتر همراه است. دلیل آن این است که شرایط و ویژگی‌های اقلیمی، آب و خاک و مدیریت مزارع منتخب بسیار متفاوت بوده و عملکردها علاوه‌بر آب متأثر از سایر عوامل موثر نیز می‌باشند. به‌عنوان‌مثال در مزارعی که حجم آب کاربردی کمتر ولی سایر شرایط مدیریتی و فنی مزرعه بهتر بوده است، عملکرد بیشتری داشت. باغانی (۱۳۸۹) میانگین آب داده شده به مزارع سیب‌زمینی در دشت‌های مشهد-چناران و فریمان با روش شیاری ۱۴۹۵۵ مترمکعب بر هکتار و روش قطره‌ای ۹۶۵۴ مترمکعب در هکتار اعلام کرده است. این مقدار تفاوت را می‌توان به تغییر روش آبیاری و افزایش مهارت کشاورزان در استفاده بهتر از آب مرتبط دانست. همچنین رضوانی و جعفری (۱۳۸۳) میزان آب کاربردی سیب‌زمینی در روش آبیاری قطره‌ای در

دشت همدان را ۵۸۲۰ مترمکعب در هکتار به‌دست آورد. احمدی عدلی (۱۳۸۵) در طول فصل رشد با ۹ آبیاری ، میزان آب مصرفی سیب‌زمینی در منطقه اردبیل را ۴۵۶۰ متر مکعب در هکتار به‌دست آورد. این نتایج نشان می‌دهد علاوه‌بر تغییر روش آبیاری، مدیریت آبیاری زارعین، شرایط اقلیمی و هواشناسی، شرایط آب و خاک و ... نیز بر میزان آب مورد نیاز سیب‌زمینی اثر دارد.

جدول ۴- دامنه تغییرات حجم آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع منتخب

منطقه	پارامتر	آب کاربردی (مترمکعب بر هکتار)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب آب)
فریمان	حداقل	۱۴۰۱۸	۳۵۰۰۰	۳/۱۰
	حداکثر	۱۰۰۳۱	۶۰۰۰۰	۵/۲۵
	میانگین	۱۱۴۹۶	۴۲۵۷۷	۳/۷۱
تربت حیدریه	حداقل	۹۸۸۸	۲۸۶۰۰	۲/۳۳
	حداکثر	۱۴۵۷۳	۴۵۵۰۰	۳/۸۶
	میانگین	۱۲۳۵۲	۳۷۷۸۵	۳/۱۰
کل مزارع	حداقل	۹۸۸۸	۲۸۶۰۰	۲/۲۲
	حداکثر	۱۴۵۷۳	۶۰۰۰۰	۵/۲۵
	میانگین	۱۱۸۸۵	۴۰۳۹۹	۳/۴۲

دامنه تغییرات مقادیر عملکرد در مزارع انتخابی بین ۲۸۶۰۰ تا ۶۰۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار متغیر بود. میانگین عملکرد در مزارع برابر ۴۰۳۹۹ کیلوگرم بر هکتار بود (جدول ۴). متوسط عملکرد سیب‌زمینی در استان خراسان رضوی در سال ۹۸ برابر با ۳۲۷۷۱ کیلوگرم در هکتار بوده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹)، به‌عبارتی میانگین عملکرد در مزارع منتخب ۷۶۲۸ کیلوگرم در هکتار (حدود ۱۹ درصد) بیشتر به‌دست آمده است. دلیل اصلی این افزایش عملکرد می‌تواند این باشد که معمولا عملکرد در روش آبیاری قطره‌ای بیشتر از روش‌های دیگر آبیاری می‌باشد. روش آبیاری در تمام مزارع منتخب، آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) بوده است درصورتی که میانگین عملکرد استانی حاصل عملکرد سیب‌زمینی تحت روش‌های مختلف آبیاری می‌باشد. از طرفی مهمترین مانع در فرآیند تولید محصولات کشاورزی اقلیم خشک و نیمه‌خشک محدودیت منابع آبی است. سیب‌زمینی به دلیل داشتن ظرفیت درخور توجه تولید در واحد سطح، نیاز آبی نسبتا بالایی دارد. باتوجه‌به نوع رقم، نوع سامانه آبیاری، مدیریت آبیاری، کمیت و کیفیت منابع آبی و ... عواملی مانند تامین نیاز آبی نقش بسیار مهمی در عملکرد سیب‌زمینی دارد. بااین‌وجود اگر چه آب به‌عنوان مهمترین نهاده تولید نقش اساسی در کاهش و یا افزایش عملکرد داشته است، اما عوامل دیگر مانند عوامل زراعی و اقلیمی و سایر نهاده‌های مورد استفاده کشاورز که در مزارع منتخب متفاوت بوده است، سبب اختلاف میزان عملکرد در مزارع شده است. به‌عبارتی علت تفاوت عملکرد در مزارع می‌تواند به دلیل اختلاف در مهارت کشاورزان در داشت و استفاده از نهاده‌های مرتبط به‌غیر از آب نیز باشد. احمدی عدلی (۱۳۸۵) میانگین عملکرد سیب‌زمینی در روش آبیاری سطحی در اردبیل را ۴۳۰۰۶ کیلوگرم در هکتار و بهراملو (۱۳۸۸) عملکرد را در دو روش بارانی و قطره‌ای به‌ترتیب ۳۷۰۰۰ و ۲۹۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش نمودند. باغانی (۱۳۸۹) میانگین عملکرد در روش آبیاری سطحی در دشت چنارن و فریمان را ۴۵۶۰۰ و در روش آبیاری قطره‌ای ۵۷۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش کرد. می‌توان دلیل تفاوت عملکرد را به تغییر روش آبیاری، اقلیم منطقه و سال اجرای تحقیق مرتبط دانست.

پس از تعیین میزان حجم آب کاربردی و عملکرد محصول سیب‌زمینی در هریک از مزارع مورد بررسی، بهره‌وری آب برای هر مزرعه، از تقسیم عملکرد بر حجم آب کاربردی محاسبه شد. دامنه تغییرات بهره‌وری آب در مزارع انتخابی بین ۲/۳۰ تا ۵/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود. متوسط بهره‌وری آب در مزارع برابر ۴/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب به‌دست آمد. دلیل اصلی این تفاوت به متغیر بودن عملکرد محصول و حجم آب کاربردی در مزارع منتخب مربوط می‌شود. به‌عبارتی همان عواملی که سبب تغییرات در حجم آب کاربردی و عملکرد در مزارع منتخب شده است، روی میزان بهره‌وری آب اثر گذاشته است. به‌طور کلی بهبود بهره‌وری آب در سطح مزرعه نیازمند تطابق و هماهنگی بهتر استفاده از آب بر حسب نیاز محصولات در زمان و مقدار استفاده از آن است که سرانجام سبب بهبود عملکرد محصول و همچنین مقدار آب مصرف شده در سطح مزرعه می‌شود. این عمل با بهره‌گیری از فناوری نوین و به کار بستن روش‌های بهتر مدیریتی انجام می‌شود. قدمی فیروزآبادی و سیدان (۱۳۸۵) متوسط بهروری آب سیب‌زمینی در دشت همدان را ۲/۶ کیلوگرم بر مترمکعب و حیدری (۱۳۹۰) این شاخص را در کل کشور برای محصول سیب‌زمینی ۲/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب و مولایی (۱۳۹۱) در استان اصفهان ۳/۹۷ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. باغانی (۱۳۸۹) در دشت مشهد-چنارن و فریمان متوسط بهره‌وری آب سیب‌زمینی در دو روش سطحی و قطره‌ای را به‌ترتیب ۳/۲۴ و ۶/۲۶ کیلوگرم در هکتار گزارش کرد. دلیل تفاوت میزان بهره‌وری آب در تحقیقات انجام شده، تفاوت در میزان عملکرد و آب کاربردی می‌باشد که این تفاوت‌ها به سال اجرای تحقیق و نیز اقلیم مناطق مختلف ارتباط دارد.

به‌منظور بررسی دقیق‌تر تفاوت بین پارامترهای حجم آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب در دو منطقه از آزمون تی استفاده شد که نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین مقادیر آب کاربردی و عملکرد در دو دشت مورد بررسی وجود نداشت ولی تفاوت میانگین بهره‌وری آب در سطح ۵ درصد معنی دار بود.

جدول ۵- نتایج بررسی آماری آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب توسط آزمون t بین دو منطقه

پارامتر	تفاوت میانگین	t بحرانی	مقدار t	سطح معنی‌داری
عملکرد	۸۵۶	۲/۱۷	۱/۶۱	۰/۸۸
آب کاربردی	۴۷۹۲	۲/۱۷	۱/۶۶	۰/۸۹
بهره‌وری آب	۰/۶۳	۲/۱۷	۲/۶۶	۰/۹۸*

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در استان خراسان رضوی منابع آب زیرزمینی با کسری مخزن مواجه است. ازاین‌رو تلاش در جهت استفاده بهتر از آب‌های استحصالی و کاهش بهره برداری از منابع آب زیرزمینی، اجتناب ناپذیر است. در این پروژه، آب داده‌شده توسط کشاورزان برای تولید سیب‌زمینی در طول یک‌فصل زراعی و بدون دخالت کارشناس در مدیریت آبیاری، در دو دشت فریمان و تربت حیدریه که بیشترین سطح زیرکشت سیب‌زمینی را در سطح استان خراسان رضوی داشتند، اندازه‌گیری شد. روش آبیاری تمام مزارع، روش آبیاری قطره‌ای (تیپ) بود. نتایج نشان داد عمق آب داده شده توسط کشاورزان برابر با ۱۱۸۸ میلی‌متر بود که در مقایسه با نیاز آبی ناخالص برآورد شده بر اساس سند ملی (۱۱۸۶ میلی‌متر) تقریبا مساوی، ولی بر اساس داده‌های هواشناسی سال ۱۳۹۸ (۸۷۵ میلی‌متر) ۲۶ درصد و داده‌های هواشناسی ۱۰ ساله (۱۰۱۱ میلی‌متر) ۱۵ درصد بیشتر آب داده شده است. دلیل تفاوت میزان نیاز آبی سند ملی با مقادیر محاسبه شده با داده‌های هواشناسی می‌تواند به این دلیل باشد که زمان کاشت، برداشت و طول دوره رشد در سند ملی آب با واقعیت مزارع منطبق نیست. میانگین آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع سیب‌زمینی مورد بررسی به‌ترتیب ۱۱۸۸۵ مترمکعب در هکتار، ۴۰۳۹۹ کیلوگرم در هکتار و ۳/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب بود. باتوجه‌به اینکه تمام مزارع منتخب این تحقیق، روش آبیاری قطره‌ای تیپ بوده است و کشاورزان بیشتر از نیاز گیاه سیب‌زمینی به مزارع آب داده‌اند، لازم است آموزش مدیریت و بهره‌بردای از سامانه آبیاری قطره‌ای برای کشاورزان گفته شده در اولویت قرار گیرد. همچنین نظر به این که زمان کاشت، برداشت و طول دوره رشد مناطق مورد بررسی در سند ملی آب با واقعیت مناطق منطبق نیست، ضروری است در بازنگری سندملی آب کشور، زمان کاشت، برداشت و طول دوره رشد مناطق مختلف با واقعیت مناطق منطبق شود.

منابع

احمدی عدلی، ر. ۱۳۸۵. تعیین دور و میزان آب مصرفی زراعت سیب‌زمینی در منطقه اردبیل، نشریه دانش کشاورزی. ۱۶(۱): ۲۳۵-۲۴۴.

احمدی، ک.، عبادزاده، ح. ر.، حاتمی، ف.، حسین‌پور، ر،عبدشاه، ه و کاظمیان، ا. ۱۳۹۹. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، جلد اول: محصولات زراعی.

اکبری، م. ۱۳۷۷. مقایسه روش‌های آبیاری بارانی و سطحی (شیاری) روی عوامل کمی و کیفی سیب‌زمینی. گزارش نهایی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. نشریه شماره ۱۲۱.

باغانی، ج. ۱۳۸۹. اثربخشی سیستم‌های جدید آبیاری بر منابع آب زیرزمینی، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری گیاهان زراعی در دشت مشهد (مطالعه موردی). گزارش پژوهشی نهایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ۹۹۰/۸۹۰.

بهراملو، ر. ۱۳۸۸. بررسی فنی و اقتصادی دو روش آبیاری بارانی و تیپ در سه رقم سیب‌زمینی در همدان. گزارش نهایی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. نشریه شماره ۸۸/۲۱۷.

بهراملو، ر. ۱۳۹۰. بررسی اثر تأخیر در آبیاری در مرحله آغازین رشد بر روی عملکرد و بیماری‌های مهم سه رقم سیب‌زمینی در استان همدان. گزارش نهایی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره ۹۰/۴۶۳.

جلالی، ا.ه.، سالمی، ح.ر.، نیکویی، ع.ر.، گوانجی، س.، رضایی، م.، خداقلی، م. و تومانیان، ن. ۱۳۹۶. تعیین نیاز آبی سیب‌زمینی در اقلیم‌های مختلف استان اصفهان. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۳۰(۴): ۵۳-۷۳.

جلینی، م. و کریمی، م. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر سطوح مختلف دور آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در روش آبیاری قطره‌ای زیر سطحی. نشریه آب و خاک، ۳۱(۱): ۵۱-۶۰.

جلینی، م. و کاظمی، م. ۱۳۹۰. بررسی اثر دور آبیاری و قطع آب در روش آبیاری قطره ای (تیپ) بر عملکرد کمی و کیفی ارقام سیب زمینی. گزارش پژوهشی نهایی. مرکز اسناد و مدارك کشاورزی. انتشارات موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره ۹۰/۵۹۳.

حسن‌پناه، د.، کاظمی، م. جلالی، الف. و گرجی‌پور، م. ۱۳۹۷. راهنمای جامع زراعت نوین سیب‌زمینی. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهار و بذر، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی.

حیدری، ن. ۱۳۹۰. تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور. مدیریت آب و آبیاری، ۱(۲): ۴۳-۵۷.

رضوانی، س.م. و جعفری، ع.م. ۱۳۸۳. ارزیابی فنی و اقتصادی سیستم‌های آبیاری بارانی اجرا شده در مزارع سیب‌زمینی در استان‌های همدان و اصفهان. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان. همدان. انتشارات موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره ۸۴/۴۰۱.

رضوانی، س.م.، قدمی فیروزآبادی، ع.، سلطانی، ه. و جعفری، ع.م. ۱۳۹۸. تأثیر آرایش کشت‌های مختلف سیب‌زمینی بر میزان عملکرد و بهره‌وری مصرف آب تحت شرایط آبیاری بارانی و قطره‌ای. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۵): ۱۳۰۷-۱۳۱۶.

سالنامه آماری بخش کشاورزی استان خراسان رضوی. ۱۳۹۸. سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی، معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی، اداره آمار و اطلاعات کشاورزی.

سلیمانی‌پور، ا.، باقری، ا. و واثقی، ا. ۱۳۹۰. ارزیابی اقتصادی روش‌های آبیاری و تأثیر آن بر عملکرد ارقام سیب‌زمینی در استان اصفهان. نشریه تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۳(۹): ۱۴۳-۱۶۴.

شاهرخ نیا، م.ع. و باغانی، ج. ۱۴۰۰. بررسی میزان آب کاربردی و بهره‌وری آب مزارع سیب‌زمینی در شرایط زارعین استان فارس. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۵(۳): ۶۲۴-۶۳۵.

عباسی، ف.، سهراب، ف. و عباسی، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی راندمان آب آبیاری در ایران. نشریه تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۷(۶۷): ۱۱۳-۱۲۸.

قدمی فیروزآبادی، ع. و سیدان، س.م. ۱۳۸۵. ارزیابی فنی و اقتصادی مصرف آب در آبیاری سطحی سیب‌زمینی در منطقه بهار. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. گزارش نهایی. شماره ۸۵/۱۱۱۴.

قدمی فیروزآبادی، ع. و سیدان، س.م. ۱۳۹۴. بررسی فنی و اقتصادی آب مصرفی و انرژی در سیستم‌های مختلف آبیاری در مزارع سیب‌زمینی و یونجه در شهرستان همدان. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. شماره ۹۴/۴۸۰۱۲.

مامن‌پوش، ع.ر.، حیدری سلطان‌آبادی، م. و دهقانی، م. ۱۳۹۴. تأثیر میزان آب مصرفی و روش‌های کاشت بر عملکرد و کارآیی مصرف آب در ارقام تجاری سیب‌زمینی. نشریه آبیاری و زهکشی، ۶(۹):۹۲۷-۹۳۶.

مولائی، ب. ۱۳۹۱. بررسی آبیاری قطره‌ای T-Tape و بارانی از لحاظ عملکرد و کارآیی مصرف آب برای دو رقم سیب‌زمینی بورن و ساتینا تحت شرایط مختلف مصرف کود آلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان.

نادری، م.، شایان‌نژاد، م.، حیدری، س. و حقیقتی، ب. ۱۳۹۵. تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر خواص کمی و کیفی سیب‌زمینی در شهرکرد و تعیین عمق آب مصرفی بهینه آن. نشریه آب و خاک دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۰(۵): ۱۳۷۰-۱۳۸۱.

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. and Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9): D05109.

Ayers R.S. and Westcot D.W. 1994. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 29. FAO, Rome, Italy.

Bahramloo R. and Nasseri A. 2009. Optimum Irrigation Events for Potato Cultivar Agria. Intrnational journal of agriculture & biology, 11(6): 712-716.

Matovic G., Brocic Z., Djuricin S., Gregoric E. and Bodroza D. 2016. Profitability assessment of potato production applying different irrigation methods. Irrigation and Drainage, 65(4): 502-513.

Molden D.J., Sakthivadivel R., Perry C.J. and de Fraiture C. 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research Report No. 20, Colombo, Sri Lanka: International Wate Management Institute.

Montazar A. and Kosari H. 2007. Water productivity analysis of some irrigated crops in Iran. Proceeding of the International Conference of Water Saving in Mediterranean Agriculture and Future Needs. Valenzano Italy. Series B., 56(1): 109-120.

Onder S., Caliskan M.E., Onder D and Caliskan S. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. Agricultural Water Management, 73: 73-86.

Raes D. 2012. Reference manual-ETO calculator, version 3.2. Food and Agriculture Organization of the United Nations Land and Water Division. Rome, Italy.

Shock C.C., Holmes Z.A., Stieber T.D., Eldredge E.P., and Zhang P. 1993. The effect of timed water stress on quality, total solids and reducing sugar content of potatoes. American Potato Journal, 70: 227-241.

Tang J., Wang J., Fang Q., Wang E., Yin H., and Pan X. 2018. Optimizing planting date and supplemental irrigation for potato across the agro-pastoral ecotone in North China. European Journal of Agronomy, 98: 82-94.

Yuan B.Z., S. Nishiyama and Kang Y. 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip- irrigated potato, Agriculture Water Management, 63: 153-167.

2022, Vol.8, No.4, Pages 59 to 68
Journal of Water and Sustainable Development

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ٥٩ تا ٦٨
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Regular Article

نوع مقاله: پژوهش بنیادی

Estimation of the Velocity Distribution in Circular Pipe with Velocity Measurement at Two Points Using the Renyi Entropy

M. Teymouri Yeganeh[*1], M. M. Heidari[2]

1,2- Ph.D. Candidate in Water Structures, Assistant Professor, Water Science and Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran.

*(Corresponding Author Email: m.yeganeh1390@gmail.com)

Received: 10-07-2021 Revised: 14-08-2021
Accepted: 05-09-2021 Available Online: 19-03-2022

تخمین توزیع سرعت در لوله مدور با اندازه‌گیری سرعت در دو نقطه به‌وسیله آنتروپی رنی

مریم تیموری یگانه[*1]، محمد مهدی حیدری[2]

۱و۲- به ترتیب دانشجوی دکتری سازه‌های آبی و استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: m.yeganeh1390@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

Abstract

In most practical hydraulic engineering problems, accurate flow measurements are required. Understanding flow quantities is an important point in water resources management. Therefore, providing the most appropriate velocity distribution estimation relation that is consistent with the measurement data has always been of interest to researchers. With the development of entropy theory, these methods have been used in a wide range of engineering sciences, including hydraulics and fluid mechanics. In the present study, using the Renyi entropy method, the effective parameter "m" on the Renyi entropy parameter "G" was investigated and the velocity distribution in a circular pipe in the conditions that 36.2, 50, and 70% of the circular pipe fills. It was estimated at two points by measuring the velocity at depths (0.1D-0.9D), (0.2D-0.8D), and (0.3D-0.7D) relative to the water level. In order to determine the accuracy of estimating the velocity distribution using the Renyi method, the correlation coefficient and the root mean square error was used and also to determine the accuracy of entropy parameters, normalized root mean square error was used. The results showed that the Renyi entropy method has high accuracy with observational data. Also, velocity measurement at depth (0.9D-0.1D) from the water surface for 36.2, 50, and 70% of the circular pipe, with the normalized root mean square error to 0.2325, 2.36, and 0.51 respectively, has higher accuracy.

Keywords: Entropy Function Maximization, Velocity Estimation, Lagrange Coefficients, Two-Point Method.

چکیده

در بیشتر مسائل عملی مهندسی هیدرولیک، به اندازه‌گیری دقیق جریان نیاز است. شناخت کمیت‌های جریان نکته مهم و حائز اهمیتی در مدیریت منابع آبی می‌باشد. از این‌رو ارائه مناسبترین رابطه برآورد توزیع سرعت که منطبق بر داده‌های اندازه‌گیری باشد همواره مورد توجه محققین بوده است. با توسعه تئوری آنتروپی، این روش‌ها در طیف وسیعی از علوم مهندسی از جمله هیدرولیک و مکانیک سیالات به‌کار برده شده‌اند. در مطالعه حاضر با استفاده از روش آنتروپی رنی، پارامتر تأثیرگذار "m" بر پارامتر آنتروپی رنی "G" مورد بررسی قرار گرفت و توزیع سرعت در لوله مدور در شرایطی که ۳۶/۲، ۵۰ و ۷۰ درصد از لوله دایره‌ای پر می‌باشد، در دو نقطه با اندازه‌گیری سرعت در اعماق (۰/۱D-۰/۹D)، (۰/۲D-۰/۸D) و (۰/۳D-۰/۷D) نسبت به سطح آب تخمین زده شد. به‌منظور تعیین دقت برآورد توزیع سرعت با استفاده از روش رنی، از ضریب همبستگی (ρ) و ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و همچنین برای تعیین دقت پارامترهای آنتروپی از ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) استفاده شد. نتایج نشان داد روش آنتروپی رنی با داده‌های مشاهداتی دقت بالایی دارد. همچنین اندازه‌گیری سرعت در عمق ۰/۱D-۰/۹D از سطح آب برای حالات ۳۶/۲، ۵۰ و ۷۰ درصد از لوله دایره‌ای، به‌ترتیب با ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ۰/۲۳۲۵، ۲/۳۶ و ۰/۵۱ دقت بالاتری دارد.

واژه‌های کلیدی: حداکثرسازی تابع آنتروپی، تخمین سرعت، ضرایب لاگرانژ، روش دو نقطه‌ای.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Teymouri Yeganeh M. and Heidari. M. M. 2022. Estimation of the Velocity Distribution in Circular Pipe with Velocity Measurement at Two Points Using the Renyi Entropy. Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 59-68. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2107.1060

مقدمه

توزیع سرعت مهمترین متغیر برای تعیین مشخصات جریان مانند دبی، توزیع تنش برشی، رسوب‌گذاری، فرسایش، تلفات انرژی و مقاومت جریان در مجاری روباز است. توزیع سرعت در کانال‌ها تحت تاثیر زبری بستر و جداره، هندسه کانال (شامل عرض کف، شیب جداره و شیب کف کانال) و وجود خم در کانال قرار می‌گیرد. در کانال‌های روباز با استفاده از سرعت‌سنج می‌توان سرعت در یک نقطه کانال را اندازه‌گیری کرد. بنابراین برای بررسی توزیع سرعت در رودخانه‌ها نیاز به برداشت سرعت در تعداد زیاد نقاط می‌باشد که وقت‌گیر و هزینه‌بر است. همچنین دبی و تراز سطح آب در جریان غیرماندگار و شرایط سیلابی به‌گونه‌ای در نوسان است که اندازه‌گیری سرعت در تمام نقاط در یک لحظه با استفاده از سرعت‌سنج امکان‌پذیر نمی‌باشد. ازاین‌رو ارائه یک روش تک نقطه‌ای یا دو نقطه‌ای اندازه‌گیری سرعت که منجر به تخمین دبی و توزیع سرعت شود، اهمیت خاصی دارد. در خط لوله انتقال که اغلب به شکل دایره‌ای می‌باشد رابطه کلی برای توزیع سرعت براساس معادله مانینگ تعیین می‌شود (Sterling و knight، ۲۰۰۰؛ Clark و Kehler، ۲۰۱۱). اما رابطه دقیق‌تر نیاز به آگاهی از توزیع سرعت مقطعی دارد. Clark و Kehler (۲۰۱۱) نشان دادند حداکثر سرعت در لوله مدور تا حدی پر در زیر سطح آب رخ می‌دهد و توزیع سرعت در نزدیکی سطح آب است که عمدتا توسط جریان ثانویه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در سال‌های اخیر، براساس آنتروپی Shannon (۱۹۴۸)، تئوری آنتروپی سرعت توسعه یافت و در بسیاری از مناطق اعمال شد با فرض اینکه تابع توزیع تجمعی (CDF) تابع عمق جریان می‌باشد، Chiu (۱۹۸۸) یک فرمول توزیع سرعت دوبعدی را به‌دست آورد. Yoon و همکاران (۲۰۱۲) از طریق مطالعه تجربی ثابت کردند روش Chiu (۱۹۸۹) دقت مناسبی در لوله مدور دارد. Luo و Singh (۲۰۱۱) بر اساس اصل حداکثر آنتروپی، یک رابطه برای توزیع سرعت دوبعدی در کانال‌های باز مستطیلی شکل با استفاده از آنتروپی تسالیس به‌دست آوردند. اگرچه این روش در مقایسه با روش چیو بهتر می‌باشد، اما به دلیل تعداد زیادی از پارامترهای مورد استفاده محدودیت دارد. Marini و همکاران (۲۰۱۱) یک روش جدیدبرای توزیع سرعت در کانال‌های باز مستطیلی شکل با آنتروپی شانون، که در آن یک CDF جدید فرض شد، به‌دست آوردند. Cui و Singh (۲۰۱۳) روش جدید دیگری برای استخراج توزیع سرعت با استفاده از آنتروپی تسالیس برای کانال‌های باز مستطیلی شکل پیشنهاد کردند. Rahimpour و Maghrebi (۲۰۰۶) از روش تک نقطه‌ای Maghrebi (۲۰۰۶) که به‌منظور تخمین دبی ارائه گردشدید، برای به‌دست آوردن دبی در بخش‌های مختلف رودخانه در هنگام سیل استفاده نمودند. در روش ارائه شده دبی می‌تواند به‌صورت خودکار در یک محل اندازه‌گیری ثابت در بخش رودخانه یا روی سطح آب، تخمین زده شود. آن‌ها نشان دادند نتایج به‌دست آمده از منحنی‌های دبی-اشل با استفاده از اندازه‌گیری به روش تک نقطه‌ای در مقایسه با نمونه‌های تجربی مشاهده‌ای می‌تواند با دقت بالایی دبی سیلاب را برآورد نماید و این میزان اختلاف با داده‌های مشاهده‌ای کمتر از ۵ درصد می‌باشد. Teymouri Yeganeh و Heidari (۲۰۲۰) با استفاده از سه روش آنتروپی شانون، رنی و تسالیس، توزیع سرعت را با اندازه‌گیری سرعت در دو نقطه در کانال مستطیلی روباز بررسی کردند، نتایج مطالعات آن‌ها دقت بالای هر سه روش را در تخمین توزیع سرعت نشان داد. Kumbhakar و Ghoshal (۲۰۱۶) توزیع سرعت دو بعدی با استفاده از روش آنتروپی رنی در کانال‌های روباز را بررسی کردند و نتایج مقایسه داده‌های آزمایشگاهی با روش آنتروپی رنی دقت خوبی را نشان داد. Kumbhakar و Ghoshal (۲۰۱۷) با استفاده از روش آنتروپی رنی توزیع سرعت یک بعدی در کانال روباز را بررسی کردند، نتایج بررسی‌های آن‌ها دقت بالای این روش را با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد. تیموری یگانه و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی توزیع عمقی سرعت طولی با استفاده از روش بهینه سازی بر مبنای الگوریتم ژنتیک پرداختند، آن‌ها پارامترهای روابط توزیع سرعت یانگ، ژولیان، چیو و تسالیس را بهینه نموده و براساس آن توزیع سرعت یک بعدی را تخمین زدند، نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که هر ۴ روش دارای دقت بالایی در شبیه سازی توزیع سرعت بوده و با توجه به اینکه تعداد پارامترهای بهینه شده در روش تسالیس و ژولیان بیشتر از دو مدل دیگر است، آن‌ها را برای مدل‌سازی رودخانه‌های آبرفتی توصیه نمودند. Jiang و Chen (۲۰۱۶) توزیع سرعت با استفاده از روش آنتروپی تسالیس در لوله دایره‌ای تا حدی پر را بررسی کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد توزیع سرعت تخمین زده شده به روش اصل حداکثر آنتروپی تسالیس دقت بالایی در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده دارد. در این تحقیق هدف تخمین توزیع سرعت دو بعدی با استفاده از روش آنتروپی رنی با اندازه‌گیری سرعت در دو نقطه می‌باشد. همچنین اثر موقعیت دو نقطه در تخمین توزیع سرعت بررسی شد.

مواد و روش‌ها

- آنتروپی رنی

Renyi (۱۹۶۱) با استفاده از اصل حداکثر آنتروپی، تابع آنتروپی را به‌صورت رابطه (۱) بیان نمود:

$$H(u) = \frac{1}{(1-m)} \ln \int_0^{u_{max}} \left[p(u)^m \right] du \qquad (۱)$$

به‌منظور سادگی حل، سرعت بدون بعد ($\hat{u} = u/u_{max}$) به‌عنوان یک متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود، بنابراین مقدار تابع آنتروپی رنی و قید اول و دوم به‌صورت روابط (۲) تا (۴) می‌باشند:

$$H(\hat{u}) = \frac{1}{1-m}\ln\left\{\int_0^1 [p(\hat{u})]^m \, d\hat{u}\right\} \quad (۲)$$

$$\int_0^1 p(\hat{u})d\hat{u} = 1 \quad (۳)$$

$$\int_0^1 \hat{u}p(\hat{u})d\hat{u} = \hat{u}_m \quad (۴)$$

در رابطه فوق، $\hat{u}_m = \bar{u}/u_{max}$ متوسط سرعت بدون بعد و $\bar{u}$ میانگین سرعت مقطع عرضی است. در صورتی‌که تابع $H(\hat{u})$ در رابطه (۲) با استفاده از روش ضرایب لاگرانژ حداکثرسازی شود شکل صریحی برای تابع چگالی به‌دست آورده نمی‌شود. بنابراین برای سادگی حل با در نظر گرفتن m بین صفر تا یک، تابع $w(\hat{u})$ به‌صورت رابطه (۵) در نظر گرفته می‌شود:

$$\int_0^1 \left[p(\hat{u})^m\right]d\hat{u} = e^{(1-m)H_m} = w(\hat{u}) \quad (۵)$$

با حداکثرسازی تابع $w(\hat{u})$ از طریق روش لاگرانژ، تابع $H(\hat{u})$ نیز ماکزیمم می‌شود. تابع لاگرانژ با در نظر گرفتن قید اول و دوم، به‌صورت رابطه (۶) در نظر گرفته می‌شود:

$$L(\hat{u}) = \int_0^1 \left[p(\hat{u})^m\right]d\hat{u} + \int_0^1 \lambda_1 p(\hat{u})d\hat{u} + \int_0^1 \lambda_1 \hat{u}p(\hat{u})d\hat{u} - \lambda_1 - \lambda_2\hat{u}_m \quad (۶)$$

به‌منظور حداکثرسازی تابع آنتروپی از تابع $L(u)$ نسبت $p(\hat{u})$، λ_1 و λ_2 مشتق گرفته و حاصل برابر صفر قرار داده می‌شود. با ساده‌سازی خواهیم داشت:

$$p(\hat{u}) = \left(\frac{-\lambda_1 - \lambda_2\hat{u}}{m}\right)^{\frac{1}{m-1}} \quad (۷)$$

با جایگزینی رابطه (۷) در قید اول یعنی رابطه (۳) رابطه (۸) به‌دست خواهد آمد:

$$\int_0^1 \left[\frac{-\lambda_1 - \lambda_2\hat{u}}{m}\right]^{\frac{1}{m-1}} d\hat{u} = 1 \quad (۸)$$

با انتگرال‌گیری از رابطه (۸) و ساده‌سازی، رابطه (۹) حاصل می‌شود:

$$\frac{1-m}{\lambda_2 (m)^{\frac{m}{m-1}}}\left[(-\lambda_1 - \lambda_2)^{\frac{m}{m-1}} - (-\lambda_1)^{\frac{m}{m-1}}\right] = 1 \quad (۹)$$

متغیر G به‌صورت رابطه (۱۰) در نظر گرفته می‌شود:

$$G = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad (۱۰)$$

بنابراین ضریب لاگرانژ λ_1 به صورت رابطه (۱۱) ارائه می‌شود:

$$\lambda_1 = \frac{G\lambda_2}{1-G} \quad (۱۱)$$

با جایگزینی رابطه (۱۱) در (۹) و ساده‌سازی، رابطه (۱۲) حاصل می‌شود:

$$\lambda_2 = m^m (1-m)^{1-m}\left(\frac{1}{G-1}\right)^{-m}\left(1 - G^{\frac{m}{m-1}}\right)^{1-m} \quad (۱۲)$$

با جایگزینی رابطه (۷) در قید دوم یعنی رابطه (۴)، رابطه (۱۳) حبه‌دست خواهد آمد:

$$\int_0^1 \hat{u}\left[\frac{-\lambda_1 - \lambda_2\hat{u}}{m}\right]^{\frac{1}{m-1}} d\hat{u} = \hat{u}_m \quad (۱۳)$$

حاصل انتگرال معادله (۱۳) به‌صورت رابطه (۱۴) می‌باشد:

$$\frac{1-m}{\lambda_2^2 (m)^{\frac{m}{m-1}}}\left\{\frac{m-1}{2m-1}\left[(-\lambda_1 - \lambda_2)^{\frac{2m-1}{m-1}} - (-\lambda_1)^{\frac{2m-1}{m-1}}\right] + \frac{\lambda_1(m-1)}{m}\left[(-\lambda_1 - \lambda_2)^{\frac{m}{m-1}} - (-\lambda_1)^{\frac{m}{m-1}}\right]\right\} = \hat{u}_m \quad (۱۴)$$

با جایگزینی روابط (۱۲) و (۱۳) در رابطه (۱۴) و ساده‌سازی، رابطه بین سرعت متوسط مقطع و سرعت حداکثر (رابطه ۱۵) به‌دست آورده می‌شود (Ghoshal و Kumbhakar ، ۲۰۱۶):

$$\frac{\bar{u}}{u_{max}} = \frac{m}{1-m}\left(\frac{1}{G-1}\right)^{\frac{m}{1-m}}\left(1 - G^{\frac{m}{m-1}}\right)^{-1}\left\{\frac{m-1}{2m-1}\left[\left(\frac{1}{G-1}\right)^{\frac{2m-1}{m-1}} - \left(\frac{G}{G-1}\right)^{\frac{2m-1}{m-1}}\right] + \frac{m-1}{m}\frac{G}{1-G}\left[\left(\frac{1}{G-1}\right)^{\frac{m}{m-1}} - \left(\frac{G}{G-1}\right)^{\frac{m}{m-1}}\right]\right\} \quad (۱۵)$$

- تابع توزیع تجمعی

تابع توزیع تجمعی باید قادر به مجسم کردن هندسه خط لوله و برخی از ویژگی‌های مهم توزیع سرعت باشد. بنابراین تابع توزیع تجمعی باید خصوصیات زیر را دارا باشد: ۱) مشتق پذیر باشد ۲) بین صفر ویک تعریف شده باشد ۳) مقدار آن روی دیواره لوله باید صفر باشد و در موقعیت سرعت ماکزیمم u_{max} یک می‌باشد ۴) در محور قائم از خط مرکزی تابع توزیع تجمعی به‌صورت یکنواخت از صفر تا u_{max} افزایش می‌یابد. خط لوله مدور تا حدی پر در شکل (۱) نشان داده شده است که R شعاع لوله H عمق آب و h $(0 < h < H)$ فاصله از موقعیت u_{max} به بستر لوله می‌باشد. به دلیل اینکه سرعت در مرز صفر در نظر گرفته می‌شود، ساده‌ترین معادله برای تابع توزیع تجمعی، همان معادله سهموی می‌باشد (Jiang و Chen، ۲۰۱۶):

$$F_1(\hat{u}) = 1 - \left(\frac{x}{R}\right)^2 - \left(\frac{y}{R} - 1\right)^2 \quad (۱۶)$$

هنگامی‌که ماکزیمم سرعت جریان در y=h، اتفاق می‌افتد، تابع توزیع تجمعی برابر $F_1(\hat{u}) = 1$ می‌باشد، سپس تابع توزیع تجمعی را می‌توان به‌صورت رابطه (۱۷) شرح داد:

$$F_1(\hat{u}) = \left[1 - \left(\frac{y}{h} - 1\right)^{2L}\right]^K \left[1 - \left(\frac{x}{R}\right)^{\frac{D}{H}}\right] \quad (۱۷)$$

که در آن D' قطر لوله، و زمانی‌که $y \le h$ باشد، L=1 و K=1 می‌باشد درحالی‌که وقتی $y > h$ باشد، L=2h/H و L=2(H-h)/H می‌باشد. در خط مرکزی از مقطع عرضی لوله، تابع توزیع تجمعی با افزایش سرعت جریان افزایش می‌یابد. بنابراین تابع توزیع تجمعی را

می‌توان به‌صورت رابطه (۱۸) به‌دست آورد:

$$F_2(\hat{u}) = \frac{2y}{R} - (\frac{y}{R})^2 \qquad (۱۸)$$

از آنجایی‌که ماکزیمم سرعت جریان روی سطح آب یا زیر سطح آب رخ می‌دهد وقتی‌که تابع توزیع تجمعی $F_2(\hat{u}) = 1$، موقعیت حداکثر سرعت $y_{umax} \le H$ می‌باشد و معادله (۱۸) به‌صورت ذیل تغییر می‌یابد:

$$F_2(\hat{u}) = 4\left[\left(\frac{y}{2R}\right)^b - \left(\frac{y}{2R}\right)^{2b}\right] \qquad (۱۹)$$

که در آن b عامل تعدیل عمق آب می‌باشد. موقعیت ماکزیمم سرعت جریان y=h و $F_2(\hat{u}) = 1$ می‌باشد، بنابراین b به‌صورت ذیل شرح داده می‌شود:

$$b = \frac{\ln 2}{[\ln(2R) - \ln h]} \qquad (۲۰)$$

با جایگزینی b در داخل معادله (۲۰) داریم:

$$F_2(\hat{u}) = 4\left[\left(\frac{y}{2R}\right)^{\frac{\ln 2}{[\ln(2R)-\ln h]}} - \left(\frac{y}{2R}\right)^{\frac{2\ln 2}{[\ln(2R)-\ln h]}}\right] \qquad (۲۱)$$

از آنجایی‌که سطح مقطع لوله مدور است، در هر جهت عمودی، ارتفاع نسبی به‌صورت ذیل تعیین می‌شود:

$$y' = y - \left(R - \sqrt{R^2 - x^2}\right) \qquad (۲۲)$$

بنابراین تابع توزیع تجمعی $F_1(\hat{u})$ و $F_2(\hat{u})$ به‌ترتیب به‌صورت روابط (۲۳ و۲۴) تبدیل می‌شود:

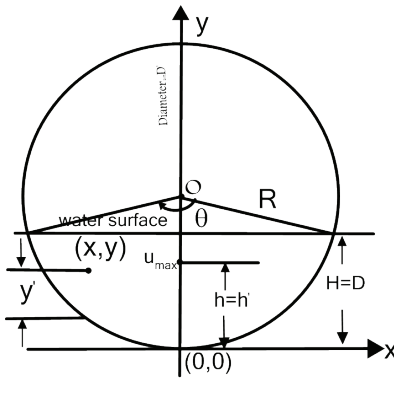
$$F_1(\hat{u}) = \left[1 - \left(\frac{y'}{h'} - 1\right)^{2L}\right]^K \left[1 - \left(\frac{x}{R}\right)^{\frac{D'}{H}}\right] \qquad (۲۳)$$

$$F_2(\hat{u}) = 4\left[\left(\frac{y'}{2R}\right)^{\frac{\ln 2}{[\ln(2R)-\ln h']}} - \left(\frac{y'}{2R}\right)^{\frac{2\ln 2}{[\ln(2R)-\ln h']}}\right] \qquad (۲۴)$$

h' نشان دهنده فاصله عمودی از حداکثر سرعت به بستر لوله در هر محور قائم می‌باشد. با یکپارچه کردن معادلات (۲۳) و(۲۴)، تابع توزیع تجمعی از توزیع سرعت در لوله تا حدی پر مدور جریان به‌صورت ذیل شرح داده می‌شود:

$$F(\hat{u}) = F_1(\hat{u})F_2(\hat{u}) = 4\left[1 - \left(\frac{y'}{h'} - 1\right)^{2L}\right]^K \left[1 - \left(\frac{x}{R}\right)^{\frac{D}{H}}\right]\left[\left(\frac{y'}{2R}\right)^s - \left(\frac{y'}{2R}\right)^{2s}\right] \qquad (۲۵)$$

که در آن $s = \ln 2 / [\ln(2R) - \ln h']$ می‌باشد.



شکل ۱- شماتیکی از سیستم مختصات دایره‌ای

برای به‌دست آوردن توزیع سرعت مبتنی بر آنتروپی رنی می‌توان نوشت:

$$\frac{\partial F(\hat{u})}{\partial x} = f(\hat{u})\frac{\partial \hat{u}}{\partial x} = \frac{\partial \hat{u}}{\partial x}\left[\frac{1}{m}(-\lambda_1 - \lambda_2\hat{u})\right]^{1/(m-1)} \qquad (۲۶)$$

$$\frac{\partial F(\hat{u})}{\partial y} = f(\hat{u})\frac{\partial \hat{u}}{\partial y} = \frac{\partial \hat{u}}{\partial y}\left[\frac{1}{m}(-\lambda_1 - \lambda_2\hat{u})\right]^{1/(m-1)} \qquad (۲۷)$$

با تعریف یک متغیر جدید

$$w = \left[\frac{1}{m}(-\lambda_1 - \lambda_2\hat{u})\right]^{\frac{m}{m-1}} \qquad (۲۸)$$

باتوجه‌به مشتقات جزیی w نسبت به x وy معادلات به‌صورت ذیل به‌دست آورده می‌شوند:

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial \hat{u}}\frac{\partial \hat{u}}{\partial x} = [-\lambda_2 / m - 1] \times [(-\lambda_1 - \lambda_2)/m]^{1/m-1}\frac{\partial \hat{u}}{\partial x} \qquad (۲۹)$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} = \frac{\partial w}{\partial \hat{u}}\frac{\partial \hat{u}}{\partial y} = [-\lambda_2 / m - 1] \times [(-\lambda_1 - \lambda_2)/m]^{1/m-1}\frac{\partial \hat{u}}{\partial y} \qquad (۳۰)$$

با جایگزینی معادلات (۲۹) و(۳۰) در داخل معادلات (۲۶) و(۲۷) رابطه بین $F(\hat{u})$ وw به‌صورت ذیل می‌باشد:

$$\frac{\partial w}{\partial x} = [-\lambda_2 / m - 1]\frac{\partial F(\hat{u})}{\partial x} \qquad (۳۱)$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} = [-\lambda_2 / m - 1]\frac{\partial F(\hat{u})}{\partial y} \qquad (۳۲)$$

با استفاده از قانون لایب نیس از معادلات (۳۱) و(۳۲) می‌توان انتگرال‌گیری کرد:

$$\int_{(0,0)}^{(x,y)} \frac{\partial w}{\partial x}dx + \frac{\partial w}{\partial y}dy = w(x,y) - w(0,0) \qquad (۳۳)$$

از آنجایی‌که (۰و۰) در روی دیواره لوله اتفاق می‌افتد معادله (۳۳) به‌صورت معادله (۳۴) بیان می‌شود:

$$w(x,y) - w(0,0) = w(x,y) - [-\lambda_1 / m]^{\frac{m}{m-1}} \qquad (۳۴)$$

انتگرال معین قسمت سمت چپ معادله (۳۳) در یک نقطه عمومی (x,y) با استفاده از یک منحنی چند وجهی که از مبدا (۰,۰) شروع شده محاسبه می‌شود و از طریق نقطه $(x, R - \sqrt{R^2 - x^2})$ بر روی دیوارعبور می‌نماید و در نقطه (x,y) به پایان می‌رسد. در دیواره لوله در زیر سطح آب CDF صفر می‌باشد. بنابراین خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}
&\int_{(0,0)}^{(x,y)} \frac{\partial w}{\partial x}dx + \frac{\partial w}{\partial y}dy = \int_{(0,0)}^{(x,y)} [-\lambda_2 / m - 1]\frac{\partial F(\hat{u})}{\partial x}dx + [-\lambda_2 / m - 1]\frac{\partial F(\hat{u})}{\partial y}dy \\
&= \int_{(0,0)}^{(x,R-\sqrt{R^2-x^2})} [-\lambda_2 / m - 1]\frac{\partial F(\hat{u})}{\partial x}dx + [-\lambda_2 / m - 1]\frac{\partial F(\hat{u})}{\partial y}dy \\
&\quad + \int_{(x,R-\sqrt{R^2-x^2})}^{(x,y)} [-\lambda_2 / m - 1]\frac{\partial F(\hat{u})}{\partial x}dx + [-\lambda_2 / m - 1]\frac{\partial F(\hat{u})}{\partial y}dy \\
&= \int_{(x,R-\sqrt{R^2-x^2})}^{y} [-\lambda_2 / m - 1]\frac{\partial F(\hat{u})}{\partial x}dx + [-\lambda_2 / m - 1]\frac{\partial F(\hat{u})}{\partial y}dy = \frac{[-\lambda_2 / m - 1]y'}{y}F(\hat{u})
\end{aligned} \qquad (۳۵)$$

با مساوی قرار دادن سمت راست معادله (۳۳) با سمت راست معادله (۳۴) خواهیم داشت:

$$w(x,y) = \frac{y'[-\lambda_2 / m - 1]}{y}F(\hat{u}) - [-\lambda_1 / m]^{\frac{m}{m-1}} \qquad (۳۶)$$

با جایگزینی معادلات (۲۲) و (۲۸) در داخل معادله (۳۶) توزیع سرعت مبتنی بر آنتروپی رنی به‌صورت ذیل حاصل می‌شود:

$$\hat{u}=\frac{-1}{\lambda_2}\left\{\left[-[-\lambda_1/m]^{m/(m-1)}+\frac{y'[-\lambda_2/m-1]F(\hat{u})}{y}\right]^{1-1/m}\times m+\lambda_1\right\} \quad (۳۷)$$

همچنین با جایگذاری معادلات (۱۱) و (۱۲) در معادله (۳۷) خواهیم داشت:

$$\hat{u}=A-\left[A^C+\left(B^C-A^C\right)F(\hat{u})\frac{y'}{y}\right]^{1/C}$$

$$A=\frac{G}{G-1}$$

$$B=\frac{1}{G-1} \quad (۳۸)$$

$$C=\frac{m}{m-1}$$

معادله (۳۸) بیانگر توزیع دو بعدی سرعت در لوله دایره‌ای براساس روش آنتروپی رنی می‌باشد.

در این تحقیق به‌منظور تخمین توزیع سرعت، در ابتدا پارامترهای آنتروپی با اندازه‌گیری سرعت در دو نقطه در مرکز لوله دایره‌ای که به‌واسطه دور بودن از جداره‌ها کمترین تاثیر از دیواره‌ها را دارد و سرعت ماکزیمم در آن اتفاق می‌افتد، مطابق روابط ذیل با استفاده از روش‌های عددی و با آزمون خطا محاسبه می‌شود. سپس با داشتن پارامترهای آنتروپی می‌توان توزیع سرعت را با استفاده از رابطه (۳۷) در مقاطع مختلف به‌دست آورد.

$$\frac{u_1}{u_2}=\frac{A-\left[A^C+\left(B^C-A^C\right)\xi_1\right]^{1/C}}{A-\left[A^C+\left(B^C-A^C\right)\xi_2\right]^{1/C}}$$

$$A=\frac{G}{G-1}$$

$$B=\frac{1}{G-1}$$

$$C=\frac{m}{m-1} \quad (۳۹)$$

$$\xi_1=\frac{y_1'}{y_1}\times 4\times\left[1-\left(\frac{y_1'}{h_1'}-1\right)^{2L}\right]^K\times$$

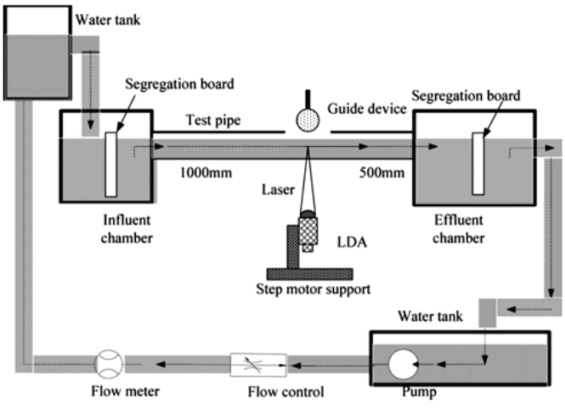
$$\left[1-\left(\frac{x}{R}\right)^{\frac{D}{H}}\right]\times\left[\left(\frac{y_1'}{2R}\right)^{s_1}-\left(\frac{y_1'}{2R}\right)^{2s_1}\right]$$

$$\xi_2=\frac{y_2'}{y_2}\times 4\times\left[1-\left(\frac{y_2'}{h_2'}-1\right)^{2L}\right]^K\times$$

$$\left[1-\left(\frac{x}{R}\right)^{\frac{D}{H}}\right]\times\left[\left(\frac{y_2'}{2R}\right)^{s}-\left(\frac{y_2'}{2R}\right)^{2s_2}\right]$$

- مشخصات آزمایش

در شکل (۲) تجهیزات آزمایشگاهی در آزمایش Jiang و Chen (۲۰۱۶) نشان داده شده است، برای اندازه‌گیری سرعت متوسط مایع از فلومتر الکترومغناطیسی و برای اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای از لیزر داپلر استفاده شده است. قطر لوله آزمایش ۰/۰۲۴ متر، زبری جداره ۰/۰۰۳ متر و شیب لوله ۰/۰۰۳۳ و همچنین ضریب زبری لوله ۰/۰۰۸۵ می‌باشد. در جدول (۱)، مشخصات مربوط به اندازه‌گیری سرعت در ۳۶/۲٪ و ۵۰٪ و ۷۰٪ عمق جریان نسبت به سطح آب بیان شده است.



شکل ۲- شمایی از تجهیزات آزمایشگاهی (Jiang و Chen، ۲۰۱۶)

جدول ۱- مشخصات مربوط به اندازه‌گیری سرعت

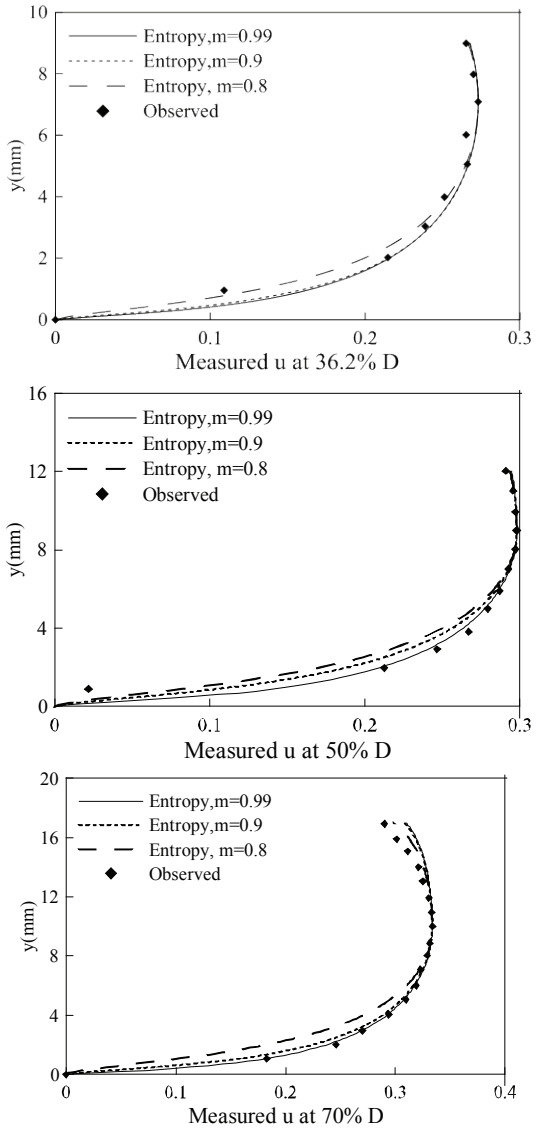
	درصد عمق جریان نسبت به سطح آب		
	٪۵۰	٪۳۶/۲	٪۷۰
H(mm)	۱۲	۸/۷	۱۶/۸
Rh(mm)	۶	۴/۸	۷/۱
$\bar{u}$(m/s)	۰/۲۱۰۸	۰/۱۸۱۶	۰/۲۳۶۴
u_{max}(m/s)	۰/۲۹۷	۰/۲۷۲۷	۰/۳۳۲۳
h(mm)	۸/۹۸	۶/۸۲	۸/۳۲

در روش رنی، برای محاسبه پارامترهای آنتروپی، ابتدا باید عوامل موثر بر آن محاسبه شود. که این عامل موثر شامل تأثیر پارامتر "m" بر پارامتر آنتروپی رنی "G" می‌باشد. برای تعیین مقدار مناسب "m" داده‌های اندازه‌گیری شده برای ۳۶/۲٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ از عمق جریان آزمایش شدند. در جدول (۲) تأثیر پارامتر "m" بر پارامتر آنتروپی رنی "G" نشان داده شده است.

جدول ۲- تأثیر پارامتر "m" بر پارامتر آنتروپی رنی "G"

H/D'٪	m =۰/۸	m =۰/۹	m =۰/۹۹
۳۶/۲	۱/۹۵	۱/۵۵	۱/۰۴۹
۵۰	۱/۸۵	۱/۴۵	۱/۰۵
۷۰	۱/۹۹	۱/۶۳	۱/۰۶۱

مطابق شکل (۳) سه سری داده مختلف در اعماق ۷۰٪، ۵۰٪ و ۳۶/۲٪ از سطح آب مقایسه شدند. باتوجه به این شکل مقدار حداکثر سرعت در نزدیکی سطح آب رخ داده که به دلیل اصطکاک دیواره جانبی می‌باشد و باعث پایین افتادن حداکثر سرعت در سطح آب می‌شود. براساس شکل مقادیر سرعت محاسبه شده به روش رنی با مقادیر سرعت اندازه‌گیری شده مطابقت خوبی دارد. مطابق جدول (۳) در شرایطی که مقدار m=۰/۹۹ دقت بالاتری نسبت به مقادیر m=۰/۹ و m=۰/۸ با داده‌های اندازه‌گیری شده دارد.



شکل ۳- تأثیر متغیر بر توزیع سرعت محاسبه شده توسط آنتروپی رنی برای ۳۶/۲، ۵۰ و ۷۰ درصد از عمق جریان

برای تعیین دقت پارامتر آنتروپی از ضریب هم‌بستگی و ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) به‌ترتیب از روابط (۴۰) و (۴۱) استفاده شده است.

$$\rho = \frac{\sum (u_{obs} - \bar{u}_{obs})(u_{est} - \bar{u}_{est})}{\sqrt{\sum (u_{obs} - \bar{u}_{obs})^2 \sum (u_{est} - \bar{u}_{est})^2}} \qquad (۴۰)$$

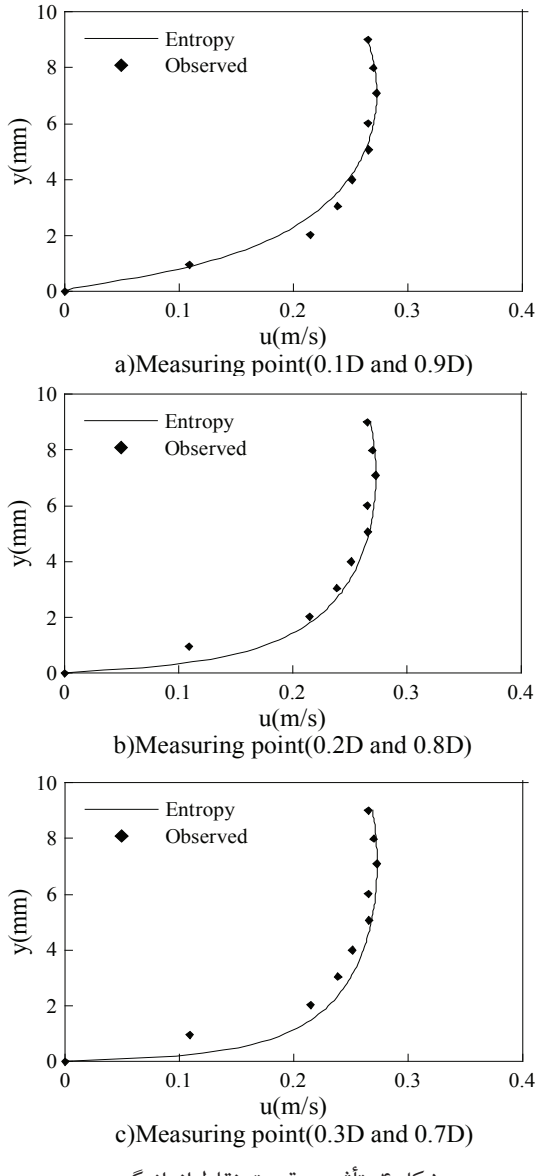
$$RMSE(m/s) = \sqrt{\frac{\sum (u_{obs} - u_{est})^2}{n}} \qquad (۴۱)$$

که‌در آن u_{obs} سرعت‌مشاهداتی، $\bar{u}_{obs}$ میانگین‌سرعت‌های‌مشاهداتی، u_{est} سرعت‌تخمینی، $\bar{u}_{est}$ میانگین‌سرعت‌های‌تخمینی‌می‌باشد.

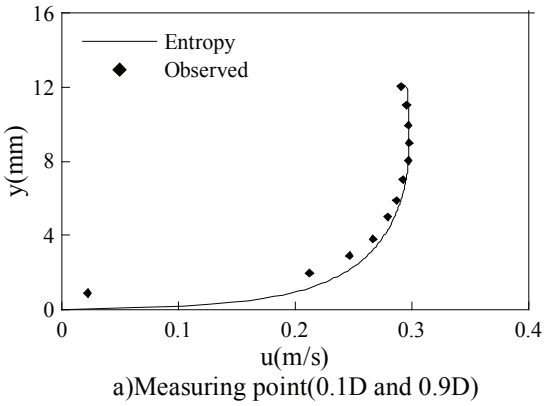
به‌منظور بررسی موقعیت نقاط اندازه‌گیری سرعت در دقت روش آنتروپی رنی برای تخمین توزیع سرعت، نقاط که فاصله نسبی آن‌ها از سطح آب (۰/۱D-۰/۹D)، (۰/۲D-۰/۸D) و (۰/۳D-۰/۷D) می‌باشد، در نظر گرفته شد. با استفاده از رابطه (۳۹) مقدار پارامتر آنتروپی "G" محاسبه و توزیع سرعت یک بعدی با استفاده از روش رنی برآورد شد و نتایج در شکل‌های (۴ تا ۶) ارائه شده است.

جدول ۳- ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا در اعماق مختلف

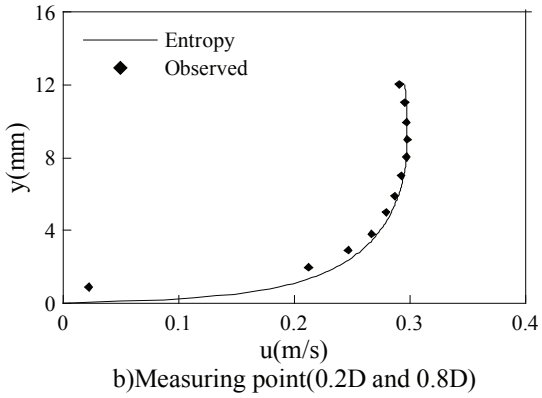
m =۰/۸		m =۰/۹		m =۰/۹۹		
RMSE (m/s)	ρ	RMSE (m/s)	ρ	RMSE (m/s)	ρ	H/D'%
۰/۰۰۱۷	۰/۹۷۶	۰/۰۰۱۵	۰/۹۷۷	۰/۰۰۰۷۷	۰/۹۹	۳۶/۲
۰/۲۱	۰/۹۹۲	۰/۱۷	۰/۹۹۸	۰/۰۲۸	۰/۹۹۹	۵۰
۰/۲۹	۰/۹۶۷	۰/۲۲	۰/۹۸۹۲	۰/۰۰۱۹	۰/۹۸۹۷	۷۰



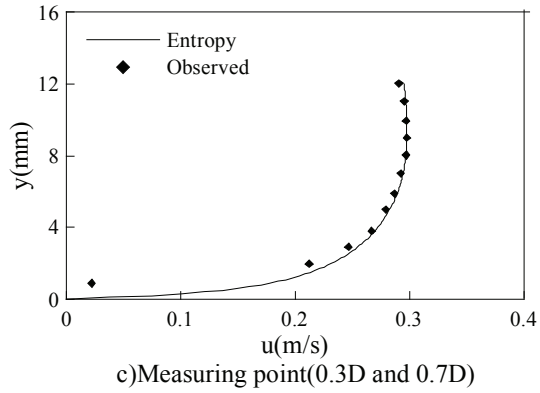
شکل ۴- تأثیر موقعیت نقاط اندازه‌گیری سرعت در ۳۶/۲٪ از عمق جریان



a)Measuring point(0.1D and 0.9D)

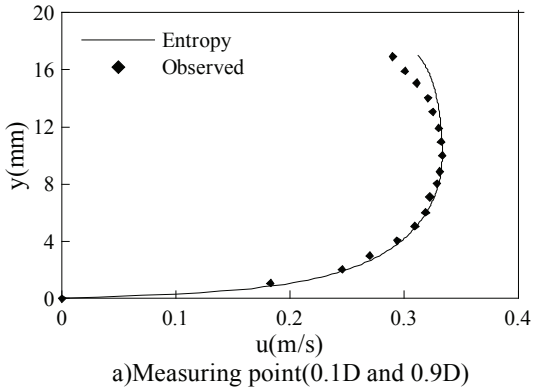


b)Measuring point(0.2D and 0.8D)

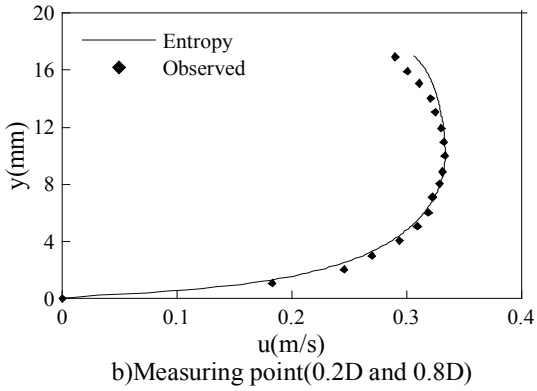


c)Measuring point(0.3D and 0.7D)

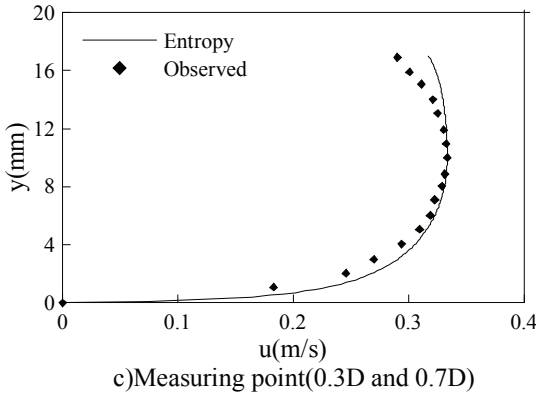
شکل ۵- تأثیر موقعیت نقاط اندازه‌گیری سرعت در ۵۰٪ از عمق جریان



a)Measuring point(0.1D and 0.9D)



b)Measuring point(0.2D and 0.8D)



c)Measuring point(0.3D and 0.7D)

شکل ۶- تأثیر موقعیت نقاط اندازه‌گیری سرعت در ۷۰٪ از عمق جریان

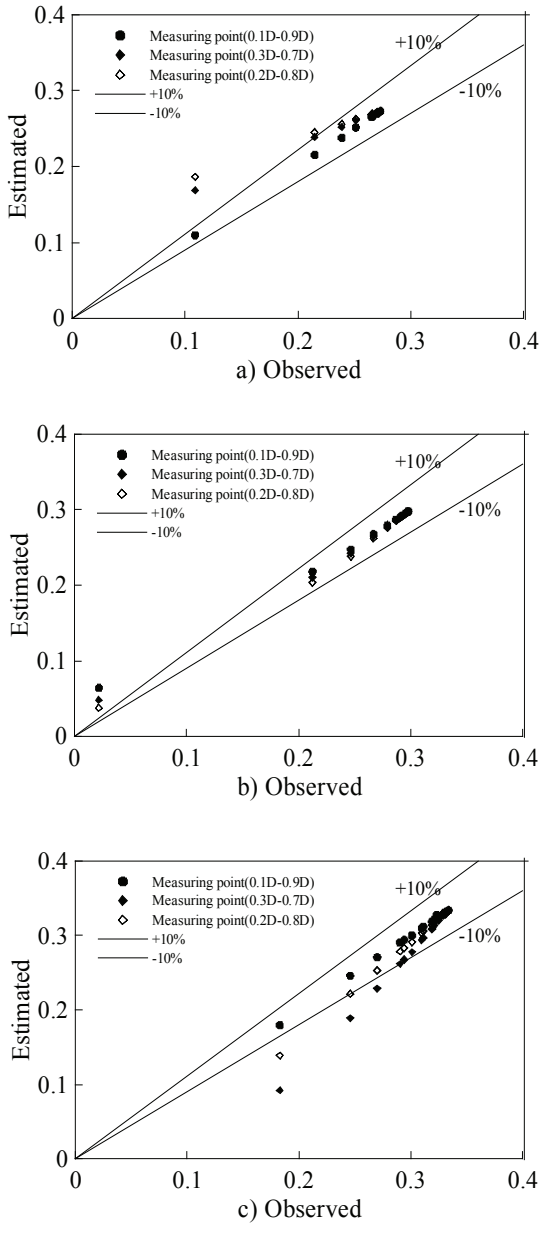
همچنین برای تعیین دقت پروفیل سرعت تخمین زده شده با استفاده از دو نقطه از ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده به‌صورت رابطه (۴۲) استفاده شد.

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{u}_o}\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(u_{s(i)} - u_{o(i)}\right)^2} \times 100 \qquad (۴۲)$$

که در آن سرعت مشاهداتی در نقطه i، $u_{s(i)}$ سرعت محاسباتی در نقطه i و n تعداد داده‌های مشاهداتی می‌باشد. مقدار مناسب شاخص NRMSE در مدل‌سازی، کمتر از ۱۰ درصد است.

این شاخص در محدوده ۱۰ تا ۲۰ درصد نشان‌دهنده وضعیت مناسب و ۲۰ تا ۳۰ درصد نشان‌دهنده وضعیت قابل قبول و بیش از ۳۰ درصد نشان‌دهنده عدم اطمینان در مدل است (Singh و Luo، ۲۰۰۸).

در شکل (۷) و در جدول (۴) مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده در موقعیت‌های (۰/۱D-۰/۹D)، (۰/۸D-۰/۲D) و (۰/۳D-۰/۷D) برای حالات ۳۶/۲ درصد از عمق جریان، ۵۰ درصد از عمق جریان و ۷۰ درصد از عمق جریان نشان داده شده است.

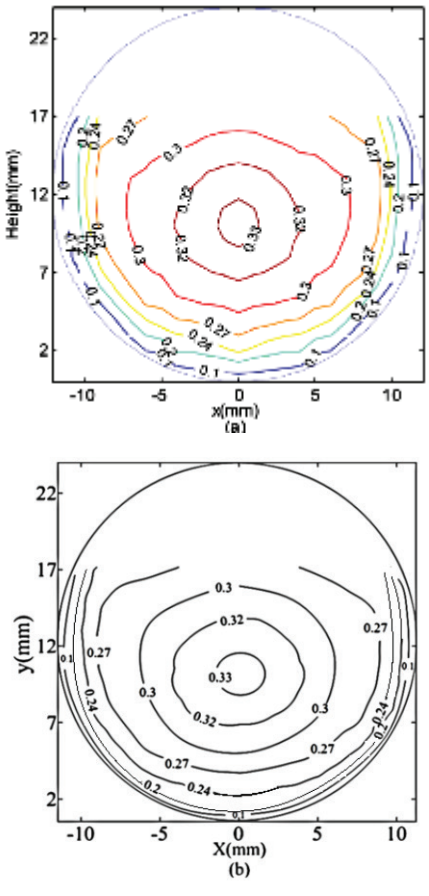


شکل۷- مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در موقعیت‌های مختلف برای a) ۳۶/۲٪، b) ۵۰٪ و C) ۷۰٪ از عمق جریان

جدول ۴- مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در موقعیت‌های مختلف

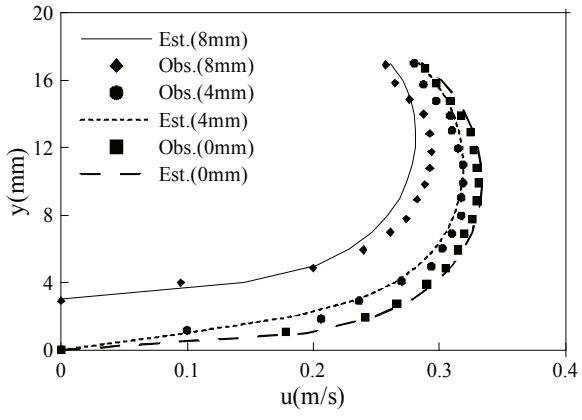
موقعیت نقاط اندازه‌گیری سرعت			
٪H/D	۰/۹D & ۰/۱D	۰/۸D & ۰/۲D	۰/۷D & ۰/۳D
۳۶/۲	۰/۲۳	۹/۷۷	۱۲/۶۷
۵۰	۲/۳۶	۳/۰۲۲	۴/۷۷
۷۰	۰/۵۱	۴/۷۱	۱۰/۳۸

در جدول (۴) مشاهده می‌شود مقدار برآورد توزیع سرعت در شرایطی که دو نقطه اندازه‌گیری سرعت در فاصله ۰/۱ و ۰/۹ عمق جریان از سطح آب قرار داشته باشند، دقت بالاتری خواهد داشت. در شکل (۸) توزیع سرعت دو بعدی با استفاده از روش آنتروپی رنی برای ( ) نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است سرعت جریان در نزدیک دیواره تحت تاثیر نیروی اصطکاک دیوار قرار می‌گیرد و با فاصله از دیواره لوله سرعت افزایش می‌یابد.



شکل ۸- توزیع سرعت دو بعدی برای ۷۰٪ از عمق جریان a) داده‌های مشاهداتی b) داده‌های محاسباتی

به‌منظور بررسی دقت توزیع سرعت دو بعدی تخمین زده شده، در شکل (۹) توزیع قائم سرعت در مرکز لوله، فاصله ۴ میلی‌متر و ۸ میلی‌متر از مرکز لوله در نظر گرفته شد. در جدول (۵) مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای داده‌های مشاهداتی و محاسباتی نشان داده شده است. با استفاده از جدول می‌توان نتیجه گرفت روش آنتروپی رنی دقت بالایی در تخمین توزیع سرعت دو بعدی دارند.



شکل ۹- مقایسه توزیع سرعت یک بعدی برای ۷۰٪ از عمق جریان

جدول ۵- مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در قائم‌های مختلف

X(mm)	NRMSE
۰	۰/۱۳
۴	۰/۲۸
۸	۱/۸۱

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تخمین توزیع سرعت دو بعدی براساس روش آنتروپی با اندازه‌گیری سرعت در دو نقطه استفاده شد. همچنین اثر موقعیت دو نقطه سرعت در برآورد توزیع سرعت بررسی شد و موقعیت بهینه تعیین شد. در ابتدا با تعریف تابع توزیع تجمعی، پارامترهای آنتروپی بهینه شدند، سپس با اندازه‌گیری سرعت در دو نقطه در اعماق ۳۶/۲٪، ۵۰٪ و ۷۰ ٪ از سطح آب از لوله دایره‌ای پروفیل سرعت تخمین زده شد. نتایج نشان دادوقتی دو نقطه اندازه‌گیری در فاصله (۰/۱D-۰/۹D) از سطح آب قرار گیرد، تخمین توزیع سرعت دقیق‌تر خواهد بود.

منابع

تیموری یگانه، م. قبادیان، ر. و حیدری، م.م. ۱۴۰۰. مقایسه روابط مختلف برآورد نیمرخ عمقی سرعت طولی بر مبنای روش بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۲(۴۵): ۱۲۲-۱۳۷.

Chiu C.L. 1988. Entropy and 2-D velocity distribution in open channels. Journal of Hydraulic Engineering, 114(7): 738–56.

Chiu CL. 1989. Velocity distribution in open channel flow. Journal of Hydraulic Engineering, 115(5): 576–94.

Clark S.P. and Kehler N. 2011. Turbulent flow characteristics in circular corrugated culverts at mild slopes. Journal of Hydraulic Research, 49(5): 676–84.

Cui HJ. and Singh VP. 2013. Two-Dimensional velocity distribution in open channels using the Tsallis entropy. ournal of Hydraulic Engineering, 18(3): 331–9.

Jiang Y., Li B. and Chen J. 2016. Analysis of the Velocity Distribution in Partially-Filled Circular Pipe Employing the Principle of Maximum Entropy. PloS ONE, 11(3): e0151578.

Kumbhakar M. and Ghoshal K. 2016. Two dimensional velocity distribution in open channels using Renyi entropy. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 450(15): 546-559

Kumbhakar M. and Ghoshal K. 2017. One-Dimensional velocity distribution in open channels using Renyi entropy. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 31(4): 949–959.

Luo H. and Singh VP. 2011. Entropy theory for two-dimensional velocity distribution. Journal of Hydraulic Engineering, 16(4): 303–15.

Maghrebi M.F. 2006. Application of the single point measurement in discharge estimation. Advances in Water Resources, 29: 1504-1514.

Marini G., Martino GD., Fontana N., Fiorentino M. and Singh VP. 2011. Entropy approach for 2D velocity distribution in-open channel flow. Journal of Hydraulic Research, 49(6): 784–90.

Rahimpour M. and Maghrebi M.F. 2006. Prediction of stage–discharge curves in open-channels using a fixed-point velocity measurement. Journal of Flow Measurement and Instrumentation, 17: 276-281.

Renyi A. 1961. On measures of entropy and information, in: Proceedings, 4th Berkeley Symposium on Mathematics. Statistics and Probability, 4.1: 547–561.

Shannon CE. 1948. A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal, 27(7): 379–423.

Singh V.P. and Luo H. 2011. Entropy theory for distri-

Teymouri Yeganeh M. and Heidari MM. 2020. Estimation of one-dimensional velocity distribution by measuring velocity at two points. Flow Measurement and Instrumentation, 73(2020): 101737.

Yoon J.I., Sung J. and Lee MH. 2012. Velocity profiles and friction coefficients in circular open channels. Journal of Hydraulic Research, 50(4): 304–11.

bution of one-dimensional velocity in open channels. Journal. of Hydrologic Engineering., 16(9): 725-735.

Sterling M. and Knight D.W. 2000. Resistance and boundary shear in circular conduits with flat beds running part full. Proc. ICE Water Maritime Energy,.142(4): 229–40.

2022, Vol.8, No.4, Pages 69 to 76
Journal of Water and Sustainable Development

آب و توسعه پایدار

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ٦٩ تا ٧٦
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Technical paper

نوع مقاله: فنی و ترویجی

Filter Performance of Embankment Dams by No Erosion Filter Test (Case study: Bar and Bidvaz Dam)

A.R. Raeisosadat[1] , A. Akhtarpour[2*], M. Nazari[3]

1,2,3-MSc and Associate Professor and MSc student, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

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

Received: 04-09-2021 Revised: 19-12-2021
Accepted: 22-12-2021 Available Online: 19-03-2022

بررسی فیلتر سدهای خاکی با آزمایش فیلتر مانع فرسایش (مطالعه موردی: سد بار و بیدواز)

علیرضا رئیس السادات[۱]، علی اخترپور[۲*]، ملیحه نظری[۳]

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشیار و دانشجوی کارشناسی‌ارشد ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

Abstract

Internal erosion and piping pose major hazards to earth dams. Experimental method of filter performance evaluation and design method based on criteria with simple parameters are the two main groups of filter selection and design in earth dams. Determining the appropriate gradation for the filter of earth dams, despite the apparent simplicity of experimental criteria, has posed important technical and economic issues for engineers in large numbers of large projects. This problem has become larger in situations where the clay soil is dispersive or suspected of dispersivity because on the one hand, estimating the true potential of dispersivity is not easy due to the multiplicity of detection tests, and on the other hand, the application of few criteria in filter design prevents erosion of available dispersive soils, usually leading to the selection of very fine and costly gradation. With this approach, a no erosion filter test device was made to perform laboratory tests and study the accuracy of the design methods. As a case study, by performing basic dispersivity experiments on the clay core samples of Bar Neishabour and Bidvaz Esfarayen dams, the degree of dispersivity potential in these soils was determined. By performing a number of No Erosion Filter tests, the best grain size of the filter, which prevents the erosion of the soil of Neishabour Bar Dam at different pressures, was obtained with an accuracy of 0.1 mm which is different from the filter executed in the dam. Also by testing the design criteria and the laboratory method of filter design for the core soil of Bidvaz Esfarayen dam, it was found that there is a big difference in the results of each design method.

Keywords: Filter Design Criteria, Internal Erosion, No Erosion Filter Test, Dispersivity.

چکیده

فرسایش داخلی و رگاب مخاطرات اساسی را برای سدهای خاکی و سنگریزه‌ای ایجاد می‌کنند. روش آزمایشگاهی ارزیابی عملکرد فیلتر و روش طراحی بر اساس معیار، با پارامترهای ساده، دو گروه عمده انتخاب و طراحی فیلتر در سدهای خاکی هستند. تعیین دانه‌بندی مناسب برای فیلتر سدهای خاکی، با وجود سادگی ظاهری معیارهای تجربی، در تعداد زیادی از پروژه‌های بزرگ مسائل فنی و اقتصادی مهمی را پیش روی مهندسان قرار داده است. این مشکل، در شرایطی که خاک قرضه واگرا یا مشکوک به واگرایی بوده، گسترش پیدا می‌کند. زیرا از یک‌سو، به دلیل تعداد بسیار آزمایش‌های شناسایی، ارزیابی میزان واقعی واگرایی خاک‌ها چندان ساده نیست و از سوی دیگر، کاربرد معیارهای معدودی که در مراجع برای طراحی فیلتر مانع فرسایش خاک‌های واگرا در دسترس هستند، بیشتر به انتخاب دانه‌بندی‌های بسیار ریز و پرهزینه منجر می‌شود. با این رویکرد دستگاه آزمایش فیلتر مانع فرسایش برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی و مطالعه تفاوت‌های نتایج روش‌های طراحی ساخته شد. به‌عنوان یک مطالعه موردی، با انجام آزمایش‌های پایه و واگرایی بر روی نمونه‌های هسته سدهای بار نیشابور و بیدواز اسفراین، میزان پتانسیل واگرایی در این خاک‌ها مشخص شد. با انجام تعدادی آزمایش فیلتر مانع فرسایش، بهترین دانه‌بندی فیلتری که در فشارهای مختلف مانع از فرسایش خاک هسته سد بار نیشابور می‌شود با دقت ۰/۱ میلی‌متر به‌دست آمد که با فیلتر موجود در سد تفاوت‌هایی دارد. همچنین با بررسی معیارهای طراحی و روش آزمایشگاهی طراحی فیلتر برای خاک هسته سد بیدواز اسفراین مشخص شد تفاوت زیادی در نتایج هرکدام از روش‌های طراحی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: معیارهای طراحی فیلتر، فرسایش داخلی، واگرایی، آزمایش فیلتر مانع فرسایش NEF.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Raeisosadat A.R., Akhtarpour A. and Nazari M. 2022. Filter Performance of Embankment Dams by No Erosion Filter Test (Case study: Bar and Bidvaz Dam). Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 69-76. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2109.1077

مقدمه

پدیده فرسایش داخلی مشکلات فراوانی برای سازه‌های خاکی به‌ویژه سدهای خاکی سنگریزه‌ای به‌وجود می‌آورد. صرف‌نظر از علت‌های بی‌شمار شروع فرسایش داخلی، برای جلوگیری از ادامه آن، از اجرای فیلتر در پایین‌دست و بالادست هسته استفاده می‌شود. فیلترها ۱- از شسته شدن و حرکت ذرات خاک مجاور جلوگیری می‌کنند و ۲- با تأمین نفوذپذیری کافی، تخلیه جریان را آسان می‌نمایند. همچنین فیلتر مناسب توانایی کنترل و ترمیم منافذ و ترک‌های ایجاد شده در هسته را دارد. به‌این‌علت، پیوسته طراحی این بخش از سدهای خاکی حساسیت ویژه‌ای داشته و محققین و مهندسین طراح را با چالش مواجه ساخته است. ملاحظات اقتصادی ناشی از هزینه‌های مراحل تولید فیلتر در حجم وسیع برای یک سد نیز اهمیت طراحی مناسب فیلتر را دوچندان می‌کند. پارامترهای زیادی در عملکرد فیلتر مؤثر می‌باشند که تأثیر هرکدام متفاوت است. این تأثیرات در کنار یکدیگر می‌توانند طراحی فیلتر را تحت تأثیر قرار دهند. بااین‌حال هیچ‌گاه در ارائه معیارهای طراحی، همه پارامترهای مؤثر در کنار یکدیگر بررسی نشده‌اند و هم‌زمان مورد توجه قرار نگرفته‌اند. این پارامترها، متغیرهایی هستند که میان معیارهای طراحی و نتایج آزمایشگاهی اختلاف ایجاد می‌کنند. اما در آزمایش فیلتر کلیه عوامل مؤثر به‌صورت هم‌زمان و با اثر اندرکنشی بر روی یکدیگر در نظر گرفته می‌شوند. استفاده از معیارها روشی بسیار سریع بوده و تنها با محاسبه یک یا چند رابطه، طرحی از فیلتر را در اختیار طراح قرار می‌دهد. اما روش آزمایشگاهی نسبت به روش قبل، زمان‌بر بوده و کنترل‌کننده است. در واقع روش آزمایشگاهی، عملکرد موفق یا ناموفق یک سیستم مشخص از فیلتر-خاک مبنا را ارزیابی می‌کند. علاوه‌برآن واردکردن پارامترهای شناخته‌شده موجود در مدل‌سازی‌های عددی، تحلیلی و آزمایشگاهی برای رسیدن به مدلی واقعی‌تر و کامل‌تر ضروری به نظر می‌رسد.

Terzaghi (۱۹۲۲) اولین معیار طراحی فیلتر را ارائه نمود که دو شرط نفوذپذیری و آب‌شستگی داشت. Bertram (۱۹۴۰) و Lund (۱۹۴۹) از نخستین افرادی بودند که حدود کاربرد معیار Terzaghi (۱۹۲۲) را در آزمایشگاه مطالعه کردند و معیار جدید ارائه دادند. همچنین در مطالعات USACE[1] که در حدود سال‌های ۱۹۴۱ تا ۱۹۴۸ در مرکز تحقیقات آزمایشگاهی آغاز شد همانند مطالعات Terzaghi (۱۹۲۲) دو شرط برای پایداری و نفوذپذیری فیلتر ارائه شد.

Sherard و همکاران (۱۹۸۴) در فاصله سال‌های ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۲ آزمایش‌هایی برای تعیین معیارهای طرح فیلتر انجام دادند و متناسب با نتایج، معیارهایی را ارائه دادند (Sherard و همکاران، ۱۹۸۴). Kenney و Lau (۱۹۸۵) و Lafleur و Mlynarek (۱۹۸۹) با آزمایش‌هایی در خصوص بررسی پایداری داخلی خاک‌ها، معیارهایی را برای طراحی فیلتر ارائه دادند.Fell و Foster (۲۰۰۱)، آزمایش NEF[2] را بهترین آزمایش برای پیداکردن مرزی که از فرسایش جلوگیری می‌کند، پذیرفتند اما سعی کردند با انجام آزمایش دیگری به نام CEF[3] مرزهایی مانند مرز فرسایش اندک و فرسایش اضافی را نیز بیابند. park (۲۰۰۳) مطالعاتی با هدف بررسی توانایی فیلتر در توقف فرسایش ترک در سد خاکی انجام داد که تفاوت‌هایی با آزمایش Sherard وهمکاران (۱۹۸۴) داشت که از جمله این تفاوت‌ها می‌توان به استفاده از ترک به‌جای سوراخ در نمونه اشاره کرد. Tabatabaei shourijeh و Soroush (۲۰۰۹) kdc اهمیت آزمایش NEF در طراحی فیلتر سدهای خاکی را بررسی کردند.

در این مطالعه ۱- عملکرد فیلتر طراحی شده در سد بار نیشابور و بیدواز اسفراین با استفاده از دستگاه آزمایش فیلتر مانع فرسایش که برای همین مطالعه ساخته شده بررسی شد؛ ۲- باتوجه‌به اینکه اصلی‌ترین خطر در خصوص طراحی و کارایی فیلتر در سدهای خاکی پدیده واگرایی است، ارزیابی پتانسیل واگرایی برای هر دو سد و رابطه آن با عملکرد هسته طراحی شده، بررسی شد.

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

- **سد بار:** طرح سد بار در ۲۱ کیلومتری شمال غرب شهرستان نیشابور و شمال شرق شهر فیروزه (بزغان) در مجاورت روستای حسین‌آباد شامل سازه‌های اصلی یک سد اصلی، سد فرعی، سد انحرافی و کانال انتقال آب است. حجم مخزن در تراز نرمال ۲۳/۵ میلیون مترمکعب، حداکثر ارتفاع سد از پی برابر ۴۳/۵ متر، و طول تاج ۱۵۰۰ متر است. در تاریخ ۱۳۹۲/۱/۳۱ مخزن سد بار به میزان تقریبی ۴۰۰ هزار مترمکعب آبگیری شد. در تاریخ ۱۳۹۲/۳/۴ اولین فروچاله‌ها درون مخزن در محدوده‌ای در نزدیکی سد اصلی مشاهده شده است. پس از این موضوع با هماهنگی مشاور و کارفرما آب محدوده فروچاله‌ها به قسمت دیگر مخزن پمپ شد و با پایین آمدن سطح آب مشاهده شد فروچاله‌ها به‌صورت فرسایش پس‌رونده فرسایش یافته‌اند. همچنین علاوه‌بر فروچاله‌ها ترک‌های سطحی و اثراتی از نشست‌های سطحی مشاهده شد. باتوجه‌به اینکه جنس خاک رس بلانکت از همان خاک هسته رسی می‌باشد و ایجاد این فروچاله‌ها احتمال واگرا بودن این خاک را ایجاد نمود؛ ازاین‌رو این مطالعات با هدف بررسی واگرایی و همچنین عملکرد فیلتر سد اصلی انجام شد.

- سد بیدواز اسفراین: سد بیدواز در اسفراین در سال ۱۳۸۴ احداث شد. این سد از نوع سد خاکی سنگ‌ریزه‌ای با هسته مایل است. آبرفت زیر بدنه سد از جنس شن متراکم و با حداکثر عمق ۲۳ متر

است. برای آب‌بندی سد از پرده آب‌بند با بتن پلاستیک استفاده شد. ارتفاع این سد ۶۶ متر و طول تاج آن در حدود ۱۰۴ متر است. حجم کل خاکریز سد در حدود ۲/۲ میلیون مترمکعب و ارتفاع تراز تاج ۱۵۳۴+ است. در اواخر سال ۱۳۹۱ با افزایش تراز آب تا ارتفاع ۱۵۲۱+ متر فروچاله‌هایی در جناح چپ بر روی وجه بالادست و پایین‌دست سد ظاهر شد. بررسی اولیه اعداد گزارش شده از ابزار دقیق نشان می‌دهد فشار آب داخل بدنه از تراز آب مخزن تبعیت می‌کند. این موضوع بیانگر این است که آب مخزن به طور مستقیم با پیزومترهای داخل بدنه سد در ارتباط است. یعنی خاک هسته دچار فرسایش شده یا فیلتر سد به‌صورت ناقص عمل می‌کند. در ادامه با حفر گمانه در بدنه سد و مطالعات ژئوفیزیک وضعیت سد دقیقتر بررسی شد. نتایج نشان داد خاک هسته در جناح چپ سد دچار آسیب و فرسایش شده است. برای توجیه مشاهدات ۳ فرضیه بیان شده است. فرضیه اول وقوع شکست هیدرولیکی و به دنبال آن فرسایش داخل مصالح هسته می‌باشد. فرضیه دوم شسته شدن مصالح هسته به داخل درز و ترک سنگ بستر و فرضیه سوم شسته شدن خاک هسته به داخل پی آبرفتی است. باتوجه‌به بافت دانه‌ای خاک پی مصالح هسته سد فرضیه‌های دوم و سوم زمانی به وقوع می‌پیوندد که فیلتر سد به‌صورت ناموفق عمل کند.

• بررسی واگرایی و آزمایش‌های پایه بر روی مصالح

برای انجام مطالعه بر روی این دو سد، ۶ نمونه از خاک هسته سد بار و ۱ نمونه از خاک هسته سد بیدواز به آزمایشگاه منتقل شد. همچنین برای ارزیابی میزان پتانسیل واگرایی دو نمونه از شش نمونه (نمونه‌های شماره ۲ و ۶) اخذ شده از خاک قرضه سد بار نیشابور و نمونه گرفته‌شده از سد بیدواز انتخاب و پس از انجام آزمایش دانه‌بندی و هیدرومتری و آزمایش تراکم استاندارد هر چهار آزمایش هیدرومتری دوگانه، شیمیایی، پین هول و کرامب بر روی آن انجام شد. نتایج آزمایش واگرایی و دانه‌بندی و به شرح جدول (۱) است. حدود مصالح هسته و فیلتر در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی نهایی واگرایی نمونه‌های خاک هسته

ردیف	شماره نمونه	آزمایش هیدرومتری مضاعف	آزمایش پین هول	آزمایش شیمیایی	آزمایش کرامب	نتیجه‌گیری
۱	۲ سد بار	غیر واگرا	ND۳	نیمه واگرا	واکنش متوسط	نیمه واگرا
۲	۶ سد بار	غیرواگرا	ND۴	نیمه واگرا	واکنش متوسط	نیمه واگرا
۳	۱ سد بیدواز	غیر واگرا	ND۲ , ND۱	غیر واگرا	واکنش خفیف	غیر واگرا

جدول ۲- حدود مصالح هسته و فیلتر سد بار نیشابور

خاک	$D_{۱۰}$	$D_{۱۵}$	$D_{۳۰}$	$D_{۶۰}$	$D_{۸۵}$	۴/۷۵mm>٪	۰/۰۷۵mm>٪	C_u	C_c
پوش ریز هسته	-	-	۰/۰۰۶۵	۰/۰۲۷	۰/۰۷۵	۰	۱۵	-	-
پوش درشت هسته	-	۰/۰۰۴	۰/۰۱۷	۴/۵	۵۱	۳۸	۵۴	-	-
پوش ریز فیلتر	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۶	۱/۵	۵۵	۱۰۰	۵	۰/۸
پوش درشت فیلتر	۰/۴۲	۰/۵	۱	۳	۲۵	۹۰	۱۰۰	۷/۱۵	۰/۷۹

• معرفی دستگاه آزمایش و مکانیزم آزمایش

Sherard و همکاران (۱۹۸۴) آزمایش فیلتر مانع فرسایش NEF که قابل استفاده برای خاک‌های نفوذناپذیر (شامل مقدار زیادی درشت‌دانه) باشد، ابداع کردند. با انجام این آزمایش می‌توان اندازه $D_{۱۵}$ فیلتر بحرانی را درحالی‌که هیچ‌گونه فرسایشی در دیواره کانال جریان مشاهده نشود، تعیین کرد. دستگاه ساخته شده در این تحقیق پیچیدگی زیادی ندارد و ساخت آن از مقاله Sherard و همکاران (۱۹۸۴) ایده گرفته شد و هر دو آزمایش NEF و CEF توسط این دستگاه قابل انجام است. این دستگاه شدیدترین شرایط نشت متمرکز از داخل هسته رسی ترک خورده را در سیستم خاک فیلتر را مدل می‌کند. در شکل (۱) نمایی از دستگاه ساخته شده، مشاهده می‌شود.

در آزمایش‌هایی که $D_{۱۵}$ فیلتر به‌کار رفته، کوچکتر از $D_{۱۵}$ فیلتر بحرانی باشد، افزایش مشخصی در قطر سوراخ اولیه در نمونه خاک مبنا، مشاهده نمی‌شود اما زمانی‌که $D_{۱۵}$ فیلتر به‌کار رفته، بزرگتر از $D_{۱۵}$ فیلتر بحرانی باشد، سوراخ اولیه دچار فرسایش شده و میزان فرسایش با افزایش $D_{۱۵}$ زیاد می‌شود. برای هر خاک مبنایی، مقدار $D_{۱۵}$ فیلتر بحرانی منحصربه‌فرد بوده و می‌توان با آزمایش NEF آن را با دقت ۰/۱ میلی‌متر تعیین کرد (Sherard و Dunnigan، ۱۹۸۵). به‌عبارت‌دیگر برای هر خاک مبنا می‌توان این مقدار را به‌عنوان یکی از خواص اصلی خاک (مانند حدود اتربرگ یا مقاومت برشی)، در نظر گرفت. کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ در نشریه شماره ۹۵ (ICOLD، ۱۹۹۴)، انجام آزمایش NEF را برای تعیین مشخصات فیلتر بحرانی توصیه کرده است.

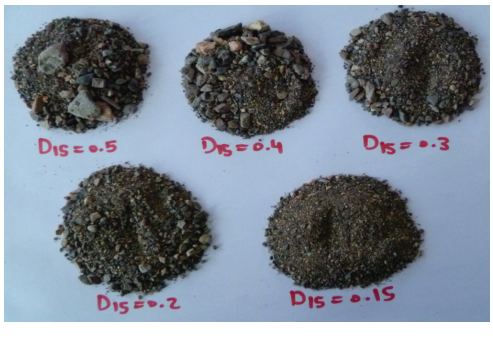
شکل ۱- نمایی از دستگاه ساخته شده

• ساخت فیلتر

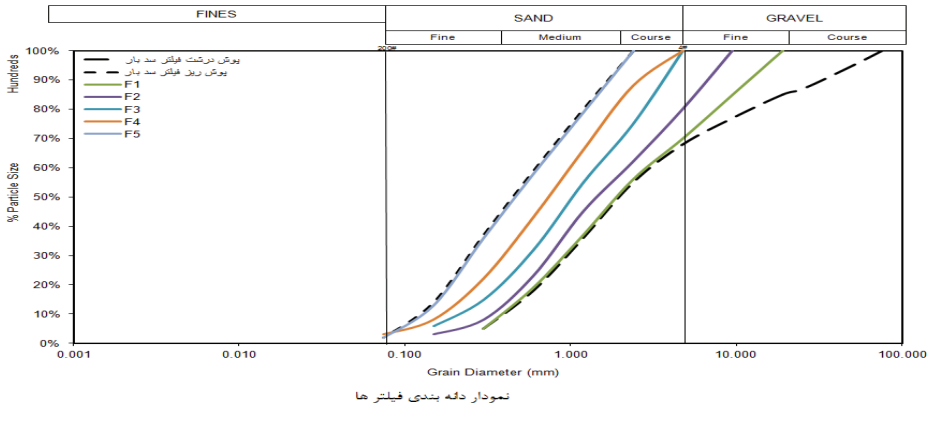
برای ساخت فیلتر ابتدا مصالح با نزدیکترین الک‌های موجود از هم تفکیک شد. به دلیل اینکه رنگ آب خروجی آزمایش یکی از پارامترهای تفسیر نتایج است، مصالح مانده روی هر الک به‌دقت شسته و دسته‌بندی شد. برای این مطالعه تعداد ۵ نوع فیلتر ساخته شد که تفاوت اصلی آن‌ها در اندازه دانه‌بندی با تمرکز بر اندازه مشخصه $D_{۱۵}$ بود. تصویری از فیلترهای ساخته شده در شکل (۲) نشان‌داده‌شده است. همچنین باتوجه‌به اینکه برای انجام آزمایش NEF نیاز به دانستن دانسیته نسبی فیلتر است، بر روی مصالح فیلتر با دانه‌بندی مطابق شکل (۳) آزمایش‌های تعیین حداکثر و حداقل وزن مخصوص طبق روش استاندارد ASTM D۴۲۵۴ و ASTM D۴۲۵۳ انجام شد. مقدار $D_{۱۵}$ برای هر فیلتر در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- مقادیر $D_{۱۵}$ متناظر هر فیلتر

فیلترهای آماده شده در آزمایشگاه					
نام فیلتر	$F_۱$	$F_۲$	$F_۳$	$F_۴$	$F_۵$
$D_{۱۵}$	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱۵



شکل ۲-دانه‌بندی فیلترها



شکل ۳- نمودار دانه‌بندی تمام فیلترهای ساخته شده

هدف از انجام آزمایش‌های NEF تعیین فیلتر بحرانی است که مانع از فرسایش مصالح هسته شود. در مجموع ۱۶ آزمایش NEF بر روی ۶ نمونه هسته سد بار انجام شده است. در تمامی آزمایش‌ها از آب شهری برای برقراری جریان عبوری استفاده شده است. آزمایش‌های NEF در دو سری الف و ب، به شرح ذیل انجام شده‌اند:

آزمایش‌های سری الف: در این آزمایش‌ها همانند آزمایش‌های مرسوم NEF از فشار آب ۴۰۰ کیلو پاسکال استفاده شده است.

آزمایش‌های سری ب: در این آزمایش‌ها از فشار آب ۲۰۰ کیلو پاسکال استفاده شد.

برای ارزیابی کیفی و ظاهری کدورت جریان خروجی بر اساس مشاهده پساب خروجی، جدول (۴) برای یکسان‌سازی نتایج ارائه شده است (سروش و طباطبایی، ۱۳۹۰).

جدول ۴- نمادهای مورد استفاده برای نشان‌دادن کدورت جریان خروجی

علامت اختصاری	تفسیر	
VD	Very Dark	کاملاً تیره
D	Dark	تیره
MD	Moderately Dark	نسبتاً تیره
SD	Slightly Dark	کمی تیره
BV	Barely Visible	تقریباً واضح
C	Clear	شفاف
PC	Perfectly Clear	کاملاً شفاف

نتایج

• نتیجه آزمایش NEF در سد بار و پوش اصلاح شده مصالح فیلتر

براساس نتایج آزمایش‌های NEF پوش اصلاح شده مصالح فیلتر بحرانی به‌صورت شکل (۶) و جدول (۷) پیشنهاد می‌شود. در این شکل فیلتر $F_۳$ نمایانگر مرز درشت پوش فیلتر است و مرز ریز فیلتر بدون تغییر باقی می‌ماند. در جدول (۵) و (۶) نتایج آزمایشات با فشارهای ۴ و ۲ بار نشان داده شده است.

باتوجه به نتایج، پوش اصلاح شده برای فیلتر سد بار به‌دست آمد و در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج آزمایش‌های NEF با فشار ۴ بار (سد بار)

شماره آزمایش	مشخصات خاک مبنا		مشخصات فیلتر		$D_{۱۵}/D_{۸۵}$	تطابق با معیار طراحی	زمان آزمایش (دقیقه)	فشار آب (bar)	نتیجه آزمایش
	نمونه هسته	PI (٪)	نمونه فیلتر	D_r (٪)					
۱	۱	۱۲	$F_۱$	۸۰	۹/۰۹	خیر	۸	۴	ناموفق
۲	۱	۱۲	$F_۱$	۸۰	۹/۰۹	خیر	۷	۴	ناموفق
۳	۱	۱۲	$F_۱$	۸۰	۹/۰۹	خیر	۹	۴	ناموفق
۴	۲	۱۱	$F_۱$	۷۰	۹/۴	خیر	۱۰	۴	ناموفق
۵	۳	۱۰	$F_۱$	۷۵	۱۰	خیر	۸	۴	ناموفق
۶	۴	۱۱	$F_۱$	۸۰	۱۰/۴	خیر	۱۰	۴	ناموفق
۷	۵	۱۲	$F_۱$	۸۰	۸/۹	بله	۱۱	۴	ناموفق
۸	۶	۱۱	$F_۱$	۸۰	۹/۴	خیر	۱۰	۴	ناموفق
۹	۵	۱۲	$F_۲$	۸۰	۷/۱۴	بله	۱۰	۴	ناموفق
۱۰	۵	۱۲	$F_۳$	۸۰	۵/۳۵	بله	۱۰	۴	ناموفق
۱۱	۵	۱۲	$F_۴$	۸۰	۳/۵۷	بله	۱۱	۴	موفق
۱۲	۲	۱۱	$F_۴$	۸۰	۳/۷۷	بله	۸	۴	موفق
۱۳	۵	۱۲	$F_۵$	۸۰	۲/۶	بله	۸	۴	موفق

جدول ۴- نتایج آزمایش‌های NEF با فشار۲ بار (سد بار)

شماره آزمایش	مشخصات خاک مبنا		مشخصات فیلتر		$D_{۱۵}/D_{۸۵}$	تطابق با معیار طراحی	زمان آزمایش (دقیقه)	فشار آب (bar)	نتیجه آزمایش
	نمونه هسته	PI (٪)	نمونه فیلتر	D_r (٪)					
۱۴	۵	۱۲	$F_۳$	۸۰	۵/۳	بله	۶	۲	موفق
۱۵	۵	۱۲	$F_۲$	۸۰	۷/۱۴	بله	۱۰	۲	ناموفق
۱۶	۲	۱۱	$F_۳$	۸۰	۵/۶	بله	۷	۲	موفق

جدول ۷- مشخصات دانه‌بندی پوش اصلاح شده براساس نتایج آزمون NEF (سد بار)

خاک	قطر مشخصه (میلیمتر)					۴/۷۵>٪	۰/۰۷۵>٪	C_U	C_C
	$D_{۱۰}$	$D_{۱۵}$	$D_{۳۰}$	$D_{۶۰}$	$D_{۸۵}$	mm	mm		
پوش ریز فیلتر	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۶	۱/۵	۱۰۰	۰	۴/۶	۰/۸
پوش درشت فیلتر	۰/۲۲	۰/۳	۰/۵۵	۱/۵	۳/۲	۱۰۰	۰	۶/۸۱	۰/۹۱

شکل (۴) به ترتیب الف و ب تصویری از نمونه موفق و ناموفق در انتهای آزمایش را نشان می‌دهد. همچنین در شکل (۵) منحنی پوش اصلاح شده فیلتر برای سد بار نشان داده شده است.

• آزمایش‌های NEF روی سد بیدواز و نتایج آن‌ها

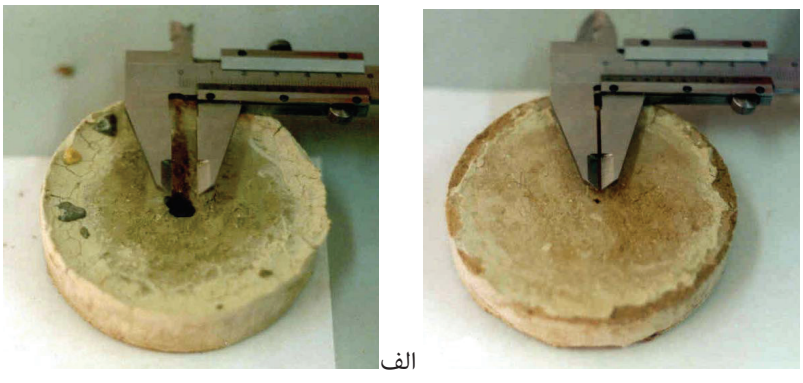
در مجموع ۵ آزمایش NEF بر روی ۱ نمونه هسته انجام شد. در تمامی آزمایش‌ها از آب شهری برای برقراری جریان عبوری استفاده شده است. آزمایش‌های NEF در دو سری الف و ب به شرح ذیل انجام شد:

آزمایش‌های سری الف: در این آزمایش‌ها همانند آزمایش‌های مرسوم NEF از فشار آب ۴۰۰ کیلو پاسکال استفاده شد.

آزمایش‌های سری ب: در این آزمایش‌ها از فشار آب ۲۰۰ کیلو پاسکال استفاده شد.

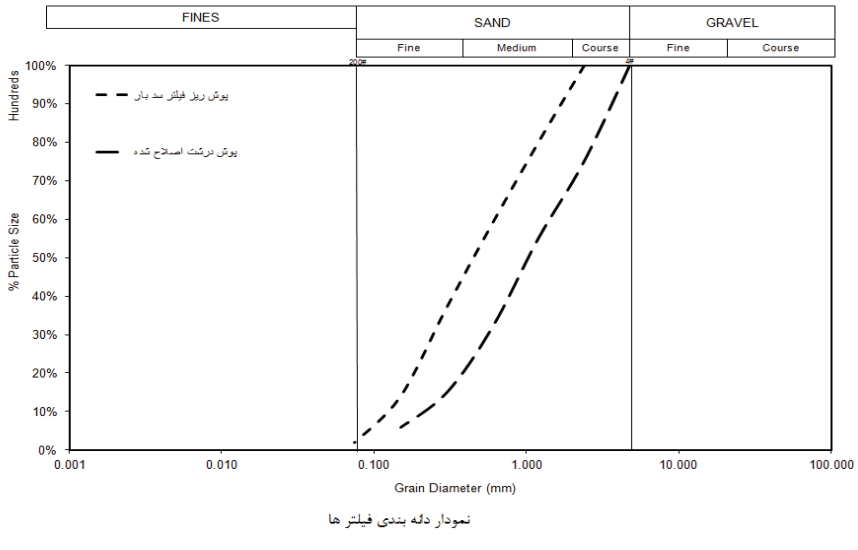
برای ارزیابی کیفی و شهودی کدورت جریان خروجی بر اساس مشاهده پساب خروجی، از جدول (۴) استفاده شد.

در جدول (۸) نتایج حاصل از آزمایشات با معیارهای گفته شده مقایسه شدند، و در شکل (۶) منحنی دانه‌بندی فیلتر بر اساس این آزمایشات رسم شده است.



الف ب

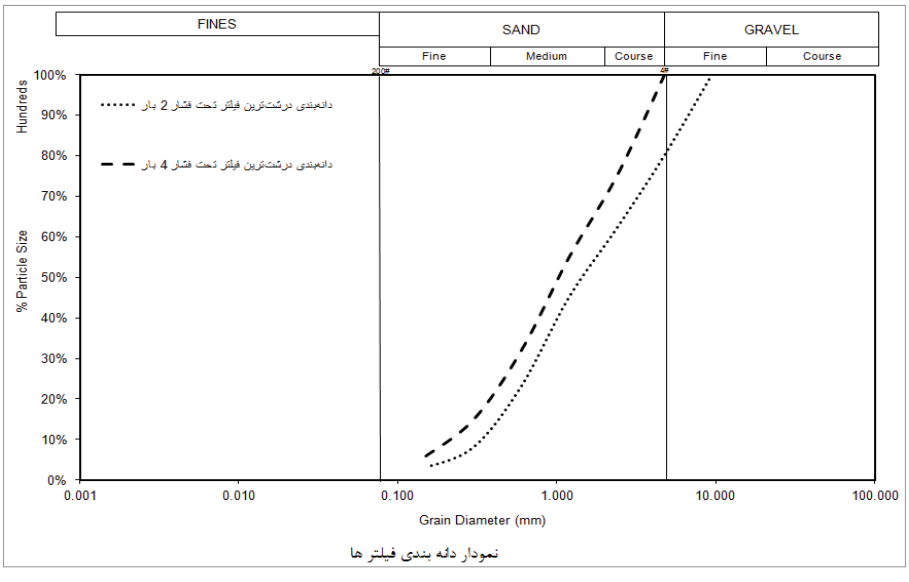
شکل ۴- الف و ب به ترتیب نمونه موفق و ناموفق در انتهای آزمایش



شکل ۵- منحنی دانه‌بندی پوش اصلاح شده سد بار بر اساس نتایج آزمون NEF

جدول ۸- مقایسه نتایج آزمایش NEF با معیار شرارد-دانیگان و فل-فاستر

شماره آزمایش	گروه خاک مبنا	فیلتر	D_{15F}	ارضای معیار شرارد و دانیگان	ارضای معیار فل و فاستر	فشار آزمایش	نتیجه آزمایش NEF
۱	۲	$F_۳$	۰/۳	بله	بله	۲	موفق
۲	۲	$F_۴$	۰/۴	بله	بله	۲	موفق
۳	۲	$F_۵$	۰/۵	بله	بله	۲	ناموفق
۴	۲	$F_۳$	۰/۳	بله	بله	۴	موفق
۵	۲	$F_۴$	۰/۴	بله	بله	۴	ناموفق



شکل ۶- منحنی دانه بندی فیلترهای طراحی شده برای هسته سد بیدواز به وسیله آزمون NEF

نتیجه‌گیری

معیارهای تجربی طراحی فیلتر بر اساس تعداد زیادی آزمایش‌های عملکرد فیلتر توصیه شده است، اما نتایج عملکرد فیلتر وابسته به نوع خاک بوده و بدون انجام آزمایش‌های NEF و تنها بر اساس این معیارهای تجربی نمی‌توان به‌طورقطع از موفقیت عملکرد فیلتر اطمینان حاصل نمود، این مسئله به طور خاص در خاک‌های واگرا اهمیت بیشتری دارد. همچنین در برخی از سدها نیز این معیارها محافظه‌کارانه است و استفاده از آزمایش‌های NEF می‌تواند فیلتر اقتصادی‌تری را طراحی و اجرا نماید.

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده در آزمایش‌ها و مقایسه‌هایی که با نتایج معیارها انجام شده، روشن است معیارهای به‌کار گرفته شده نتوانسته‌اند تصویری واقعی از عملکرد فیلتر در برابر خاک مبنا ارائه کنند. از طرفی برخی سازگاری‌ها میان نتایج آزمایشگاه و ارضای معیارها حاکی‌از وجود توانایی این روابط در پیش‌بینی رفتار فیلتر است. این نکته به‌این معنا است که نمی‌توان به‌طورقطع استفاده از معیارها را به‌عنوان روش‌هایی ناکارآمد کنار گذاشت بلکه اصلاحات و تحقیقات بیشتری نیاز است تا معیارها را به توانایی کامل جهت انتخاب فیلتری مناسب، هرچند در محدوده‌ای مشخص از خاک‌ها، رهنمون سازند. به‌عبارت‌دیگر این تحقیقات باید دامنه توانایی هر معیار را روشن ساخته و اصلاحاتی نو در رفع دامنه ضعف آن بیابد.

- نتایج پژوهش نشان داد آزمایش NEF می‌تواند در طرح دقیق فیلتر سدهای خاکی در مرحله طراحی بسیار مفید و قابل‌استفاده باشد، بنابراین توصیه می‌شود در شروع عملیات اجرایی هم‌زمان با تولید مصالح فیلتر در کارگاه مطالعات مشابه این تحقیق صورت گیرد.

- باتوجه‌به نتایج آزمایش واگرایی در جدول (۱)، خاک هسته سد بار نیمه واگرا بوده که خطر فرسایش داخلی را افزایش داده و از طرفی باعث طرح فیلتر ریز و پرهزینه می‌شود.

- فیلتر بحرانی با $D_{۱۵}$ برابر با ۰/۳ میلیمتر در شرایط استفاده از فشار آب ۲ بار و فیلتر بحرانی با $D_{۱۵}$ برابر با ۰/۲ میلیمتر

در شرایط استفاده از فشار ۴ بار در آزمایش NEF، مانع از فرسایش هسته سد بار نیشابور است. درحالی‌که فیلتر بحرانی استفاده شده در سد بار با $D_{۱۵}$ برابر با ۰/۵ میلیمتر (پوش درشت فیلتر طراحی شده) است که توانایی پیشگیری فرسایش مصالح هسته را ندارد.

- براساس آزمایش‌های NEF انجام شده و در نظر گرفتن ارتفاع سد، فیلتر بحرانی با $D_{۱۵}$ کوچکتر از ۰/۳ میلیمتر و یا حداکثر مساوی با ۰/۳ میلیمتر توانایی پیشگیری فرسایش مصالح هسته در بدنه سد بار نیشابور را دارد، همچنین بر اساس نتایج آزمایش‌های NEF، پوش اصلاح شده فیلتر برای بدنه سد بار نیشابور پیشنهاد شد.

- فیلتر بحرانی با $D_{۱۵}$ برابر با ۰/۴ میلیمتر در شرایط استفاده از فشار آب ۲ بار و فیلتر بحرانی با $D_{۱۵}$ برابر با ۰/۳ میلیمتر در شرایط استفاده از فشار آب ۴ بار در آزمایش NEF، توانایی پیشگیری فرسایش مصالح هسته سد بیدواز اسفراین را دارد.

نتایج این مطالعه بیان می‌کند احتمال فرسایش داخلی در هسته سد بار بسیار زیاد است و در مرحله پایش سد باید توجه خاصی به آن صورت گیرد. هرگونه مشاهده آب گل‌آلود در پایین‌دست می‌تواند نشانه‌ای از وقوع فرسایش داخلی در هسته سد باشد.

پی‌نوشت

1-U. S. Army Corps of Engineering

2-No Erosion Filter Test

3-Continuing Erosion Filter Test

منابع

سروش، ع. و طباطبایی، پ. ۱۳۹۰. پژوهش نظری و آزمایش‌های فیلتر و فرسایش در مصالح سد مخزنی سومبار. شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان شمالی. طرح تحقیقاتی شماره ۱۰۱۰/۱۲۷/۴۴.

Bertram G. E. 1940. An Experimental Investigation of Protective Filters. Harvard Soil Mechanics Series No.7, Graduate School of Engineering Harvard University, Combrige, MA.

Foster M. and Fell R. 2001. Assessing Embankment Dam Filters that Do Not Satisfy Design Criteria. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127(5): 398–407.

ICOLD. 1994. Embankment Dams Granular Filters and Drains, Bulletin No.95.

Kenney T.C. and Lau D. 1985. Internal Stability of Granular Filters. Canadian Geotechnical Journal, 22: 215-225.

Lafleur J. and Mlynarek J. 1989. Filtration of Broadly Graded Cohesionless Soils. Journal of Geotechnical Engineering, 115(12): 1747-1

Lund A. 1949. An Experimental Study of Graded Filters. Master of Science thesis in University of London.

Park Y. 2004. Investigation of the Ability of Filters to Stop Erosion through Cracks in Dam. PhD Thesis in Civil Engineering Virginia Polytechnic Institute and State University.

Sherard J. L., Dunnigan L. P. and Talbot J. R. 1984. Basic Properties of Sand and Gravel Filters. Journal of Geotechnical Engineering, 6: 684–700.

Tabatabaei Shourijeh P. and Soroush A. 2009. A Review of the No Erosion Filter Test. Geotechnical Testing Journal, 32(3): 209-218.

Terzaghi K. 1922. Der Grundguch an Stauwerken und seine Verhütung (The failure of dams by piping and its prevention). Die Wasserkraft, 17: 445–449.

2022, Vol.8, No.4, Pages 77 to 86
Journal of Water and Sustainable Development

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ٧٧ تا ٨٦
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Investigation on Efficiency of Response Surface Methodology (RSM) to Optimize Coagulation Process for Arsenic Removal from Water

M. Mirshahi[1], M. Irandost[2*]

1,2- MSc Student in Agricultural Engineering and Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University of Kerman, Kerman, Iran.

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

Received: 11-08-2021 Revised: 19-11-2021
Accepted: 06-12-2021 Available Online: 19-03-2022

بررسی کاربرد روش رویه پاسخ در بهینه‌سازی فرآیند انعقاد جهت حذف آرسنیک از آب

مجید میرشاهی[۱]، محسن ایراندوست[۲*]

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی و استادیار، گروه علوم و مهندسی آب دانشکده فنی-مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، کرمان، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

Abstract

Arsenic is a carcinogenic contaminant, and arsenic-contaminated drinking water is the major source of exposure to this hazardous metal. In recent years, the city of Sirjan has faced the problem of water sources pollution to arsenic and due to the existence of conventional water treatment plants in this city, the results of this study can be an important step to reduce and even eliminate this problem. In this study, the response surface methodology used to investigate the effect of pH (7,8,9), turbidity (<1,5,10,15,20 NTU), initial arsenic concentration (50,100,150,200,250 µg/l) and coagulant dose (5,10,15,20,25,30 mg/l) on the residual arsenic concentration after coagulation and flocculation process using ferric chloride. Synthesis of the tested samples was performed using the effluent of the treatment plant. Based on the results, the variables under study follow a quadratic model. The predicted quadratic model for the behavior of the parameters fits the results well. Investigation of the interaction effects of variables showed that the concentration of residual arsenic is greatly affected by pH so that by increasing it in the study area, the concentration of arsenic output also increases. This negative effect of increasing pH can be partially compensated by increasing turbidity. According to the coefficients of factors in this model, linear and square effects of pH, the interaction of pH and turbidity, and the linear effect of coagulant dose had the greatest effect on residual arsenic concentration. Taking into consideration of operation conditions, at pH=8, turbidity=5 NTU, using 20mg/l coagulant, reduced arsenic concentration from 150 µg/l to 3.84 µg/l.

Keywords: Arsenic, coagulation-flocculation, Response Surface Methodology.

چکیده

آرسنیک آلاینده‌ای سرطان‌زا و آب آشامیدنی آلوده به آرسنیک منبع اصلی در معرض قرارگیری با این فلز خطرناک می‌باشد. در سال‌های اخیر شهرستان سیرجان با مشکل آلودگی منابع آبی به آرسنیک مواجه شده و باتوجه‌به وجود تصفیه‌خانه متعارف آب در این شهر، نتایج این پژوهش می‌تواند گام مهمی در جهت کاهش و حتی مرتفع نمودن این مشکل به حساب آید. در این تحقیق با استفاده از روش رویه پاسخ، تأثیر فاکتورهای pH(۷،۸،۹)، کدورت (<۱،۵،۱۰،۱۵،۲۰ NTU)، غلظت اولیه آرسنیک (۵۰،۱۰۰،۱۵۰،۲۰۰،۲۵۰ µg/l) و دوز منعقدکننده (۱۰،۱۵،۲۰،۲۵،۳۰ mg/l) بر غلظت آرسنیک باقیمانده بعد از فرآیند انعقاد با استفاده از کلرورفریک بررسی شد. سنتز نمونه‌های مورد آزمایش با استفاده از آب خروجی تصفیه‌خانه انجام شد. بر اساس نتایج حاصل، رفتار متغیرهای مورد بررسی از یک مدل درجه دوم پیروی می‌کند. مدل درجه دوم پیش‌بینی شده برای رفتار پارامترها به خوبی به نتایج به‌دست آمده برازش شد. بررسی اثرات متقابل متغیرها نشان داد غلظت آرسنیک باقیمانده تا حد زیادی تحت تأثیر pH می‌باشد به طوری‌که با افزایش آن در محدوده مورد مطالعه، غلظت آرسنیک خروجی نیز افزایش می‌یابد. این تأثیر منفی افزایش pH تا حدی با افزایش کدورت قابل جبران می‌باشد. باتوجه‌به ضرایب فاکتورهای مدل، اثر خطی و مربعی pH، اثر متقابل pH و کدورت و اثر خطی دوز منعقدکننده بیشترین تأثیر را در غلظت آرسنیک باقیمانده داشتند. باتوجه‌به شرایط بهره‌برداری از تصفیه‌خانه، در pH=۸، کدورت ۵ NTU، با مصرف ۲۰ mg/l منعقدکننده، آرسنیک موجود از ۱۵۰ µg/l به ۳/۸۴ µg/l کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: آرسنیک، انعقاد-لخته‌سازی، روش رویه پاسخ.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Mirshahi M. and Irandost M. 2022. Investigation on Efficiency of Response Surface Methodology (RSM) to Optimize Coagulation Process for Arsenic Removal from Water. Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 77-86. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2108.1072

مقدمه

آرسنیک یک شبه فلز موجود در پوسته زمین است که جزء اصلی بیش از ۲۰۰ ماده معدنی را تشکیل می‌دهد (Baskan و Pala، ۲۰۱۰؛ Parmanik و همکاران، ۲۰۱۶). آرسنیک موجود در آب از منابع طبیعی و انسان‌ساخت ناشی می‌شود (Mishra و Ramaprabhu، ۲۰۱۱؛ Mondal و همکاران، ۲۰۱۳). اثرات بهداشتی این آلاینده سمی از جمله عوارض پوستی، انواع گوناگون سرطان (پوست، کبد، مثانه، کلیه، شش)، نارسایی قلبی، تنفسی و عصبی منجر شد که سازمان بهداشت جهانی (در سال ۱۹۹۳) و سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (در سال ۲۰۰۰) استاندارد آرسنیک در آب آشامیدنی را از ۵۰ میکروگرم بر لیتر به ۱۰ میکروگرم بر لیتر کاهش دهد (Hu و همکاران، ۲۰۱۲؛ Kong و همکاران، ۲۰۱۷؛ Pio و همکاران، ۲۰۱۵).

آب آشامیدنی آلوده به آرسنیک به‌عنوان منبع اصلی در معرض قرارگیری با این فلز خطرناک یک خطر بهداشتی عمومی در سراسر جهان محسوب می‌شود (Pio و همکاران، ۲۰۱۵؛ Hu و همکاران، ۲۰۱۲). آرسنیک در چندین حالت اکسیداسیون می‌تواند وجود داشته باشد اما در آب‌های طبیعی اغلب در اشکال معدنی و به‌صورت اکسی‌آنیونی از آرسنات (As(V)) و آرسنیت (As(III) وجود دارد (Mishra و Ramaprabhu، ۲۰۱۱؛ Mondal و همکاران، ۲۰۱۳). آرسنیک سه ظرفیتی (آرسنیت) سمی‌تر از گونه پنج ظرفیتی (آرسنات) بوده و مطالعات قبلی سمیت ۱۰ برابری آن را نشان می‌دهد (Mishra و Ramaprabhu، ۲۰۱۱).

تاکنون تکنولوژی‌های مختلفی شامل انعقاد شیمیایی، نرم‌سازی با آهک، جذب روی انواع جاذب‌ها، تعویض یون، الکترودیالیز، اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون، الکتروکواگولاسیون و فرآیندهای بیولوژیکی برای حذف آرسنیک از آب مورد استفاده قرار گرفته است (Baskan و Pala، ۲۰۱۰؛ Mólgora و همکاران، ۲۰۱۳؛ Pio و همکاران، ۲۰۱۵؛ Pramanik و همکاران، ۲۰۱۶). در این بین انعقاد و ته نشینی، قدیمی‌ترین تکنیک شناخته شده برای حذف فلزات از آب می‌باشد (Mólgora و همکاران؛ ۲۰۱۳). به‌طوری‌که انعقاد با یون‌های آهن برای حذف آرسنیک به دهه ۱۹۶۰ برمی‌گردد (Song و همکاران، ۲۰۰۶). این روش به‌دلیل سهولت کاربرد، هزینه‌های پایین و راندمان بالا به‌طور گسترده‌ای در کشورهای در حال توسعه استفاده می‌شود (Song و همکاران، ۲۰۰۶؛ Mólgora و همکاران، ۲۰۱۳). نمک‌های آهن و آلومینیوم بیشترین کاربرد را در مراکز فرآیند انعقاد و لخته‌سازی دارند اگرچه مواد دیگری نیز موجود است که پتانسیل خوبی برای ایفای این نقش را دارند (Anouzla و همکاران، ۲۰۰۹؛ Beltrán-Heredia و همکاران، ۲۰۱۰؛ Bhatia و همکاران، ۲۰۰۷؛ Carvalho و همکاران، ۲۰۰۲؛ Franceschi و همکاران، ۲۰۰۲؛ Omar و همکاران، ۲۰۰۸).

فاکتورهای بسیاری بر روی کارایی روش انعقاد و لخته‌سازی تاثیر گذارند که از جمله آن‌ها می‌توان به دما، pH، زمان اختلاط و غلظت منعقدکننده اشاره کرد (Wang و همکاران، ۲۰۰۷). بهینه سازی این فاکتورها آن هم به‌صورت هم‌زمان به طور قطع کارایی روش انعقاد و لخته سازی را بالاتر خواهد برد (Anouzla و همکاران، ۲۰۰۹؛ Beltrán-Heredia و همکاران، ۲۰۱۰؛ Kaboosi و همکاران، ۲۰۱۴؛ Omar و همکاران، ۲۰۰۸؛ Wang و همکاران، ۲۰۰۷).

استفاده از روش بهینه‌سازی سنتی در آنالیز چند فاکتور علاوه‌بر زمان‌بر بودن، به مواد شیمیایی زیادی نیاز دارد و دقت آن نیز به‌دلیل خطای بالا کم است. همچنین در این روش امکان بررسی اثرات متقابل متغیرها وجود ندارد (Mohajeri و همکاران، ۲۰۱۰). روش‌های طراحی آماری آزمایش‌ها مانند روش رویه پاسخ (RSM) علاوه‌بر رفع محدودیت‌های بالا اثرات متقابل متغیرها را نیز بررسی می‌کند. این روش برای مدل‌سازی آنالیز اثرات متغیرهای مستقل منفرد روی یک متغیر پاسخ (وابسته) و تغییرات آن‌ها در جهت دستیابی به یک پاسخ بهینه به‌کار می‌رود (جمالی و همکاران، ۱۳۹۵). یک مدل مطلوب در روش رویه پاسخ طرح مرکب مرکزی (CCD) است که در فراهم کردن اطلاعات کافی در مورد اثرات متغیرها و اثرات خطای آزمایش حتی با تعداد کمی از آزمایش‌ها کارایی و انعطاف لازم را دارد (Ahmad و همکاران، ۲۰۰۵). هدف از این پژوهش به کارگیری روش رویه پاسخ و طرح مرکب مرکزی به‌منظور بهینه‌سازی حذف آرسنیک از آب طی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

-آماده‌سازی نمونه‌ها:

این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی روی نمونه‌های سنتزی و با هدف استفاده از نتایج آن در تصفیه‌خانه آب سیرجان انجام شد. محلول استوک آرسنات با غلظت ۱۰۰۰ میکروگرم بر لیتر با استفاده از محلول استاندارد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر آرسنات (ساخت شرکت مرک آلمان) در آب دیونیزه تهیه شد. سپس نمونه‌های سنتزی با اختلاط حجم مناسبی از این محلول استوک با آب شیر تهیه شدند. در این مطالعه منظور از آرسنیک، گونه پنج ظرفیتی آن یعنی آرسنات است. جهت تنظیم pH نمونه‌ها از اسید هیدروکلریدریک و یا هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال ، محصول شرکت مرک آلمان استفاده شد. کدورت مورد نظر با استفاده از روآب محلول خاک رسی که به مدت ۲۴ ساعت ماندگاری داشت تامین شد. ماده منعقد کننده مورد بررسی در این پژوهش کلرورفریک ۴۰ درصد بود که با فرمول $FeCL_3$ و به صورت مایع از شرکت کیمیا مهر رازی تهیه شد.

- تجهیزات مورد استفاده:

در این پژوهش اندازه‌گیری pH نمونه‌ها با دستگاه pH متر Metrohm-۹۱۴ انجام شد. کدورت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کدورت‌سنج HACH-Q۲۱۰۰ تعیین و جهت اندازه‌گیری آرسنیک باقی‌مانده در نمونه‌ها از دستگاه جذب اتمی مدل Agilent ۲۱۰۰AA استفاده شد.

- آزمایش جار:

آزمایش جار در واقع مدل کوچکی از واحدهای انعقاد (اختلاط سریع)، لخته‌سازی (اختلاط کند) و ته‌نشینی است که در آن از ظرف‌های یک لیتری استاندارد مجهز به همزن به‌عنوان ظرف آزمایش استفاده می‌شود. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها طبق طرح آزمایش، زمان و سرعت اختلاط با استفاده از یک کنترلر اتوماتیک به‌صورت زیر تنظیم شد: اختلاط سریع به مدت ۲ دقیقه با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه، اختلاط کند به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۲۰ دور در دقیقه و ته‌نشینی به مدت ۳۰ دقیقه. پس از صاف‌سازی محلول رویی با فیلتر استات سلولز ۰/۴۵ میکرومتر، آرسنیک باقیمانده در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

- طرح آزمایش:

طراحی آماری آزمایشات و آنالیز داده‌ها با استفاده از روش رویه پاسخ و طرح مرکب مرکزی انجام شد. برای این کار از نرم‌افزار ۷ Designe Expert استفاده شد. غلظت اولیه آرسنیک، کدورت، pH و دوز منعقدکننده به‌عنوان متغیرهای مستقل و غلظت آرسنیک باقیمانده به‌عنوان متغیر وابسته (مستقل) انتخاب شدند. دامنه و سطوح متغیرهای مستقل در واحدهای کدگذاری شده و واقعی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- متغیرهای مستقل و سطوح آن‌ها برای طرح مرکب مرکزی

متغیر	نماد	سطح کدگذاری شده				
		پایین‌ترین	پایین	مرکز	بالا	بالاترین
		-α	-۱	۰	+۱	+α
pH	A		۷	۸	۹	
کدورت (NTU)	B	<۱	۵	۱۰	۱۵	۲۰
آرسنیک اولیه (میکروگرم بر لیتر)	C	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰
دوز منعقد کننده (میلی‌گرم بر لیتر)	D	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰

در این طرح تعداد آزمایشات با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (TrinhTrin و Kang، ۲۰۱۰).

$$N=2^K+2K+nc \qquad (۱)$$

که در آن k تعداد متغیرهای مستقل و nc تعداد نقاط مرکزی می‌باشد. تعداد آزمون‌های مورد نیاز در این مطالعه عبارتند از:

۱. 2^K (نقاط فاکتوریل) که شامل ۱۶ آزمایش می‌باشد.

۲. 2K (نقاط محوری) که شامل ۸ آزمایش می‌باشد.

۳. nc (نقاط مرکزی) که شامل ۶ آزمایش می‌باشد که در مجموع ۳۰ آزمایش طراحی و انجام شد.

جدول (۲) طراحی پژوهش به روش طرح مرکب مرکزی، سطوح متغیرهای مستقل و همچنین نتایج آزمایشگاهی (متغیر پاسخ) را نشان می‌دهد.

یکی از پرکاربردترین روش‌های آماری برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در علوم مختلف، رگرسیون خطی ساده یا چندگانه است. در تحلیل رگرسیون نوع روابط متغیرها و این که آیا یک متغیر می‌تواند در متغیر دیگر تأثیرگذار باشد یا خیر، بررسی می‌شود. به‌عبارت دقیق‌تر بر اساس اطلاع از یک یا چند متغیر مستقل، می‌توان یک معادله رگرسیونی نوشت و از آن برای پیش‌بینی مقادیر متغیر وابسته استفاده کرد.

در این تحقیق پس از انجام آزمایشات و ثبت اطلاعات، مدل درجه دوم برای نمایش رابطه بین پاسخ فرآیند و متغیرهای مستقل (رابطه ۲) استفاده شده است.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k}\beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=i+1}^{k}\beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^{k}\beta_{ii} X^2 + \cdots + \varepsilon \qquad (۲)$$

که در آن Y پاسخ پیش‌بینی شده (آرسنیک خروجی)، β_0 ضریب رگرسیون ثابت، β_i اثرات خطی، β_{ij} اثرات متقابل، β_{ii} اثرات مربعی و ε خطای مشاهده شده است.

به‌منظور ارزیابی صحت مدل برازش شده ، از نتایج جدول آنالیز واریانس داده‌های آزمایشگاهی به‌دست آمده استفاده شد. جهت تأیید نتایج به‌دست آمده از مدل با داده‌های آزمایشگاهی ۲ آزمایش اضافی در شرایط بهینه انجام و نتایج آزمایشگاهی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل مقایسه شد. برای منعقد کننده مصرفی نمودارهای دو بعدی و سه بعدی بر پایه تاثیر عوامل مستقل رسم شد.

نتایج و بحث

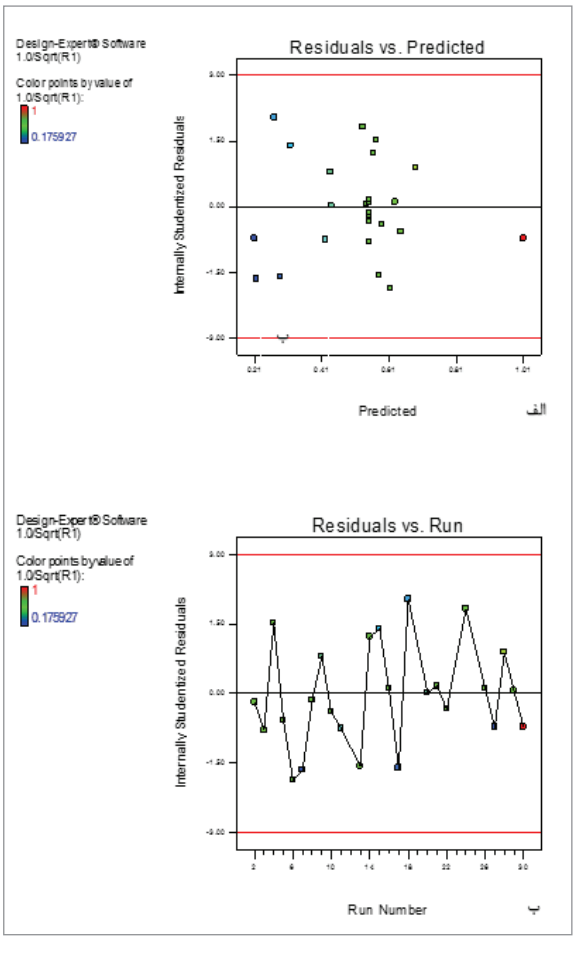
- طرح آزمایش و آنالیز آماری:

طراحی آزمایشات و نتایج حاصل از آن‌ها در جدول (۲) آورده شده است. بر اساس نتایج حاصل، یک رابطه تجربی بین پاسخ (غلظت آرسنیک باقیمانده) و متغیرهای مستقل برحسب معادله چند جمله‌ای درجه دوم بیان شد. این معادله با استفاده از مقادیر واقعی در رابطه (۳) آورده شده است.

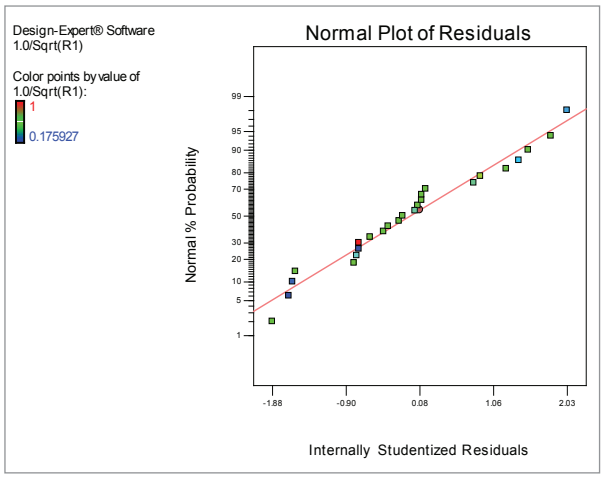
$$1/\sqrt{R}=-6.89+1.679A-0.103B+0.021C+0.019D+0.022AB-0.003AC-0.0003BC-0.001BD+0.0002CD-0.101A^2-0.0005D^2 \quad (۳)$$

صحت‌سنجی و تأیید مدل برازش شده برای اطمینان از اینکه این مدل تقریب مناسبی برای سیستم واقعی فراهم می‌کند، لازم است. به این منظور می‌توان از روش‌های گرافیکی و عددی استفاده کرد. روش‌های گرافیکی باقیمانده‌های مدل را مشخص می‌کند. یک باقیمانده به‌عنوان اختلاف بین مقدار مشاهده شده و مقدار برازش شده تعریف می‌شود (TrinhTrin و Kang، ۲۰۱۰).

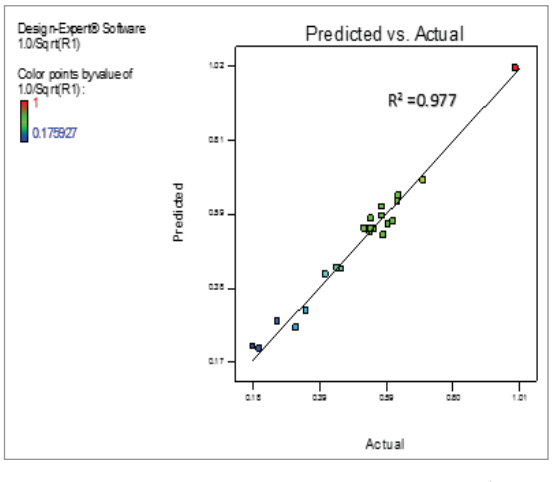
یکی از پیش‌فرض‌های استفاده از رگرسیون، تصادفی بودن و نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها است. شکل (۱) نمودار باقیمانده‌ها را در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده (الف) و در مقابل ترتیب انجام آزمایشات (ب) نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است آنالیز گرافیکی باقیمانده‌ها هیچ الگوی واضحی را نشان نمی‌دهد که خود دلالت بر توزیع تصادفی باقیمانده‌ها دارد. در نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌ها (شکل ۲) ، نزدیکی نقاط به خط راست و رفتار خطی نمودار، نشان دهنده توزیع نرمال باقیمانده‌ها است. نرمال بودن باقیمانده‌ها به این معنا است که میانگین اختلاف بین باقیمانده‌ها و مقادیر واقعی نزدیک به صفر است. همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده در شکل (۳) نیز نشان می‌دهد که اکثر مقادیر پیش‌بینی شده نزدیک به مقادیر واقعی بوده و فقط اندکی از مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی تفاوت دارد.



شکل ۱- الف- نمودار باقیمانده‌ها-در برابر مقدار پیش‌بینی شده ؛ ب- در برابر ترتیب انجام آزمایشات



شکل ۲ – نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌ها



شکل ۳ – نمودار مقایسه بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده غلظت آرسنیک خروجی

جدول ۲- ماتریس طرح مرکب مرکزی و نتایج آزمایشگاهی

شماره آزمایش	متغیرهای مستقل				پاسخ
	pH	کدورت (NTU)	آرسنیک اولیه (میکروگرم بر لیتر)	دوز منعقدکننده (میلی‌گرم بر لیتر)	آرسنیک باقیمانده (میکروگرم بر لیتر)
۱	۸	۱۰	۵۰	۲۰	۱/۱۸
۲	۸	۱۰	۱۵۰	۲۰	۳/۳۵
۳	۸	۱۰	۱۵۰	۲۰	۳/۶۱
۴	۸	۰	۱۵۰	۲۰	۲/۶۳
۵	۸	۱۵	۲۰۰	۲۵	۲/۴۹
۶	۹	۱۵	۱۰۰	۲۵	۲/۹۶
۷	۹	۱۵	۲۰۰	۱۵	۳۲/۳۱
۸	۸	۱۰	۱۵۰	۲۰	۳/۳۳
۹	۹	۵	۱۰۰	۲۵	۴/۸۵
۱۰	۸	۵	۱۰۰	۲۵	۲/۹۶
۱۱	۸	۱۵	۲۰۰	۱۵	۶/۱
۱۲	۸	۵	۱۰۰	۱۵	۲/۷
۱۳	۹	۵	۲۰۰	۲۵	۳/۳۵
۱۴	۸	۱۰	۲۵۰	۲۰	۲/۷۷
۱۵	۸	۱۰	۱۵۰	۱۰	۸/۴۴
۱۶	۸	۱۰	۱۵۰	۲۰	۳/۲۳
۱۷	۹	۵	۱۰۰	۱۵	۱۵/۵۱
۱۸	۹	۱۰	۱۵۰	۲۰	۱۰/۲۳
۱۹	۹	۱۵	۱۰۰	۱۵	۱۷/۲۷
۲۰	۹	۱۵	۲۰۰	۲۵	۵/۱۷
۲۱	۸	۱۰	۱۵۰	۲۰	۳/۲۱
۲۲	۸	۱۰	۱۵۰	۲۰	۳/۴۱
۲۳	۸	۱۵	۱۰۰	۲۵	۱۱/۵
۲۴	۸	۲۰	۱۵۰	۲۰	۲/۹۱
۲۵	۸	۵	۲۰۰	۱۵	۳/۸۴
۲۶	۷	۱۰	۱۵۰	۲۰	۲/۵۱
۲۷	۹	۵	۲۰۰	۱۵	۲۵/۹۹
۲۸	۸	۱۰	۱۵۰	۳۰	۱/۹۸
۲۹	۸	۱۵	۱۰۰	۱۵	۳/۳۸
۳۰	۸	۵	۲۰۰	۲۵	۱

صحت مدل برازش شده با استفاده از نتایج آنالیز واریانس بررسی شد. باتوجه‌به داده‌های جدول (۳) در سطح خطای کمتر از ۰/۰۵، p-مقدار کمتر از ۰/۰۵ (۰/۰۰۰۱) و F-value بزرگتر از F-critical حاصل از جدول (۲/۸۲<۵۱/۲۰۷۲) معنی‌دار بودن مدل را نشان می‌دهد و بر اساس تعریف p-مقدار، تنها ۰/۰۱ درصد احتمال دارد که مقدار بالای F-value مربوط به نویز باشد. به‌عبارت‌دیگر بالابودن این نسبت به دلیل تأثیر بالای عوامل کنترل‌پذیر (سیگنال) به عوامل کنترل‌ناپذیر (نویز) در مدل می‌باشد (Taheriyoun و Memaripour، ۲۰۱۹).

جدول ۳ – جدول آنالیز واریانس غلظت آرسنیک باقیمانده در طرح مرکب مرکزی

منبع واریانس	مجموع توان دوم	درجه آزادی	میانگین توان دوم	F-Value	p- مقدار Prob>F
مدل	۰/۷۰۱۲	۱۱	۰/۰۶۳۷	۵۱/۲۰۷۲	<۰/۰۰۰۱
A pH	۰/۱۳۵۱	۱	۰/۱۳۵۱	۱۰۸/۵۱۴۹	<۰/۰۰۰۱
کدورت B	۰/۰۰۱۷	۱	۰/۰۰۱۷	۱/۳۸۸۱	۰/۲۵۹۸
آرسنیک اولیه C	۰/۰۰۰۵	۱	۰/۰۰۰۵	۰/۴۱۶۶	۰/۵۲۹۹
غلظت منعقدکننده D	۰/۱۴۵۳	۱	۰/۱۴۵۳	۱۱۶/۷۴۲۸	<۰/۰۰۰۱
AB	۰/۰۳۰۰	۱	۰/۰۳۰۰	۲۴/۰۶۲۸	۰/۰۰۰۳
AC	۰/۰۴۸۰	۱	۰/۰۴۸۰	۳۸/۵۲۵۲	<۰/۰۰۰۱
BC	۰/۰۷۰۳	۱	۰/۰۷۰۳	۵۶/۴۸۹۲	<۰/۰۰۰۱
BD	۰/۰۱۳۰	۱	۰/۰۱۳۰	۱۰/۴۷۸۲	۰/۰۰۶۵
CD	۰/۰۳۰۹	۱	۰/۰۳۰۹	۲۴/۸۲۱۷	۰/۰۰۰۳
A۲	۰/۰۱۸۴	۱	۰/۰۱۸۴	۱۴/۸۰۱۰	۰/۰۰۲۰
D۲	۰/۰۰۴۰	۱	۰/۰۰۴۰	۳/۳۲۴۴	۰/۰۹۵۸
باقی مانده	۰/۰۱۶۲	۱۳	۰/۰۰۱۲		
خطای خالص	۰/۰۰۰۷	۴	۰/۰۰۰۱		
کل	۰/۷۱۷۳	۵			
$R^۲$	۰/۹۷۷۴				
$R^۲$ تعدیل یافته	۰/۹۵۸۴				
کفایت دقت	۳۲/۸۸۵۶				
ضریب تغییرات	۶/۸۴۳				

ضریب تبیین ($R^۲$) که نسبت کل تغییرات پاسخ پیش‌بینی شده توسط مدل را ارائه می‌دهد نشان‌دهنده مجموع مربعات ناشی از رگرسیون کل به مجموع مربعات است. بزرگ بودن مقادیر $R^۲$ و نزدیک به یک بودن، مطلوب و یک توافق رضایت بخش با $R^۲_{adj}$ ($R^۲$ تعدیل یافته) ضروری است (Noordin و همکاران، ۲۰۰۴). در این پژوهش مقادیر ۰/۹۷۷۴ و ۰/۹۵۸۴ برای $R^۲$ و $R^۲_{adj}$ نشان دهنده توافق بالای داده‌های آزمایشگاهی به‌دست آمده با داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل است.

علاوه بر این، کفایت دقت $(AP)^۲$، شاخص سنجش نسبت سیگنال به نویز است که در نسبت‌های بیشتر از ۴ مطلوب است (جمالی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Taheriyoun و Memaripour، ۲۰۱۹). شاخص کفایت دقت در این مدل (۳۲/۸۸) موید توانایی بالای مدل در پیش‌بینی نتایج است.

ضریب تغییرات (CV) که به‌صورت نسبت خطای استاندارد برآورد شده به میانگین مقدار پاسخ مشاهده شده بیان می‌شود، تکرارپذیری مدل را نشان می‌دهد. در صورتی می‌توان مدل را تکرارپذیر در نظر گرفت که ضریب تغییرات آن بیشتر از ۱۰ درصد نباشد (جمالی و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین مدل پیشنهادی در این پژوهش با ضریب تغییرات ۶/۸۴۳ درصد قابلیت تکرارپذیری دارد.

بر اساس نتایج حاصل از آنالیز ANOVA و مقادیر p-value مشخص شد که میزان آرسنیک باقیمانده به مرتبه اول (اثرات خطی) متغیر pH و دوز منعقد کننده و مرتبه دوم (اثر مربعی) متغیر pH و اثرات متقابل متغیرهای pH و کدورت، pH و غلظت آرسنیک اولیه، کدورت و غلظت آرسنیک اولیه ، کدورت و دوز منعقدکننده و غلظت آرسنیک اولیه و دوز منعقدکننده وابسته است. بنابراین می‌توان با حذف ضرایب با p-value بزرگتر از ۰/۰۵ رابطه ۲ را به صورت رابطه (۴) بازنویسی کرد.

$$1/\sqrt{R}=-6.89+1.679A+0.019D+0.022AB-0.003AC-0.0003BC-0.001BD+0.0002CD-0.101A^2 \quad (۴)$$

باتوجه‌به ضرایب فاکتورها بیشترین تاثیر روی غلظت آرسنیک باقی‌مانده ناشی از اثر خطی و مربعی pH، اثر متقابل pH و کدورت و اثر خطی دوز منعقد کننده می‌باشد.

- اثر متغیرها و روش رویه پاسخ:

آنچه روش رویه پاسخ را از سایر مدل‌های طراحی متمایز می‌سازد بررسی اثرات بین عوامل مختلف می‌باشد. در نرم‌افزار

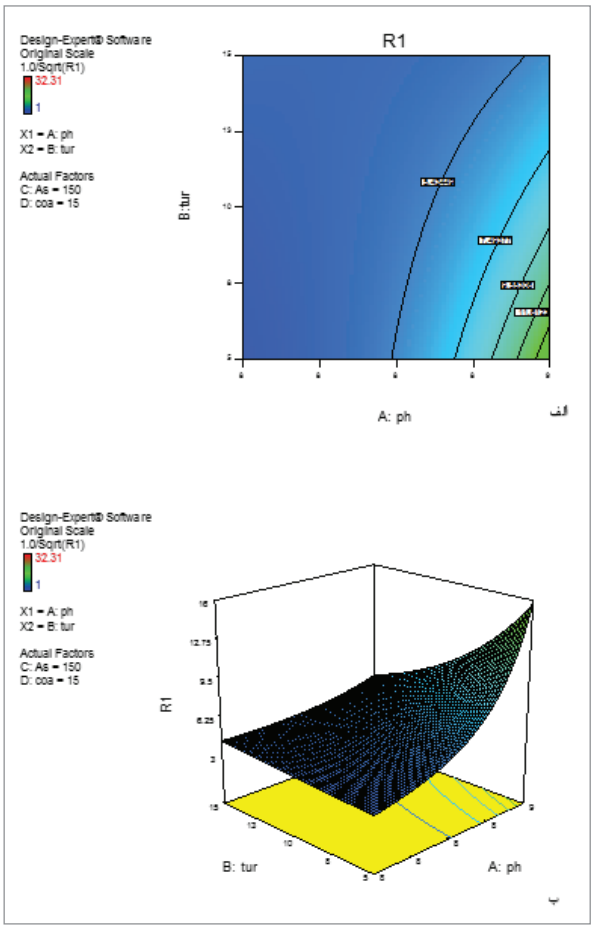
Designe Expert این ویژگی به خوبی توسط نمودارهای دوبعدی و سه‌بعدی ارائه می‌شود. در واقع این نمودارها برای نمایش رابطه بین دو متغیر مستقل و یک متغیر وابسته استفاده می‌شوند. مقادیر متغیرهای مستقل در راستای محورهای X و Y نمایش داده می‌شوند. مقادیر متغیر وابسته (Z) در نمودارهای دو بعدی، همان خطوط کانتور هستند. به‌عبارت‌دیگر این خطوط، مقادیر متفاوتی از متغیرهای X و Y هستند که مقدار Z یکسانی تولید می‌کنند. در نمودارهای سه بعدی مقدار متغیر Z، به جای خطوط کانتور توسط یک سطح صاف و در راستای محور Z نمایش داده می‌شوند. نمودارهای به‌دست آمده در این تحقیق در شکل‌های (۴، ۵ و ۶) نشان داده شده است.

شکل (۴) اثر متقابل کدورت و pH را روی غلظت آرسنیک باقی‌مانده در غلظت آرسنیک اولیه ۱۵۰ میکروگرم بر لیتر و دوز منعقد کننده ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نشان می‌دهد. باتوجه‌به شکل، افزایش pH منجر به افزایش غلظت آرسنیک باقیمانده می‌شود. در کدورت‌های پایین‌تر در مقایسه با کدورت‌های بالاتر، با افزایش pH، آرسنیک باقیمانده با شیب تندتری افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که در کدورت برابر ۶ NTU با افزایش pH از ۸ به ۹، غلظت آرسنیک باقیمانده از ۵/۵۶ میکروگرم بر لیتر به ۱۴/۲۵ افزایش یافت. درحالی‌که همین افزایش pH در کدورت ۱۵ NTU، افزایش ناچیزی را در غلظت آرسنیک خروجی باعث می‌شود.

مکانیسم‌های اصلی حذف آرسنیک در فرآیند انعقاد-لخته‌سازی شامل ۱) مکانیسم جذب: تشکیل کمپلکس‌های سطحی بین آرسنیک محلول و محل‌های فعال هیدروکسیدهای آهن تشکیل شده ۲) مکانیسم ترسیب مشترک: اتصال گونه‌های آرسنیک محلول به فاز هیدرورکسیدهای در حال رشد و ۳) مکانیسم رسوب و تشکیل ترکیبات نامحلول بین آهن و آرسنیک می‌باشد. در بین این روش‌ها طبق مطالعه Pallier مکانیسم جذب مکانیسم اصلی می‌باشد (Pallier و همکاران، ۲۰۱۰).

پتانسیل زتای فلوکه‌های هیدروکسید آهن ($Fe(OH)_3$) با افزایش pH کاهش یافته و منفی می‌شود. بنابراین در شرایط بازی، هم آلاینده و هم رسوبات دارای بار منفی می‌باشند و فرآیند جذب به‌دلیل دافعه الکترواستاتیک بین یون‌های آرسنیک با بار منفی و رسوبات دارای بار منفی و همچنین افزایش یون‌های هیدروکسیل در شرایط بازی و رقابت با یون‌های آرسنیک برای جذب روی رسوبات آهن (مکانیسم اصلی فرآیند حذف) می‌تواند از دلایل کاهش راندمان حذف با افزایش pH باشد. نتایجی که در مطالعه Pallier و همکاران و در مطالعه Bordoloi و همکاران نیز مشاهده شد (Bordoloi و همکاران، ۲۰۱۳؛ Pallier و همکاران، ۲۰۱۰).

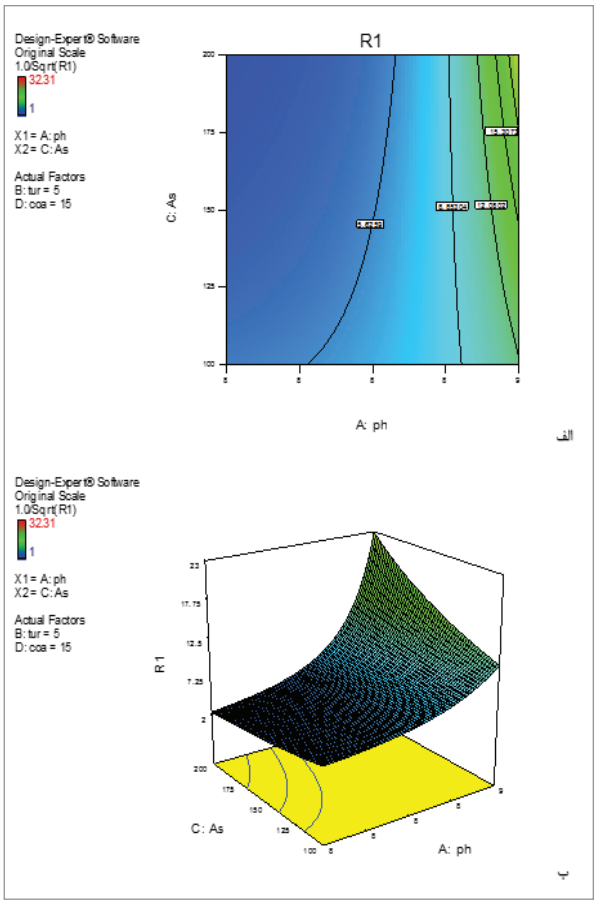
کدورت عاملی است که بر تسریع عمل انعقاد-لخته‌سازی اثرگذار می‌باشد. زمانی‌که ماده منعقد کننده به حد کافی به محلول تزریق می‌شود، در یک محدوده خاصی، کدورت باعث افزایش عمل انعقاد و لخته‌سازی می‌شود. به‌این معنی که کدورت می‌تواند لخته‌هایی را در این فرآیند ایجاد کند که ضمن ته نشینی خود، مواد دیگری (یون‌های آرسنیک) را نیز با خود ته نشین سازد (Asadi، ۲۰۱۹). بنابراین افزایش کدورت می‌تواند تاثیر منفی افزایش pH را تا حدی جبران نماید.



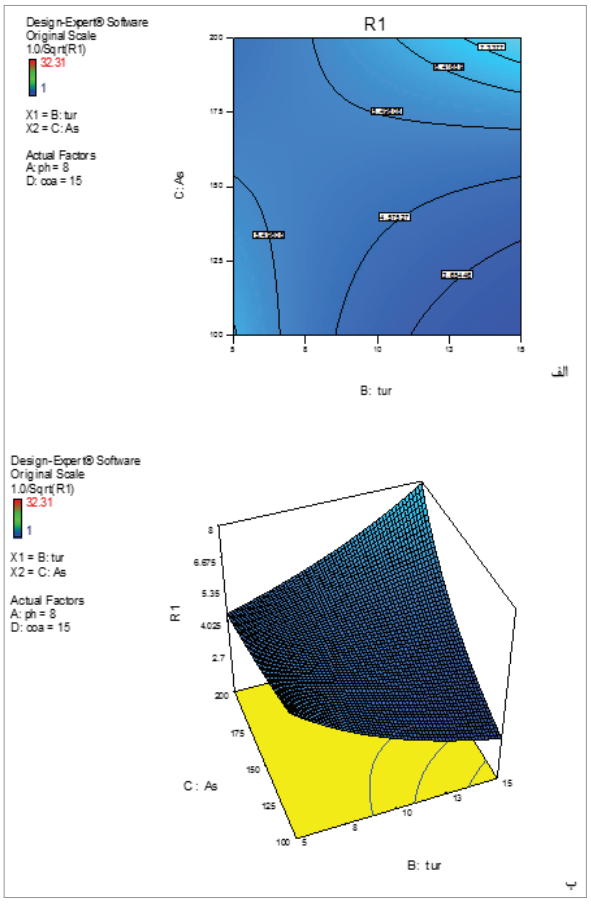
شکل ۴ – الف- نمودار دو بعدی و ب- سه بعدی اثر متقابل کدورت و pH روی غلظت آرسنیک باقیمانده در غلظت آرسنیک اولیه ۱۵۰ میکروگرم بر لیتر و دوز منعقد کننده ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر

برهم‌کنش pH و غلظت آرسنیک اولیه درست عکس برهم‌کنش آن با کدورت می‌باشد. همانطور که در شکل (۵) مشخص است افزایش pH، افزایش آرسنیک خروجی را منجر می‌شود و این افزایش آرسنیک خروجی در غلظت‌های بالاتر آرسنیک اولیه بیشتر از افزایش آن در غلظت‌های پایین‌تر می‌باشد. مقایسه آرسنیک باقیمانده ۱۹/۲۱ میکروگرم بر لیتر در شرایط pH برابر با ۹ و غلظت آرسنیک اولیه ۲۰۰ میکروگرم بر لیتر با مقدار باقیمانده ۱۰/۹۸ میکروگرم بر لیتر در همان pH و غلظت آرسنیک اولیه ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر موید این مطلب می‌باشد.

همانطور که از جهت خطوط کانتور و نمودار سه بعدی شکل (۶) مشخص است کمترین غلظت آرسنیک باقیمانده در شرایط کدورت بالا و آرسنیک اولیه پایین و بیشترین غلظت آرسنیک باقیمانده در شرایط کدورت پایین و آرسنیک اولیه بالا به‌دست آمد. بنابراین در شرایطی که غلظت آرسنیک اولیه بالا باشد افزایش کدورت به‌عنوان یک عامل موثر بر عملکرد فرآیند انعقاد-لخته‌سازی می‌تواند در بهبود فرآیند و کاهش بیشتر میزان آرسنیک باقیمانده موثر باشد.



شکل ۵ – الف- نمودار دو بعدی و ب- سه بعدی اثر متقابل غلظت آرسنیک اولیه و pH روی غلظت آرسنیک خروجی در دوز منعقدکننده ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر و کدورت ۵ NTU



شکل ۶ – الف- نمودار دو بعدی و ب- سه بعدی اثر متقابل غلظت آرسنیک اولیه و کدورت روی غلظت آرسنیک خروجی در دوز منعقدکننده ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر و pH برابر ۸

- بهینه‌سازی:

به‌منظور به‌دست آوردن شرایط بهینه برای حذف آرسنیک با استفاده از فرآیند انعقاد-لخته‌سازی، فرایند بهینه‌سازی جهت جستجوی ترکیبی از متغیرها که کمترین غلظت آرسنیک باقیمانده در آن رخ دهد ضروری به نظر می‌رسد. در مواردی که متغیرهای فراوانی بر فرآیند بهینه‌سازی تاثیر می‌گذارند سناریوهای مختلفی را می‌توان در نظر گرفت. در این مطالعه با در نظر گرفتن ملاحظات بهره‌برداری و پس از مشورت با کارشناسان بهره‌برداری تصفیه‌خانه آب سیرجان، نتایج بهینه‌سازی با هدف حداقل‌سازی غلظت آرسنیک باقیمانده در جدول (۱۰) آورده شده است. برای تایید نتیجه حاصل از پیش‌بینی مدل، دو آزمایش در شرایط بهینه انتخابی انجام شد. میانگین نتایج دو آزمایش توافق خوبی بین مقدار آرسنیک باقیمانده پیش‌بینی شده توسط مدل با مقدار آرسنیک باقیمانده حاصل از آزمایشات را نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقادیر بهینه متغیرهای مستقل و متغیر پاسخ

متغیرهای مستقل				متغیر پاسخ	
pH	کدورت (NTU)	غلظت آرسنیک اولیه (میکروگرم بر لیتر)	دوز منعقد کننده (کلرورفریک) (میلی گرم بر لیتر)	غلظت آرسنیک باقیمانده (میکروگرم بر لیتر)	
				پیش بینی شده	واقعی
۸	۵	۱۵۰	۲۰	۳/۱۵۸	۳/۸۴۰

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرآیند انعقاد-لخته‌سازی با استفاده از منعقدکننده کلرورفریک جهت حذف آرسنیک از آب پرداخته شد. از بین متغیرهای مورد بررسی که توسط روش رویه پاسخ و طرح مرکب مرکزی آزمایشات مربوط به آن‌ها طراحی و انجام شد اثر خطی و مربعی pH، اثر متقابل pH و کدورت و اثر خطی دوز منعقد کننده بیشترین تاثیر را در غلظت آرسنیک باقیمانده داشتند. مدل پیش‌بینی شده برای رفتار پارامترها با ضریب رگرسیونی برابر با ۰/۹۷۷۴ به نتایج به‌دست آمده برازش شد. بهینه‌سازی روش رویه پاسخ نشان داد که کاربرد ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرورفریک در محلولی با غلظت آرسنیک اولیه ۱۵۰ میکروگرم بر لیتر در pH برابر ۸ و کدورت برابر ۵ NTU به باقیمانده ۳/۱۵۸ میکروگرم بر لیتر آرسنیک می‌انجامد که به مقدار واقعی به‌دست آمده (۳/۸۴۰ میکروگرم بر لیتر) نزدیک بود. روش رویه پاسخ و طرح مرکب مرکزی قابلیت خوبی در مدل‌سازی، پیش‌بینی و بهینه‌سازی رفتار پارامترهای موثر در فرآیند نشان داد.

قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از همکاران آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب استان کرمان جهت همکاری‌های لازم اعلام می‌دارند

پی‌نوشت

1-Response Surface Methodology
2-Central Composit Designe
3-Adequate Precision

منابع

جمالی، ه، ع.، دینارلو، ک.، پناهی فرد، م. و مرادنیا، م. ۱۳۹۵. روش سطح پاسخ در بهینه‌سازی تصفیه فاضلاب صنایع فرش با استفاده از فرات پتاسیم. مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۲): ۳۸-۴۷.

AHMAD A., Ismsil S. and Bhatia S. 2005. Optimization of coagulation– flocculation process for palm oil mill effluent using response surface methodology. Environmental science and technology, 39(8): 2828-2834.

Anouzia A., Abrouki Y., Souabia S., Safi M. and Rhbal H. 2009. Colour and COD removal of disperse dye solution by a novel coagulant: application of statistical design for the optimization and regression analysis. Journal of Hazardous Materials, 166(2-3): 1302-1306.

Asadi Z. 2019. Investigation of the efficiency of coagulation process for ciprofloxacin antibiotic removal from aqueous solution. Journal of health research in community, 5(1): 38-48.

Baskan M. B. and Pala A. 2010. A statistical experiment design approach for arsenic removal by coagulation process using aluminum sulfate. Desalination, 254(1-3): 42-48.

Beltran-Heredia J., Sánchez-Martin J. and Gómez-Muñoz M. 2010. New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. Chemical Engineering Journal, 162(3): 1019-1025.

Bhatia S., Othman Z. and Ahmad A. L. 2007. Coagulation–flocculation process for POME treatment using Moringa oleifera seeds extract: optimization studies. Chemical Engineering Journal, 133(1-3): 205-212.

Bordoloi S., Nath S. K., Gogoi S. and Dutta R. K. 2013. Arsenic and iron removal from groundwater by oxidation–coagulation at optimized pH: laboratory and field studies. Journal of hazardous materials, 260: 618-626.

Carvalho G., Delee W., Novais J. and Pinheiro H. 2002. A factorially-designed study of physicochemical reactive dye colour removal from simulated cotton textile processing wastewaters. Coloration technology, 118(5): 215-219.

Franceschi M., Girou A., Carro-Diaz A., Maurette M. and Puech-Costes E. 2002. Optimisation of the coagulation–flocculation process of raw water by optimal design method. Water research, 36(14): 3561-3572.

Hu C., Liu H., Chen G. and Qu J. 2012. Effect of aluminum speciation on arsenic removal during coagulation process. Separation and purification technology, 86: 35-40.

ter by natural and commercialized coagulants using response surface methodology. Water, air, and soil pollutio 195(1): 345-352.

PAllier V., Feuilade-Cathalifaud G., Serpaud B. and Bollinger J.-C. 2010. Effect of organic matter on arsenic removal during coagulation/flocculation treatment. Journal of Colloid and Interface Science, 342(1): 26-32.

Pio I., Scarlino A., Bloise E., Mele G., Santoro O., Pastore T. and Santoro D. 2015. Efficient removal of low-arsenic concentrations from drinking water by combined coagulation and adsorption processes. Separation and Purification Technology, 147: 284-291.

Pramanik B. K., Pramanik S. K. and Suja F. 2016. Removal of arsenic and iron removal from drinking water using coagulation and biological treatment. Journal of water and health, 14(1): 90-96.

Song S., Lopez-Valdivieso A., Hernandez-Campos D., Peng C., MonroyY-Fernandez M. and Razo-Soto I. 2006. Arsenic removal from high-arsenic water by enhanced coagulation with ferric ions and coarse calcite. Water research, 40(2): 364-372.

Taheriyoun M. and Memaripour A. 2019. Evaluation of Coagulation and Flocculation Process in Removal of Heavy Metals from Chemical Wastewater of Mobarakeh Steel Complex. Journal of Environmental Science and Technology, 21(6): 46-60.

Trinh T. K. and Kang L.-S. 2010. Application of response surface method as an experimental design to optimize coagulation tests. Environmental Engineering Research, 15(2): 63-70.

Wang J.-P., CHen Y.-Z., Ge X.-W. and Yu H.-Q. 2007. Optimization of coagulation–flocculation process for a paper-recycling wastewater treatment using response surface methodology. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 302(1-3): 204-210.

Kaboosi H., Tabari N. and Samadlouie H. R. 2014. Optimization of a-amylase production by Bacillus amyloliquefaciens using response surfaces methodology. Biological Journal of Microorganism, 3(11): 85-97.

Kong Y., Kang J., Shen J., Chen Z. and Fan L. 2017. Influence of humic acid on the removal of arsenate and arsenic by ferric chloride: effects of pH, As/Fe ratio, initial As concentration, and co-existing solutes. Environmental Science and Pollution Research, 24(3): 2381-2393.

Mishra A. K. and Ramaprabhu S. 2011. Functionalized graphene sheets for arsenic removal and desalination of sea water. Desalination, 282: 39-45.

Mohajeri S., Aziz H. A., Isa M. H., Zahed M. A. and Adlan M. N. 2010. Statistical optimization of process parameters for landfill leachate treatment using electro-Fenton technique. Journal of hazardous materials, 176(1-3): 749-758.

Mólgora C. C., Dominguez A. M., Avila E. M., Drogui P. and Buelna G. 2013. Removal of arsenic from drinking water: a comparative study between electrocoagulation-microfiltration and chemical coagulation-microfiltration processes. Separation and Purification Technology, 118: 645-651.

Mondal P., Bhowmick S., CHatterjee D., Figoli A. and Van Der Bruggen B. 2013. Remediation of inorganic arsenic in groundwater for safe water supply: a critical assessment of technological solutions. Chemosphere, 92(2): 157-170.

Noordin M. Y., Venkatesh V., SHarif S., Elting S. and Abdullah A. 2004. Application of response surface methodology in describing the performance of coated carbide tools when turning AISI 1045 steel. Journal of materials processing technology, 145(1): 46-58.

Omar F. M., Rahman N. N. N. A. and Ahmad A. 2008. COD reduction in semiconductor wastewa-

2022, Vol.8, No.4, Pages 87 to 98
Journal of Water and Sustainable Development

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ٨٧ تا ٩٨
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Challenges of Applying Sustainable Environmental Operations Among Wheat Farmers in Khorramabad

M. Savari[1*], F. Naghibeiranvand[2]

1-Assistant Professor, Department of Agricultural Extension and Education, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. 2-Ph.D. Student, Department of Extension, Communication and Rural Development, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

*(Corresponding Author Email: Savari@asnrukh.ac.ir)

Received: 10-06-2021 Revised: 02-10-2021
Accepted: 27-10-2021 Available Online: 19-03-2022

چالش‌های به کارگیری عملیات پایدار محیط زیستی در میان کشاورزان گندم‌کار شهرستان خرم‌آباد

مسلم سواری[1*]، فاطمه نقی‌بیرانوند[2]

۱- استادیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران. ۲- دانشجوی دکتری، گروه ترویج، ارتباطات و توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: Savari@asnrukh.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

Abstract

This study was conducted with the aim of the Analysis of the challenges of applying sustainable environmental operations. The statistical population of the study was all households of wheat farmers in Khorramabad County (N = 12500). The sample size was determined using Cochran's sampling formula of 240 heads of farmers' households. The data collection tool was a questionnaire whose validity was determined by a panel of experts including faculty members of the Department of Agricultural Extension and Education, Agricultural Sciences, and Natural Resources University of Khuzestan, and its reliability for communication channels and water protection behavior were confirmed using Cronbach's alpha coefficient and combined reliability method, respectively. Data analysis was performed in two sections of descriptive and inferential statistics by SPSS and Lisrel8.54 software. The results of this prioritization of the challenges of implementing sustainable environmental operations based on farmers' perspectives showed that the most important challenges in this sector included "inappropriate organizational structure for effective policy making" and "lack of extension and training courses". In addition, the results of factor analysis classified the known challenges into three factors: educational and professional challenges, policy and institutional challenges, and economic and supportive challenges, of which 42.69% explained the variance of all factors.

Keywords: Sustainable Operations, Wheat Farmers, Sustainable Development, Factor Analysis, Khorramabad County.

چکیده

این پژوهش با هدف کلی تحلیل چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار محیط زیستی در میان کشاورزان انجام شد. جامعه آماری پژوهش تمامی خانوارهای کشاورزان گندم‌کار در شهرستان خرم‌آباد بودند (N=۱۲۵۰۰). حجم نمونه با استفاده از فرمول نمونه‌گیری کوکران ۲۴۰ نفر از سرپرست خانوارهای کشاورزان تعیین شد. ابزار جمع‌آوری اطلاعات پرسشنامه بود که روایی آن توسط پانل متخصصان و پایایی آن با استفاده ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی تأیید شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در دو بخش آمار توصیفی و استنباطی توسط نرم‌افزارهای $SPSS_{Win۲۳}$ و $Lisrel_{۸,۵۴}$ انجام شد. نتایج این اولویت‌بندی چالش‌های بکارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی براساس دیدگاه کشاورزان نشان داد مهمترین چالش‌های این بخش شامل «ساختار سازمانی نامناسب برای سیاست‌گذاری کارآمد» و «عدم برگزاری دوره‌های ترویجی و آموزشی» بود. علاوه بر این، نتایج تحلیل عاملی چالش‌های شناخته شده را در سه عامل چالش‌های آموزشی و حرفه‌ای، چالش‌های سیاست‌گذاری و نهادی و چالش‌های اقتصادی و حمایتی طبقه‌بندی کرد که ۴۲/۶۹۱ درصد از واریانس کل عامل‌ها را تبیین نمودند.

واژه‌های کلیدی: عملیات پایدار، کشاورزان گندم‌کار، توسعه پایدار، تحلیل عاملی، شهرستان خرم‌آباد.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Savari M. and Naghibeiranvand F. 2022. Challenges of Applying Sustainable Environmental Operations Among Wheat Farmers in Khorramabad. Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 87-98. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2106.1054

مقدمه

مفهوم توسعه پایدار در دهه‌های گذشته مطرح شده و اهمیت فراوانی پیدا کرده است، تلاش‌هایی برای درک تعادل مردم در بازتابی مهم از شیوه‌های زندگی کنونی، رفتار و توانایی آن‌ها برای تصمیم‌گیری آگاهانه نسبت به پایداری منابع طبیعی صورت پذیرفته است (Manoli و همکاران، ۲۰۱۴). پایداری نیازمند تطبیق خواسته‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی با هم، حول محور خواست‌های نهادی است که چهار رکن اساسی پایداری محسوب می‌شوند، لذا وظیفه کلیدی توسعه پایدار درک تعاملات انسان و محیط‌زیست به ویژه الگوهای رفتاری انسانی است (Savari و همکاران، ۲۰۱۳؛ Hou و همکاران، ۲۰۱۴). عدم شناخت همه‌جانبه از مناطق روستایی کشور و عدم توجه کافی به مسائل محیط‌زیستی روستاها، موجب افزایش ناپایداری مناطق روستایی شده است (ظاهری و سعدی، ۱۳۹۶؛ Savari و همکاران، ۲۰۲۰a). مطالعات نشان می‌دهد انسان هر ساله سه برابر تولید سالیانه، زمین را استفاده می‌کند (McCool، ۲۰۱۳). آلودگی‌های محیط زیست باعث تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در بدن انسان در اثر استفاده از مواد غذایی آلوده می‌شوند که در نهایت به بیماری‌های شدید و حتی مرگ منتهی می‌شود (Arnesano و همکاران، ۲۰۱۶). نگرانی‌های عمومی در مورد مسائل مربوط به محیط‌زیست در طی چند سال گذشته به طور قابل توجهی افزایش یافته است (Dey و Chowdury، ۲۰۱۶). با افزایش فشار جهانی بر بخش کشاورزی به منظور تهیه غذا، نگرانی‌های محیط زیستی در حال افزایش است (Hynes و Wilson، ۲۰۱۶)، زیرا کاربرد انواع کودهای شیمیایی در ۱۰ سال گذشته افزایش قابل توجهی داشته است. به‌عنوان مثال تقاضا برای مجموع کودهای شیمیایی در سال ۲۰۰۸ به میزان ۱۶۱ میلیون تن بوده است که در سال ۲۰۱۸ به بیش از ۲۰۰ میلیون تن رسیده است (FAO، ۲۰۱۸)، در ایران نیز کاربرد سم‌های شیمیایی به میزان قابل توجهی بالاتر از میانگین جهانی است به‌عنوان مثال میزان کاربرد سم‌های شیمیایی در ایران در سال ۲۰۱۳ حدود ۷۶۰ گرم در هکتار بوده که ۵ برابر میزان استاندارد در کشورهای جهانی بوده است (Razzaghi Borkhani و همکاران، ۲۰۱۹)، علاوه بر این استفاده کشاورزان از آب فاضلاب‌های تصفیه نشده در بخش کشاورزی منجر به آلودگی آب و خاک شده است (World Health Organization، ۲۰۱۸)، از سویی دیگر Razzaghi Borkhani و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند، فلزهای سنگین در سبزی‌ها و محصول‌های تابستانه در منطقه‌های مختلف ایران به مقدار بیش از حد مجاز وجود دارد و آلودگی‌های محیط‌زیست به بیشترین مقدار رسیده است، کاربرد کودهای شیمیایی در کشاورزی اگرچه منجر به افزایش تولید شده، اما سلامت غذایی و تخریب محیط‌زیست را نیز به دنبال داشته است (Savari و همکاران، ۲۰۲۱a)، بنابراین، استفاده بی‌رویه کشاورزان از منابع انرژی، منبع‌های طبیعی، آب، خاک، کودهای شیمیایی، چالش‌های زیادی را برای محیط زیست به‌وجود آورده است (Hynes و Wilson، ۲۰۱۶)، در ایران آمارها نشان می‌دهد سالانه حدود ۲۵ میلیون لیتر انواع سم، در کشتزارها و باغ‌های ایران مصرف می‌شود و سهم هر ایرانی از این میزان ۳۳۰ گرم است (Razzaghi Borkhani و همکاران، ۲۰۱۹). مشکلات محیط‌زیست از جمله خشک شدن تالاب‌ها، تخریب جنگل‌ها، یکی از بحران‌های جدی در ایران است. رتبه اول جهان در فرسایش خاک با سالانه دو میلیارد فرسایش و اختصاص ۷/۷ درصد از فرسایش خاک جهان به خود که چهار برابر میزان فرسایش در جهان است، بحران کم‌آبی، خشکسالی‌های متعدد و سربار کردن هزینه آن بر دولت و نظام اقتصادی، بحران آلودگی هوای شهرهای بزرگ و پی‌آمدهای اجتماعی و اقتصادی آن، بحران از میان رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری و تهدید ذخیره ژنتیک کشور و ورود سالیانه ۱۲۲ هزار و ۳۵۰ تن آلودگی نفتی به دریای خزر و تهدید حیات این اکوسیستم و بحرانی شدن وضعیت ماهیان خاویار دریای خزر، روی هم تنها جزئی از مصائب محیط‌زیستی این سرزمین است، جایی برای تردید در بحرانی خواندن وضعیت محیط‌زیستی کشور باقی نمی‌گذارد (فاضلی، ۱۳۹۱). این عوامل تأثیرات مستقیمی بر تنوع زیستی، کشاورزی، جنگل‌داری، زمین، منابع آب و سلامت انسان دارد (Mahfuzur و Barua، ۲۰۱۶؛ Savari و همکاران، ۲۰۲۱b). به‌طوری‌که عدم به‌کارگیری عملیات پایداری محیط زیست به عنوان یک عامل اصلی مرگ میر اصلی در ایران و جهان شناخته شده است. طبق بررسی‌های انجام شده توسط سازمان بهداشت جهانی، هر سال در اثر آلودگی هوا بیش از چهار میلیون نفر دچار مرگ زودرس می‌شوند (WHO، ۲۰۱۷). در سال‌های اخیر، بحران‌های محیط‌زیستی را با هیچ جهانی دیگر، نمی‌توان مقایسه کرد. در واقع تاکنون هیچ مشکلی این چنین بر تمام مسائل عصر و سیاره ما اثرگذار نبوده است (شرفی و علی بیگی، ۱۳۹۴). باتوجه‌به افزایش نگرانی‌های جهانی از اثرات محیط‌زیستی کشاورزان در استفاده از سموم شیمیایی که می‌تواند آثار منفی بر کیفیت زندگی جوامع بشری و محیط زیست بگذارد نیاز است تمهیدات لازم جهت به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی اندیشیده شود (Tseng و Chiu، ۲۰۱۳). بخش عمده‌ی معضلات محیط‌زیستی موجود، ریشه در فقدان آگاهی و خودکارآمدی لازم در زمینه ارتباط انسان با طبیعت است (Shobeiri و Mieboudi، ۲۰۱۳؛ Elliott و

Young، ۲۰۱۶). آگاهی محیط‌زیستی شامل دانش افراد درباره محیط‌زیست، مسئولیت افراد در قابل حفاظت از محیط‌زیست و رابطه بین اقتصاد و توسعه‌پایدار است (Huang و Shih، ۲۰۰۹؛ Blessing، ۲۰۱۲). بنابراین نیروی انسانی مهمترین موضوع، در زمینه حفاظت از محیط زیست است زیرا اگر انسان تمایل به انجام رفتارهای دوستدارانه در محیط داشته باشد محیط آسیبی نخواهد دید (Savari و همکاران، ۲۰۲۱c) از آن‌جایی که بسیاری از مشکلات محیط‌زیستی امروز ریشه در رفتار انسان دارد، بنابراین راه‌حل این چالش‌ها در تغییر در رفتار انسان نهفته است (Manolas، ۲۰۱۵؛ Li و همکاران، ۲۰۲۱؛ Savari و Shokati Amghani، ۲۰۲۱) ایجاد و گسترش دانش و آگاهی محیط‌زیستی یکی از راهکارهای مطلوب برای پیروز شدن بر چالش‌های محیط‌زیستی و دستیابی به توسعه‌پایدار محیط‌زیستی محسوب می‌شود (Schmidt، ۲۰۰۷؛ Shen و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه‌برآن، مسائل محیط‌زیستی ریشه فرهنگی دارند و به‌منظور پذیرش بافت‌های فرهنگی یک جامعه باید به‌صورت ساختاری با موضوع برخورد نمود. حفظ محیط‌زیست به مسائلی ارتباط دارد که بزرگترین و مهمترین آن مسأله فرهنگی اجتماعی است (اسلام زاده، ۱۳۹۲). مهمترین مشکلاتی که در اثر رفتار انسان برای محیط‌زیست به‌وجود آمده می‌توان به مواردی مانند آلودگی هوا، آب، خاک، از بین رفتن تنوع‌زیستی، انقراض موجودات، افزایش بلایا و حوادث طبیعی اشاره کرد (Yuan و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین، عوامل موثر بر به‌کارگیری رفتارهای محیط‌زیستی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است زیرا رفتارهای محیط‌زیستی پایدار بر کاهش تهدیدات و مسائل محیط‌زیستی تأثیر می‌گذارند (Budak، ۲۰۰۵؛ Savari و همکاران، ۲۰۲۱c؛ Salehi و Imam Gholi، ۲۰۱۲؛ Oskamp، ۲۰۰۲؛ Lorenzoni Nicholson-Cole و Whitmarsh، ۲۰۰۷؛ Steg و Vlek، ۲۰۰۹؛ Gifford، ۲۰۱۱؛ Dang و همکاران، ۲۰۱۴؛ Ertz و همکاران، ۲۰۱۶). اما به‌منظور بررسی چالش‌های به‌کارگیری رفتار محیط‌زیستی پایدار کشاورزان پیشینه موضوع بررسی شد و در ادامه تعدادی از این مطالعات ارائه شد.

در تحقیقی در زمینه پایداری محیط‌زیستی و عوامل تحقق آن در بخش کشاورزی به این نتیجه دست یافتند که مهمترین عامل‌های تأثیرگذار شامل، فناوری‌های حفاظتی، اقتصادی و بازاریابی (تولید محصولات سالم و بازار پسند)، آموزشی و ترویجی (به‌ویژه برگزاری دوره‌ها و کارگاه‌های آموزشی)، سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی (تصویب قوانین و مقرارت حمایتی و اجتماعی- فرهنگی (به‌ویژه سرمایه اجتماعی) است (محمدی، ۱۳۹۷؛ سواری و اسدی، ۱۳۹۹). کنعانی و احمدوند (۱۳۹۸) به این نتیجه دست یافتند که متغیرهای دلبستگی به مکان، جهان‌بینی اکولوژیکی، آگاهی از نتایج مضر فعالیت‌ها و توانایی درک شده برای کاهش تهدید بیشترین تأثیر را بر اخلاق محیط‌زیستی کشاورزان دارد. در تحقیقی که در این زمینه در ایران انجام شده است نتایج نشان داد مهمترین مشکل حفظ محیط‌زیست در ایران عدم آموزش صحیح بهره‌برداران است (Ramezani Ghavamabadi، ۲۰۱۲). Razzaghi Borkhani و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی در زمینه نقش منابع اطلاعاتی و ترویجی در به‌کارگیری عملیات مناسب کشاورزی به این نتیجه رسیدند که استفاده از منابع اطلاعاتی تأثیر معنی‌داری بر به‌کارگیری عملیات مناسب کشاورزی دارند. موسی‌پور و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای در زمینه وضعیت پایداری محیط‌زیستی در میان روستاییان به این نتیجه رسیدند عامل‌های سطح زیرکشت، داشتن شغل غیرزراعی و سابقه سکونت تأثیر معنی‌داری بر رفتار محیط‌زیستی روستاییان دارد. Botetzagias و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی در زمینه عوامل موثر بر رفتار محیط‌زیستی به این نتیجه رسیدند متغیرهای نگرش، تحصیلات، جنسیت، درآمد تأثیر معنی‌داری دارد. یافته‌های مطالعه‌های Molina و همکاران (۲۰۱۳) در این زمینه نشان داد جنسیت، انگیزه‌ها، منبع آب آبیاری، نگرش، اشتغال غیرزراعی و رضایت از کیفیت خاک می‌تواند بر رفتار پایداری محیط‌زیستی تأثیرگذار است. در تحقیقی در زمینه پایداری محیط‌زیست به این نتیجه دست یافت که مهمترین عواملی می‌توانند تأثیرگذار باشند شامل، سطح توانمندی کشاورزان در به‌کارگیری عملیات محیط‌زیستی، سطح دانش و نگرش به عملیات پایداری، عضویت در تشکل‌های اجتماعی و داشتن انگیزه جامعه سالم از مهمترین عوامل تأثیرگذار است (Syarifuddin و Alamsyah، ۲۰۱۷). یافته‌هایPirish و Abdollahi (۲۰۱۹) در این زمینه نشان داد خانوارهای کشاورز تا زمانی که از طریق شغل جانبی نتوانند کاهش درآمد را جبران کنند عملیات پایداری را به‌کار نخواهد بست زیرا عملیات پایداری ممکن است با کاهش درآمد همراه باشد و همچنین عملیات آن مستلزم هزینه بیشتری برای کشاورزان باشد. در پژوهشی در زمینه رفتارهای محیط‌زیستی Sangroya و Nayak (۲۰۱۷) به این نتیجه رسیدند نگرانی‌های محیط‌زیستی، دانش، درک ارزش‌های پایداری و درآمد از مهمترین متغیرهای تأثیرگذار در این زمینه است. قادری و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند کانال‌های ارتباطی و اطلاعاتی، سن، خودکارآمدی، عضویت در تشکل‌های اجتماعی، انگیزه، آگاهی در زمینه اثرات و به‌کارگیری عملیات پایداری می‌تواند بر رفتار محیط‌زیستی تأثیرگذار باشد. یافته‌های جمشیدی و همکاران (۱۳۹۴) در این زمینه نشان داد متغیرهای سن، مالکیت اراضی، بیمه کشاورزی، مشارکت اجتماعی، میزان تماس‌های ترویجی، نوع کشت، روش‌های آبیاری و عملکرد بر

رفتار پایدار محیط‌زیست کشاورزان تأثیرگذار است. منتی‌زاد و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی عوامل تأثیرگذار بر رفتار سازگار با محیط‌زیست نتایج نشان داد کشاورزان باسواد، شرکت در دوره‌های ترویجی، عملکرد زراعی، ارتباط با مراکز خدمات مشاوره بر رفتارهای سازگار با محیط‌زیست در این زمینه تأثیرگذار است.

در بررسی وضعیت به‌کارگیری عملیات پایدار محیط زیستی در شهرستان‌های استان لرستان مطالعات نشان می‌دهد که کشاورزان این استان تمایل چندانی برای به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیست در سطح مزرعه ندارند به‌عنوان مثال در پژوهشی در زمینه بررسی میزان انجام راهکارهای مدیریت پایدار منابع آب بخش کشاورزی استان لرستان نتایج نشان داد کشاورزان عملیات حفاظت از آب را به‌عنوان یک شاخص محیط‌زیستی به‌طور مناسبی به‌کار نمی‌گیرند و از تکنولوژی نوین آبیاری در این زمینه استفاده نمی‌شود و همچنان آنان با روش‌های سنتی آبیاری را در سطح مزرعه انجام می‌دهند (اصولی و طالشی، ۱۳۹۹). همچنین در زمینه رفتار حفاظت از جنگل این نتیجه حاصل شد که بسیاری از جنگل‌های زاگرس به عنوان مهمترین عرصه طبیعی هر ساله به دلیل عوامل انسانی تخریب می‌شود (سواری و اسدی، ۱۳۹۹). بررسی در سطح شهرستان خرم‌آباد نیز نشان می‌دهد شاخص توسعه پایدار محیط‌زیستی در شرایط ناپایدار قرار دارند (شکرگزار و همکاران، ۱۳۹۵). عوامل اقلیمی و عوامل انسانی در تمامی شهرستان‌های استان لرستان باعث کاهش سطح پایداری محیط‌زیستی در این استان استان شده است به‌طوری‌که ۱/۷۶ درصد از کل مساحت این استان در وضعیت آسیب‌پذیری شدید محیط‌زیستی قرار دارد و بیشترین آسیب‌پذیری محیطی مربوط به منابع آب سطحی و زیرزمینی، پوشش گیاهی و خاک در این استان می‌باشد (حق‌ندری و همکاران، ۱۳۹۶). منابع غنی خاک و آب استان لرستان، به همراه ظرفیت گردشگری و جاذبه‌های طبیعی کم‌نظیر آن، به صورت نامناسبی بهره‌برداری می‌شود. استمرار شیوه‌های نامطلوب، باعث تخریب پوشش گیاهی و اتلاف منابع خاک و محیط زیست و همچنین اتلاف منابع آبی شده است (پژوهشکده اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۴). به‌طورکلی توجه به محیط‌زیست کشاورزی از مهمترین نیازهای حال حاضر محسوب می‌شود، چنانچه برای همه فعالیت‌ها در کشور برنامه‌ای وجود داشته باشد، می‌توان از آسیب‌هایی که در اثر فعالیت‌های مختلف به محیط‌زیست وارد می‌شود، جلوگیری شود. درک پیامدهای بلندمدت موضوعات محیط‌زیست و احساس خطر بزرگی که بشر امروز از به هم خوردن تعادل محیط زیست دارد انسان را بر آن داشته تا به چاره‌جویی بپردازد. توسعه بینش، دانش و مهارت‌های منابع انسانی از اقدامات ضروری در این زمینه می‌باشد که این خود نیازمند بسط و گسترش هر چه بیشتر مدیریت همه جانبه، سیستمی و علمی است. در این راستا این پژوهش با هدف موانع به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیست کشاورزان گندم‌کار در شهرستان خرم‌آباد انجام شد. جهت رسیدن به آن اهداف اختصاصی زیر دنبال شد.

- اولویت‌بندی چالش‌های به‌کارگیری عملیات محیط‌زیستی توسط کشاورزان گندم‌کار
- تحلیل چالش‌های به‌کارگیری عملیات محیط‌زیستی توسط کشاورزان گندم‌کار
- تحلیل تأییدی چالش‌های به‌کارگیری عملیات محیط‌زیستی توسط کشاورزان گندم‌کار

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نظر ماهیت از نوع تحقیقات کمی، با توجه به هدف کاربردی، از لحاظ گردآوری داده‌ها جزء تحقیقات توصیفی از نوع همبستگی می‌باشد. جامعه آماری پژوهش تمامی خانوارهای کشاورزان گندم‌کار شهرستان خرم‌آباد بودند (N= ۱۲۵۰۰). حجم نمونه با استفاده از فرمول نمونه‌گیری کوکران ۲۴۰ نفر از سرپرست خانوارها برای مطالعه انتخاب شدند. ابزار جمع‌آوری اطلاعات پرسشنامه بود و شامل بر سه بخش قسمت بود. بخش اول: مربوط به ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای بود. بخش دوم: بخش دوم: مقیاسی برای عملیات پایدار محیط‌زیستی بود که به ۳۱ رفتار محیط‌زیستی پایدار در قالب سه طبقه کلی عملیات پایدار حفاظت گیاهی، عملیات پایدار حفاظت خاک و عملیات پایدار حفاظت از آب بود که به صورت دو وجهی (انجام می‌دهم و یا انجام نمی‌دهم) سنجیده شد. بخش سوم: ۱۶ گویه برای سنجش چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی بود که در قالب طیف لیکرت (۱- خیلی‌کم تا ۵- خیلی زیاد) از پاسخگویان پرسیده شد. روایی صوری پرسشنامه توسط اساتید گروه ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان مورد تأیید قرار گرفت. برای سنجش پایایی ابزار پژوهش از ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی استفاده شد. نتایج بررسی ضریب میانگین واریانس استخراج شده، آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی نشان داد مقادیر در تطابق با مقدار معیار برازش مناسبی داشتند (جدول ۵). تجزیه و تحلیل داده‌ها در دو بخش آمار توصیفی و استنباطی از نرم‌افزار SPSS و $LISREL_{۸.۵۴}$ استفاده شد در بخش توصیفی از آماره‌ای میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات استفاده شد و در بخش استنباطی از دو نوع تحلیل عاملی اکتشافی و تاییدی استفاده شد.

نتایج

- آمار توصیفی

نتایج بررسی جنسیت پاسخگویان نشان داد ۲۰۹ نفر (۸۷/۱ درصد) مرد و ۳۱ نفر (۱۲/۹ درصد) زن بودند. میانگین سن افراد مورد مطالعه ۵۰/۴۷ با انحراف معیار ۱۶/۳۸ سال بود و دامنه سنی آنان بین ۲۰ تا ۹۹ سال متغیر بود. نتایج بررسی بعد خانوار آن‌ها نشان داد میانگین ۵/۲۲ با انحراف معیار ۲/۰۴ نفر بود. میانگین سابقه کار کشاورزی در میان پاسخگویان ۲۵/۲۷ با انحراف معیار ۱۷/۸۷ سال بود. در بررسی وضعیت تحصیلی پاسخگویان نتایج نشان داد ۶۶ نفر (۲۷/۵ درصد) بی‌سواد، ۶۷ نفر (۲۷/۹ درصد) ابتدایی، ۴۰ نفر (۱۶/۷ درصد) راهنمایی، ۱۷ نفر (۷/۱ درصد) دیپلم و ۵۰ نفر (۲۰/۸ درصد) بالاتر از دیپلم بودند. میانگین مساحت سطح زیرکشت گندم ۴/۷۲ با انحراف معیار ۵/۸۶ هکتار بود.

- بررسی میزان به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه

به‌منظور بررسی وضعیت میزان به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه از طیف (انجام می‌دهم و انجام نمی‌دهم) استفاده شد. در جدول (۱) وضعیت استفاده از ۳۱ عملیات پایداری محیط‌زیستی در سطح مزرعه در میان کشاورزان ارائه شده است.

جدول ۱- بررسی میزان به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه

مقولات	انجام می‌دهم	انجام نمی‌دهم
کنترل آفات گیاهی		
استفاده از محصولات بیولوژیکی و طبیعی	۱۹/۱	۸۰/۹
کاربرد گونه‌های مقاوم به آفات	۳۸/۲	۶۱/۸
تنظیم تاریخ بذرپاشی	۴۹/۲	۵۰/۸
استفاده از تله نوری و ابزارهای دیگر مکانیکی	۱۳/۳	۸۶/۷
استفاده از آفت‌کش‌های مجاز	۵۵/۱	۴۴/۹
استفاده از سموم در زمان مناسب	۶۱/۴	۳۸/۶
کنترل علف هرز		
تنظیم تاریخ کاشت	۶۳/۵	۳۶/۵
کنترل مکانیکی (وجین علف هرز، سوزاندن، ریشه کنی و ...)	۴۲/۱	۵۷/۹
استفاده از علف‌کش‌ها به میزان و در زمان مناسب	۴۶/۱	۵۳/۹
کنترل کود حیوانی از نظر آلودگی به بذر علف هرز	۳۹/۳	۶۰/۷
جلوگیری از نظر به بذر نشستن بذر علف هرز	۲۹/۴	۷/۶
عملیات حفاظت از خاک		
استفاده از کود شیمیایی متناسب با نیاز گیاه	۶۶/۴	۳۳/۶
استفاده از کودهای حیوانی و گیاهی متناسب با نیاز گیاه	۳۷/۵	۶۲/۵
استفاده از کودها در زمان مناسب	۴۱/۳	۵۸/۷
حداقل کردن عملیات خاکورزی	۴۴/۲	۵۵/۸
استفاده از گوگرد	۳۲/۱	۶۷/۹
آیش	۴۰/۲	۵۹/۸

مقولات	انجام می‌دهم	انجام نمی‌دهم
کنترل بیماری گیاهی		
تناوب زراعی	۷۸/۴	۲۱/۶
استفاده از گونه‌های مقاوم به بیماری‌ها	۵۳/۴	۴۶/۶
تنظیم تاریخ کاشت محصول	۶۹/۷	۳۰/۳
استفاده از آهك	۱۹/۲	۸۰/۸
عملیات حفاظت از آب		
طراحی مناسب زمین (برای تسهیل زهکشی سطحی)	۴۲/۸	۵۷/۲
بازیابی آب پایین دست	۳۰/۲	۶۹/۸
زهکشی مزرعه	۳۸/۲	۶۱/۸
ذخیره آب در استخر	۲۰/۸	۷۹/۲
ذخیره آب اضافی در هر نوبت آبیاری جهت آبیاری بعدی	۱۹/۶	۸۰/۴
سیمانی کردن شاهراه‌های اصلی اطراف مزرعه	۲۶/۸	۷۳/۲
آبیاری زمین تا حدی که زمین قادر به جذب آن باشد	۵۱/۹	۴۸/۱
تعیین نیاز آبی سالانه	۳۱/۶	۶۸/۴
آبیاری زمین به صورت یکنواخت	۵۶/۷	۴۳/۳
دادن آب برای آزمایش (برای تعیین میزان شوری و ...)	۲۲/۵	۷۷/۵
زمان بندی آبیاری	۴۶/۲	۵۳/۸

- بررسی چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه

نتایج بررسی چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه از دیدگاه کشاورزان مطالعه شده نشان داد چالش‌های «ساختار سازمانی نامناسب برای سیاست‌گذاری کارآمد» و «عدم برگزاری دوره‌های ترویجی و آموزشی» مهمترین چالش شناخته شدند. درحالی‌که چالش‌های «عدم حمایت دولت در تقبل بخشی از هزینه‌ها» و «نبود مزارع نمایشی و طریقه‌ای» اهمیت کمتری نسبت به سایر چالش‌ها دارد (جدول ۲).

جدول ۲- اولویت‌بندی چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار زیست محیطی در سطح مزرعه

گویه	میانگین	انحراف معیار	ضریب	رتبه
ساختار سازمانی نامناسب برای سیاست‌گذاری کارآمد	۳/۰۲	۱/۰۴	۰/۳۴۳	۱
عدم برگزاری دوره‌های ترویجی و آموزشی	۲/۵۶	۰/۸۹۸	۰/۳۵۰	۲
نبود مشوق‌های مالی و اعتباری	۲/۸۹	۱/۰۵	۰/۳۶۳	۳
عدم تحقیق مناسب در زمینه نهادهای مناسب	۲/۶۹	۱/۰۰	۰/۳۷۱	۴
عدم جدیدیت در سازمان‌های ذیربط	۲/۵۵	۰/۹۸۸	۰/۳۸۷	۵
عدم نظارت مناسب بر عملیات مزرعه	۲/۴۹	۱/۰۲	۰/۴۰۹	۶
عدم خرید تضمینی محصولات تولیدی با شیوه پایدار	۲/۶۸	۱/۱۳	۰/۴۲۱	۷
پیچیدگی عملیات پایدار محیط‌زیستی	۲/۷۷	۱/۱۸	۰/۴۲۵	۸
فقدان نظام اطلاع‌رسانی و توجیهی کارآمد	۲/۸۲	۱/۲۳	۰/۴۳۶	۹
ضعف مهارت‌های حرفه‌ای کشاورزان	۲/۶۲	۱/۱۶	۰/۴۴۲	۱۰
کمبود نیروی انسانی و متخصص در زمینه کشاورزی	۲/۷۴	۱/۲۴	۰/۴۵۰	۱۱
فقدان هماهنگی بین سازمان‌های موجود	۲/۴۸	۱/۱۵	۰/۴۶۳	۱۲
پایین بودن جایگاه کشاورزی در نزد سیاست‌گذاران	۲/۶۵	۱/۲۴	۰/۴۶۷	۱۳
هزینه‌بر بودن نهاده‌های کشاورزی پایداری	۲/۴۲	۱/۱۴	۰/۴۷۱	۱۴
نبود مزارع نمایشی و طریقه‌ای	۲/۶۶	۱/۲۷	۰/۴۷۷	۱۵
عدم حمایت دولت در تقبل بخشی از هزینه‌ها	۲/۵۸	۱/۲۴	۰/۴۸۰	۱۶

به منظور طبقه‌بندی ۱۶ چالش شناسایی شده از تحلیل عاملی اکتشافی استفاده است. جهت تعیین مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی از ضریب KMO و آزمون بارتلت استفاده شد. مقدار KMO برابر ۰/۸۳۴ و مقدار آزمون بارتلت برابر ۱۲۳۴/۲۴۱ (p= ۰,۰۰۰) بود که در سطح یک درصد معنی‌دار شد و در نتیجه نشان دادند که داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب هستند. در این تحلیل ۳ عامل با مقادیر ویژه بالاتر از ۱ استخراج شد، که ۴۲/۶۹۱ درصد از واریانس کل عامل‌ها را تبیین می‌کردند. با توجه به‌مقدار ویژه در جدول (۳) عامل اول بیشترین سهم (۴/۱۵۴) و عامل آخر (سوم) کمترین سهم (۲/۶۵۲) را در تبیین واریانس کل عامل‌ها داشتند.

جدول ۳- عامل های استخراجی با بار عاملی آن‌ها

شماره عامل	مقدار ویژه	درصد واریانس	واریاتس تجمعی
۱	۴/۱۵۴	۱۹/۲۴۱	۱۹/۲۴۱
۲	۳/۲۵۴	۱۴/۱۲۶	۳۳/۳۶۷
۳	۲/۶۵۲	۹/۳۲۴	۴۲/۶۹۱

به‌منظور جداسازی عامل‌ها به‌صورت روشن‌تر از چرخش عاملی واریماکس استفاده شده است که بار عاملی هر متغیر پس از چرخش عاملی در جدول (۴) ارائه شده است. پس از بررسی گویه‌های (متغیرها) مربوط به هر عامل و بار عاملی آن‌ها، عوامل به این ترتیب نام‌گذاری شدند ۱- چالش‌های آموزشی و حرفه‌ای ۲- چالش‌های سیاست‌گذاری و نهادی ۳- چالش‌های اقتصادی و حمایتی.

- ارزیابی برازش مدل تأییدی چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه

متغیر نهفته چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی با سه سه بعد چالش آموزشی و حرفه‌ای، سیاست‌گذاری و نهادی و اقتصادی -حمایتی شناسایی شده در مرحله تحلیل عاملی اکتشافی در مجموع با ۱۶ نشانگر وارد تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم شد. در جدول (۵) مقدار بار عاملی استاندارد شده شاخص‌های اثرات و سطح معنی‌داری آن‌ها با توجه به مقدار t در تحلیل عاملی تأییدی مرتبه دوم آورده شده است.

جدول ۴- تحلیل چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه

عامل‌ها	گویه‌های هر عامل	بار عاملی	نماد در مدل
چالش‌آموزشی و حرفه‌ای	- کمبود نیروی انسانی و متخصص در زمینه کشاورزی	۰/۸۵۶	EP۱
	- عدم برگزاری دوره‌های ترویجی و آموزشی	۰/۸۰۲	EP۲
	- فقدان نظام اطلاع‌رسانی و توجیهی کارآمد	۰/۷۶۵	EP۳
	- نبود مزارع نمایشی و طریقه‌ای	۰/۶۹۸	EP۴
	- عدم تحقیق مناسب در زمینه نهادهای مناسب	۰/۷۰۱	EP۵
	- پیچیدگی عملیات پایدار محیط‌زیستی	۰/۶۵۵	EP۶
	- ضعف مهارت‌های حرفه‌ای کشاورزان	۰/۵۵۲	EP۷
چالش سیاست‌گذاری و نهادی	- عدم جدیدیت در سازمان‌های ذیربط	۰/۸۷۸	PI۱
	- فقدان هماهنگی بین سازمان‌های موجود	۰/۷۶۸	PI۲
	- عدم نظارت مناسب بر عملیات مزرعه	۰/۶۸۸	PI۳
	- ساختار سازمانی نامناسب برای سیاست‌گذاری کارآمد	۰/۶۲۲	PI۴
	- پایین بودن جایگاه کشاورزی در نزد سیاست‌گذاران	۰/۵۶۸	PI۵
چالش اقتصادی و حمایتی	- هزینه‌بر بودن نهاده‌های کشاورزی پایداری	۰/۸۵۵	ES۱
	- عدم حمایت دولت در تقبل بخشی از هزینه‌ها	۰/۸۱۱	ES۲
	- نبود مشوق‌های مالی و اعتباری	۰/۷۱۲	ES۳
	- عدم خرید تضمینی محصولات تولیدی با شیوه پایدار	۰/۶۲۱	ES۴

جدول ۵- مقادیر بارهای عاملی استانداردشده و سطح معنی‌داری آن‌ها

سازه	شاخص	نماد در مدل	ضریب استاندارد	خطای استاندارد	t	R^2	α	CR	AVE
چالش	آموزشی و حرفه‌ای	EP	۰/۸۳	۰/۰۸	۱۰/۶۵**	۰/۶۹	۰/۷۹	۰/۵۸۶	۰/۸۵۲
	سیاست‌گذاری و نهادی	PI	۰/۶۹	۰/۰۸	۱۱/۴۲**	۰/۵۵	۰/۸۸	۰/۶۵۲	۰/۹۵۲
	اقتصادی و حمایتی	ES	۰/۶۳	۰/۰۹	۱۰/۴۱**	۰/۴۰	۰/۷۵	۰/۶۰۲	۰/۸۰۴

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

با توجه به نتایج (۵) مشاهده می‌شود تمامی نشانگرها (شاخص‌ها) دارای مقدار t بالاتر از ۱/۹۶ می‌باشند. همچنین، نتایج جدول مذکور نشان می‌دهد برای سازه چالش، شاخص‌های CR، α و AVE مقدار مناسب و قابل قبولی دارند. بنابراین، می‌توان اظهار کرد تمامی شاخص‌های انتخابی برای سنجش چالش‌های بکارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه دقت لازم و کافی دارند و روایی و پایایی آن‌ها نیز مورد تأیید است.

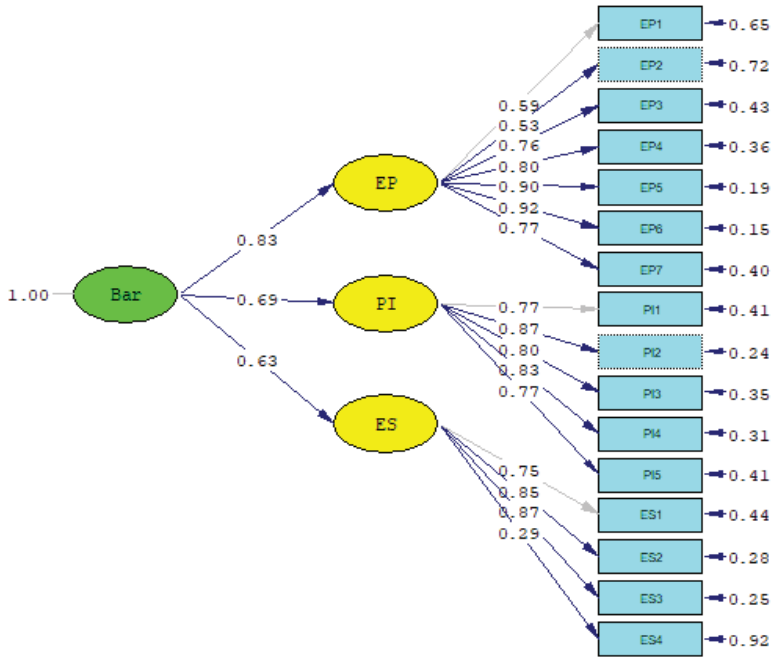
برای ارزیابی برازندگی مدل تحلیل عاملی تأییدی شاخص‌های برازندگی متفاوتی وجود دارد. در این پژوهش، برای ارزیابی برازش مدل اندازه‌گیری چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه از شاخص‌های نظیر؛ شاخص کای‌اسکویر بر درجه آزادی (X^2/df)، شاخص برازندگی تطبیقی (CFI)، شاخص نرم شده برازندگی (NFI)، شاخص نرم نشده برازندگی (NNFI)، شاخص برازندگی (GFI)، شاخص تعدیل برازندگی (AGFI)، شاخص برازندگی فزآیند (IFI)، شاخص جذر برآورد خطای تقریب (RMSEA) و شاخص میانگین مجذور پس‌مانده‌ها (RMR) استفاده شد. مقدار معیار (حد مطلوب) و مقدار گزارش شده هر یک از شاخص‌های فوق برای مدل اندازه‌گیری چالش‌های بکارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۶- شاخص‌های برازندگی مدل اندازه‌گیری

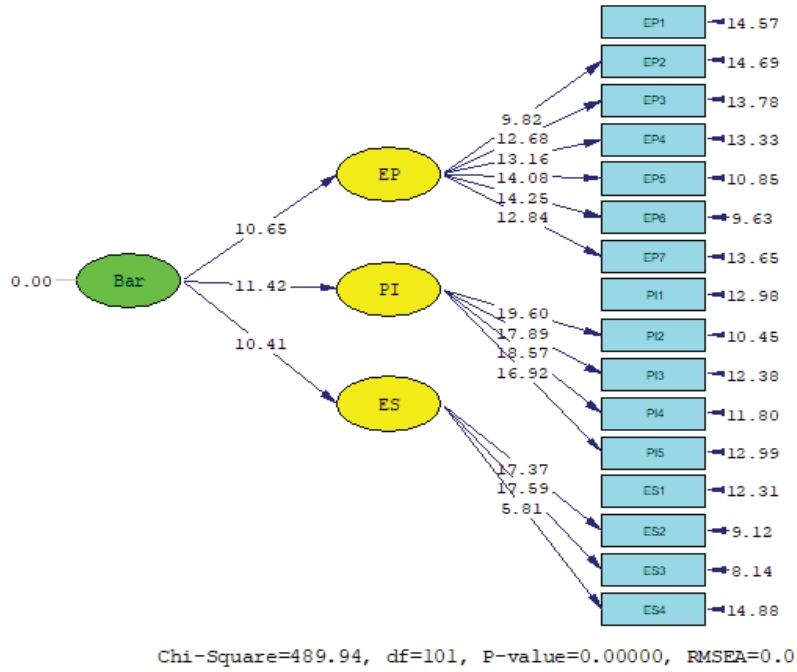
شاخص	معیار	مقدار گزارش شده
X^2/df	۳ و کم‌تر	۲/۶۸
RMR	کوچک‌تر از ۰/۰۵	۰/۰۴۵
GFI	۰/ ۹ و بالاتر	۰/۹۸
AGFI	۰/۹ و بالاتر	۰/۹۸
NFI	۰/۹ و بالاتر	۰/۹۷
NNFI	۰/۹ و بالاتر	۰/۹۸
IFI	۰/۹ و بالاتر	۰/۹۹
CFI	۰/۹ و بالاتر	۰/۹۸
RMSEA	کوچک‌تر از ۰/۰۸	۰/۰۵۱

باتوجه‌به مقدار گزارش شده شاخص‌های برازندگی در جدول (۶) مشاهده می‌شود مدل تأییدی چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه برازش مناسب و قابل قبولی دارد. بنابراین، می‌توان گفت داده‌های این پژوهش با ساختار عاملی و زیر بنای نظری تحقیق برازش مناسبی دارند و این بیانگر همسو بودن نشانگرها (شاخص‌ها) با سازه نظری چالش‌ها می‌باشد.

از این‌رو در تحقیقات آینده نیز می‌توان از آن‌ها برای سنجش چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه استفاده کرد. مدل اندازه‌گیری برازش یافته (پس از انجام اصلاحات) مربوط به چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه با نمایش بارهای عاملی استاندارد شده در شکل (۱) و در حالت معنی‌داری (شکل ۲) نمایش داده شده است.



شکل ۱- مدل تأییدی پژوهش در حالت استاندارد



Chi-Square=489.94, df=101, P-value=0.00000, RMSEA=0.051

شکل ۲- مدل تأییدی پژوهش در حالت معنی‌داری

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این پژوهش با هدف چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار در سطح مزعه انجام شد. به‌طور کلی نتایج نشان از دیدگاه کشاورزان مهمترین چالش‌های این بخش شامل «ساختار سازمانی نامناسب برای سیاست‌گذاری کارآمد» و «عدم برگزاری دوره‌های ترویجی و آموزشی» بود این یافته با مطالعات (قادری و همکاران، ۱۳۹۴؛ محمدی، ۱۳۹۷؛ Ramezani Ghavamabadi، ۲۰۱۲؛ Razzaghi Borkhani و همکاران، ۲۰۱۹؛ Syarifuddin و Alamsyah، ۲۰۱۷) همسو بود. علاوه بر این، نتایج تحلیل عاملی مهمترین چالش‌های به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی را در سه عامل چالش آموزشی و حرفه‌ای، چالش‌های سیاست‌گذاری و نهادی و چالش‌های اقتصادی و حمایتی خلاصه کرد. در ادامه به تحلیل نتایج این بخش پرداخته می‌شود.

• چالش آموزشی و حرفه‌ای

مهمترین چالش کشاورزان در زمینه بکارگیری عملیات پایدار محیط زیست چالش آموزشی و حرفه‌ای بود این یافته با مطالعات (محمدی، ۱۳۹۷: Ramezani Ghavamabadi، ۲۰۱۲) برای اینکه موانع آموزشی از مهمترین چالش کشاورزان در زمینه عملیات پایدار محیط زیست می‌دانستند مطابقت دارد. درحالی‌که با مطالعات (موسی پور و همکاران، ۱۳۹۷؛ Botetzagias و همکاران، ۲۰۱۵؛ Molina و همکاران، ۲۰۱۳) همخوانی نداشت زیرا آنان در مطالعات خود در زمینه به‌کارگیری عملیات پایدار محیط زیست به مسائل آموزشی اشاره نداشتند. براساس بار عاملی موارد تشکیل دهنده این عامل سه مورد کمبود نیروی انسانی و متخصص در زمینه کشاورزی و عدم برگزاری دوره‌های ترویجی و آموزشی فقدان نظام اطلاع‌رسانی و توجیهی کارآمد از مهمترین چالش‌های این بخش بود. محققان دیگر نیز در این زمینه بر این باور هستند که یکی از نیازهای اساسی کشاورزان در زمینه به‌کارگیری عملیات پایدار محیط زیستی برگزاری دوره‌های آموزشی و مهارتی است (محمدی، ۱۳۹۷). این یافته نشان می‌دهد بسیاری از کشاورزان از نحوه به‌کارگیری عملیات آموزش عملیات محیط‌زیست پایدار آگاهی و مهارت چندانی ندارند و نیاز است که مهارت‌های حرفه‌ای در زمینه عملیات پایدار محیط زیست را بیاموزند. آموزش محیط‌زیست، بنیادی‌ترین شیوه در حفاظت محیط‌زیست بود که هدف از آن، یافتن مناسب‌ترین و بهترین شیوه انجام فعالیت‌ها در محیط طبیعی است و زمینه‌ساز ارتقا آگاهی‌های زیست‌محیطی در سطح جامعه می‌باشد. بنابراین، کسب آگاهی محیط‌زیستی نخستین گام در راه تحقق و به‌کارگیری اصل پایداری است و از پایه شرط بقای آینده بشریت آگاهی محیط‌زیستی است (فریتیوف، ۱۳۹۴). آگاهی محیط‌زیستی همواره می‌تواند بسیاری از مشکلاتی که گریبانگیر محیط‌زیست است را بر طرف نماید. کمبود دانش می‌تواند رفتارهای دوستدارانه محیط‌زیست را محدود کند (Vicente-Molina و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین، به سیاست‌گذاران توسعه کشاورزان و توسعه پایدار پیشنهاد می‌شود دوره‌های ترویجی و کارگاه‌های مناسب در محل آنان برگزار شود و نحوه به‌کارگیری رفتارهای پایدار محیط‌زیستی آموزش داده شود. همچنین می‌توان از طریق آموزش‌های از راه دور و شبکه‌های استانی در ساعات مشخص به آموزش کشاورزان پرداخت تا آنان بتوانند دانش کافی در این زمینه کسب کنند.

• چالش‌های سیاست‌گذاری و نهادی

دومین چالش مهم اساسی در برابر به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی در سطح مزرعه چالش‌های سیاست‌گذاری و نهادی بود این یافته با مطالعات (محمدی، ۱۳۹۷) همسو بود. درحالی‌که در بسیاری از مطالعات (منتی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ قادری و همکاران، ۱۳۹۴؛ Sangroya و Nayak، ۲۰۱۷؛Pirish و Abdollahi، ۲۰۱۹) به چالش‌های سیاست‌گذاری و نهادی اشاره نداشتند و مطالعات محدودی به این عامل توجه داشتند این یک خلاء اساسی در ادبیات مربوط به عملیات پایدار محیط‌زیستی است. بنابراین، نتایج این تحقیق می‌تواند شکاف مطالعات گذشته را تا حدودی کاهش دهد و یکی از مهمترین چالش‌های محیط‌زیست را که عامل‌های سیاست‌گذاری و نهادی است را مطرح نماید. مهمترین چالش‌های سیاست‌گذاری و نهادی شامل نبود پایداری در سازمان‌های ذی‌ربط، فقدان هماهنگی بین سازمان‌های موجود و عدم نظارت مناسب بر عملیات مزرعه بود. این یافته بیانگر این است که سازمان‌های ذی‌ربط در بخش کشاورزی اهمیت چندانی برای فعالیت و نظارت بر عملیات به‌کارگیری کشاورزان در سطح مزرعه تدارک نمی‌بینند و این موضوع اهمیت چندانی برای آنان ندارد. مروری بر میزان استفاده از سموم و کودهای شیمیایی در طول یک دهه گذشته نشان می‌دهد که کشاورزان با هدف افزایش تولید به‌طور بی‌رویه از این نهاده‌ها استفاده می‌کنند و هیچگونه نظارتی بر فعالیت‌های آنان نشده است و هیچ دوره‌ای برای بکارگیری عملیات پایدار محیط‌زیست در میان آنان برگزار نشده است که این موارد نشان دهنده چالش‌های سیاسی و نهادی در بخش کشاورزی است.

• چالش‌های اقتصادی و حمایتی

سومین چالش مهم در بخش به‌کارگیری عملیات پایدار محیط زیستی در میان کشاورزان گندم‌کار چالش‌های اقتصادی و حمایتی بود. مطالعات (Pirish و Abdollahi، ۲۰۱۹؛Sangroya

و Nayak، ۲۰۱۷؛ Botetzagias و همکاران، ۲۰۱۵) از این یافته حمایت می‌کند زیرا آنان نیز به این مهم توجه داشتند که یکی از عامل‌های مهم مانع به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی چالش‌های اقتصادی و حمایتی است. درحالی‌که در مطالعات (کنعانی و احمدوند،۱۳۹۸؛ محمدی،۱۳۹۷؛ Razzaghi Borkhani و همکاران، ۲۰۱۹) دیگر به این مهم توجه نداشتند. مهمترین چالش‌های این بخش شامل هزینه‌بر بودن نهاده‌های کشاورزی پایداری، عدم حمایت دولت در تقبل بخشی از هزینه‌ها، نبود مشوق‌های مالی و اعتباری می‌گیرد. این نتیجه می‌تواند بینش جدیدی را برای سیاست‌گذاران این حوزه فراهم کند زیرا در تمامی مطالعات گذشته فقط پایین بودن درآمد کشاورزان را به‌عنوان چالش اقتصادی مطرح نموده بودند و به هزینه‌بر بودن نهاده‌های پایدار در بخش کشاورزی و عدم تقبل دولت در بخشی از این هزینه‌ها توجه نشده بود. بنابراین، نتایج این تحقیق می‌تواند خلاء تحقیقات گذشته در زمینه چالش‌های اقتصادی در زمینه به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیست را کمتر نماید. در تحلیل نتایج این بخش می‌توان گفت که بسیاری از کشاورزان اعتقاد دارند که به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیستی برای آنان در بردارنده هزینه‌هایی می‌باشد در صورتی که دولت از آنان حمایت‌های هدفمندی صورت دهد آنان به سهولت بیشتری عملیات پایدار محیط‌زیستی را به‌کار خواهند بست. علاوه‌براین، بسیاری از آنان معتقدند که به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیست در سطح مزرعه منجر به کاهش میزان درآمد آنان خواهد شد در صورتی که دولت بتواند برای آن‌های مشوق‌های مالی ایجاد کند آنان می‌توانند عملیات پایدار محیط‌زیست را به‌کار بگیرند. در این راستا پیشنهاد می‌شود که دولت با پذیرفتن بخشی از هزینه‌ها زمینه و انگیزه لازم را در کشاورزان برای به‌کارگیری عملیات پایدار محیط‌زیست را فراهم کند.

منابع

اسلام‌زاده، و. ۱۳۹۲. مقدمه‌ای بر جامعه‌شناسی محیط‌زیست. انشارات سازمان سبز حزب اسلامی کار. چاپ اول. تهران.

اصولی، ن. و طالشی، ک. ۱۳۹۹. بررسی میزان انجام راهکارهای مدیریت پایدار منابع آب بخش کشاورزی استان لرستان در شرایط خشکسالی. دومین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالش‌های زیست‌محیطی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ساری. مازندران.

پژوهشکده اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳۸۴. طرح جامع توسعه‌ی استان لرستان. سازمان مدیریت برنامه‌ریزی استان لرستان.

جمشیدی، ع.، نور زمان‌آبادی، ه.، جمینی. د.، بهاری، ع. و مرادی، ن. ۱۳۹۴. بررسی و ارزیابی سازه‌های مؤثر بر کشاورزی پایداری (مطالعه موردی: برنج کاران شهرستان شیروان چرداول، استان ایلام). تحقیقات جغرافیایی، ۳۰(۳): ۲۲۳-۲۴۰.

حق‌ندری، ف. میرزایی، ر. و افضلی، ا. ۱۳۹۶. ارزیابی آسیب‌پذیری محیط‌زیست زیستی استان لرستان با استفاده از تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره. فصلنامه جغرافیا و پایداری محیط، ۲۵ :۱۹-۳۴.

سواری، م. و اسدی، ز. ۱۳۹۹. تعیین کننده‌های عضویت زنان روستایی در تعاونی‌های حفاظت از جنگل در استان لرستان. مجله جنگل و فرآورده‌های چوب، ۷۲(۴): ۳۱۳-۳۲۶.

شرفی، ل. و علی‌بیگی، ا. ۱۳۹۴. الگو سنجش پایداری محیط‌زیست روستایی مورد: روستای شروینه در شهرستان جوانرود. فصلنامه اقتصاد فضا و توسعه روستایی، ۴(۲): ۱۱۵-۱۳۲.

شکرگزار، ا.، جعفرآبادی مهرآبادی، م. و رحیمی یکتا، س. ۱۳۹۵. نقش سرمایه اجتماعی در توسعه پایدار زیست محیطی مطالعه مورد شهر خرم‌آباد. اولین همایش ملی منابع طبیعی و توسعه پایدار در زاگرس مرکزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد.

ظاهری، م. و سعدی، م. ۱۳۹۶. تحلیل پایداری زیست‌محیطی در جوامع روستایی حاشیه اکوسیستم تالاب بر اساس الگوی بوم روستا مطالعه موردی: روستاهای حاشیه تالاب زریوار. محیط‌شناسی، ۴(۲): ۲۵۷-۲۷۵.

فاضلی، م. ۱۳۹۱. جامعه‌شناسی و تعهد محیط‌زیستی. ماهنامه همشهری. ۱۰۰: ۱۵-۲۸.

فریتیوف، ک. ۱۳۹۴. پیوندهای پنهان: تلفیق گستره‌های زیستی، شناختی و اجتماعی در علم پایداری. مترجم محمد حریری اکبری، جلد سوم. انتشارات نشر نی. تهران.

کنعانی، ا. و احمدوند، م. ۱۳۹۸. تبیین رفتار محیط‌زیستی کشاورزان گندم کار آبی: کاربرد تئوری ارزش-اعتقاد-هنجار. آموزش محیطزیست و توسعه پایدار، ۷(۳): ۳۵-۴۶.

محمدی، ف. ۱۳۹۷. پایداری زیست‌محیطی و عوامل تحقق آن در بخش کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان پاکدشت). اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۰۱(۲۶): ۲۴۷-۲۶۷.

منتی‌زاده، م.، زمانی، غ. و کرمی، ع. ۱۳۹۲. مدل یابی رفتار زیست‌محیطی زارعان شهرستان شیراز با استفاده از تئوری ارزش-عقیده-هنجار استرن. فصلنامه تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۴۵(۴): ۶۱۳-۶۲۴.

موسی‌پور، ک.، نعیمی، ا. و رضایی، ر. ۱۳۹۷. تحلیل جمعیت شناختی ادراک روستایی از پایداری محیطی در نواحی

روستایی شهرستان باغ ملک استان خوزستان. مجله تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی، ۱۱(۴۱): ۵۳-۶۶.

قادری، ن. چوپانی، س. صالحی،ص. و خوش‌فر، غ. ۱۳۹۴. بررسی عوامل اجتماعی موثر بر رفتار زیست‌محیطی در شهرستان مریوان در سال ۱۳۹۲. علوم پزشکی زانکو، ۴۸(۱۶): ۱۰-۱۸.

Arnesano M., Revel G. M. and Seri F. 2016. A tool for the optimal sensor placement to optimize temperature monitoring in large sports spaces, Automation in Construction, 68: 223–234.

Blessing I. A. 2012. Environmental literacy assessment: Exploring the potential for the assessment of environmental education/Programs in Ontario schools. International Journal for Cross- Disciplinary Subjects in Education (IJCDSE), 3(1): 648-656.

Botetzagias I., Dima A. F. and Malesios Ch. 2015. Extending the theory of planned behavior in the context of recycling: the role of moral norms and of demographic predictors. Resources, Conservation and Recycling, 95: 58–67.

Budak D. 2005. Behavior & Attitude of Student toward Environmental Issues at Faculty of Agricultural Turkey. Journal of Applied Sciences, 5(7): 224-1227.

Chowdury A. and Dey M. 2016. Green Banking Practics in Bangkadesh, 3(8): 15-23.

Dang H. L., Li E., Nuberg I. and Bruwer J. 2014. Understanding farmers' adaptation intention to climate change: a structural equation modelling study in the Mekong Delta, Vietnam. Environmental Science and Policy, 41(1): 11-22.

Elliott S. and Young T. 2016. Nature by default in early childhood education for sustainability. Australian Journal of Environmental Education, 32(01): 57-64.

Ertz M., Karakas F. and Sarigöllü E. 2016. Exploring pro-environmental behaviors of consumers: An analysis of contextual factors, attitude, and behaviors. Journal of Business Research, 69(10): 3971-3980.

FAO. 2018. The state of food security and nutrition in the world 2018. Building climate resilience for food security and nutrition. (FAO), Rome, Italy.

Gifford R. 2011. The Dragons of Inaction: Psychological Barriers that Limit Climate Change Mitigation and Adaptation, American Psychologist, 66(4): 290-302.

Hou D., Al-Tabbaa A., Chen H. and Mamic I. 2014. Factor analysis and structural equation modelling of sustainable behaviour in contaminated land remediation. Journal of Cleaner Production, 84:439-449.

Huang P. S. and Shih L. H. 2009. Effective environmental management through environmental knowledge management. Environmental Science Technology (Environ Sci Technol), 6(1): 35-50.

Hynes N. and Wilson J. 2016. I do it, but don't tell anyone! Personal values, personal and social norms: Can social media play a role in changing pro-environmental behavior's. Technological Forecasting and Social Change, 111: 349-359.

Li W., Yuan K., Yue M., Zhang L. and Huang F. 2021. Climate change risk perceptions, facilitating conditions and health risk management intentions: Evidence from farmers in rural China. Climate Risk Management, 32: 100283.

Lorenzoni I., Nicholson-Cole S. and Whitmarsh L. 2007. Barriers Perceived to Engaging with Climate Change among the UK Public and their Policy Implications, Global Environmental Change, 17(3-4): 445-459.

Mahfuzur R. and Barua S. 2016. The design and adoption of green banking framework for environment protection: Lessons from Bangladesh. Rahman, SMM, & Barua, S. 2016. The design and adoption of green banking framework for environment protection: lessons from Bangladesh. Australian Journal of Sustainable Business and Society, 2(1): 1-19.

Manolas E. 2015. Promoting pro-environmental behavior: Overcoming barriers. AEJES, 1: 13-21.

Manoli C. C., Johnson B., Hadjichambis A. C., Hadjichambi D., Georgiou Y. and Ioannou H. 2014. Evaluating the impact of the Earthkeepers Earth education program on children's ecological understandings, values and attitudes, and behaviour in Cyprus. Studies in Educational Evaluation, 41: 29-37.

McCool S. 2013. Making tourism sustainable, sustainable tourism and what should tourism sustain: Different questions, different indicators. In International Symposium on Coastal and Marine Tourism, April 1999.

Molina V. M. A., Fernández S. A. and Izagirre, O. J. 2013. Environmental knowledge and other variables affecting pro-environmental behavior: comparison of university students from emerging and advanced countries. Journal of Cleaner Production, 61: 130-138.

Oskamp S. 2002. Environmentally Responsible Behavior: Teaching and Promoting It Effectively. Analyses of So-

Savari M. and Shokati Amghani M. 2021. Factors influencing farmers' adaptation strategies in confronting the drought in Iran. Environment, Development and Sustainability, 23: 4949-4972.

Savari M., Zhoolideh M. and Khosravipour B. 2021c. Explaining pro-environmental behavior of farmers: A case of rural Iran. Current Psychology, 51: 1-19.

Schmidt J. E. 2007. From intentions to actions: The role of environmental awareness on college students, UW-L Journal of Undergraduate Research, 10(10): 1-4.

Steg L. and Vlek C. 2009. Encouraging Pro-environmental Behavior: An Integrative Review and Research Agenda, Journal of Environmental Psychology, 29: 309-317.

Shen J., Dan E., Lu Y. and Guo Y. 2021. Exploratory Research on Over fertilization in Grain Production and Its Relationship with Financial Factors: Evidence from China. Sustainability, 13(4): 2176.

Shobeiri S. M. and Mieboudi H. 2013. Evaluation of environmental education and provide suggestions for improving the current situation in Iran. Journal of Environmental Sciences, 11(1): 119-130.

Syarifuddin D. and Alamsyah D. P. 2017. Green Perceived Value for Environmentally Friendly Products: Green Awareness Improvement. Journal Ekonomi Pembangunan: Kajian Masalah Ekonomi dan Pembangunan, 18(2): 245-255.

Tseng M. L. and Chiu A. S. 2013. Evaluating firm's green supply chain management in linguistic preferences. Journal of cleaner production, 40: 22-31.

Vicente-Molina M.A. Fernández-Sáinz A. and Izagirre-Olaizola J. 2013. Environmental knowledge and other variables affecting pro-environmental behaviour: comparison of university students from emerging and advanced countries. Journal of Cleaner Production, 61: 130-138.

World Health Organization (WHO). 2018. The state of food security and nutrition in the world 2018: building climate resilience for food security and nutrition. Food & Agriculture Org.

Yuan F., Tang K. and Shi Q. 2021. Does Internet use reduce chemical fertilizer use? Evidence from rural households in China. Environmental Science and Pollution Research, 28(5): 6005-6017.

cial Issues and Public Policy, 2(1): 173-182.

Pirish R. and Abdollahi S. 2019. Investigating the Impact of Consumer Knowledge and Attitude on Green Brands and the Intent to Buy Green Products (4th National Conference on Business and Business Management in Regional and Global Paradigms). Policies and purchasing, Appetite, 91: 48-55.

Ramezani Ghavamabadi M. H. 2012. Strategic investigation of conserving the environment in Iran. The necessities and dead ends. Strategic journal, 65: 233-257

Razzaghi Borkhani F., Rezvanfar A., Movahed Mohammadi H. and Hejazi Y. 2019. Modeling of Effectiveness Information Resources and Communication Channels on Good Agricultural Practices (GAP) Behavior for Sustainable Development of Citrus Gardens. Quarterly Journal of Environmental Education and Sustainable Development, 7(3): 71-88.

Salehi S. and Imam Gholi l. 2012. A study of role of cultural capital and environmental attitudes and behavior; (Case Study: Kurdistan). Iranian Journal of Culture and Communication Studies, 8(28): 91-120.

Sangroya D. Nayak J.K. 2017. Factors influencing buying behavior of green energy consumer, Journal of Cleaner Production, 151: 393-405.

Savari M., Ebrahimi-Maymand R. and Mohammadi-Kanigolzar F. 2013. The Factors influencing the application of organic farming operations by farmers in Iran. Agris on-line Papers in Economics and Informatics, 5(665-2016-44970): 179-187.

Savari M., Eskandari Damaneh H. and Eskandari Damaneh H. 2020a. Factors influencing local people's participation in sustainable forest management. Arabian Journal of Geosciences, 13(13): 1-13.

Savari M., Abdeshahi A., Gharechaee H. and Nasrollahian O. 2021a. Explaining farmers' response to water crisis through theory of the norm activation model: evidence from Iran. International Journal of Disaster Risk Reduction, 60: 102284.

Savari M., Eskandari Damaneh H. and Eskandari Damaneh H. 2021b. Factors influencing farmers' management behaviors toward coping with drought: evidence from Iran. Journal of Environmental Planning and Management, 64(11): 2021-2046.

2022, Vol.8, No.4, Pages 99 to 110
Journal of Water and Sustainable Development

آب و توسعه پایدار

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ٩٩ تا ١١٠
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Technical paper

نوع مقاله: فنی و ترویجی

Concept, Application, and Approaches of Watershed Hydrological Resilience Assessment

V. Amanjahani[1], Z. Hazbavi[2*], R. Mostafazadeh[3], A. EsmaliOuri[3], B. Moezzipour[4]

1,4- MSc Student of Watershed Management and Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. 2,3- Assistant Professor and Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

*(Corresponding Author Email: z.hazbavi@uma.ac.ir)

Received: 16-06-2021 Revised: 30-09-2021
Accepted: 02-10-2021 Available Online: 19-03-2022

مفهوم، کاربست و رویکردهای ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک آبخیز

ویدا امان جهانی[۱]، زینب حزباوی[۲*]، رئوف مصطفی‌زاده[۳]، اباذر اسمعلی‌عوری[۳]، بیتا معزی‌پور[۴]

۱و٤- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری و استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. ۲ و ۳- به‌ترتیب استادیار و دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: z.hazbavi@uma.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲٦ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

Abstract

Today, watersheds are severely affected by natural and man-made stresses, and their ability to recover and adapt to altered conditions depends on the resilience of watersheds. Therefore, due to the importance of this issue and the necessity to explain management models in order to promote resilience in the country's watersheds, the present paper aims to analyze the concept, application, and methods of hydrological resilience assessment as one of the resilience dimensions in comprehensive watershed management. Studies in this field are very limited worldwide but have an upward trend. Accordingly, the methods used to evaluate hydrological resilience have so far been limited to the use of simple compilation methods such as determining the arithmetic mean of some important hydrological indicators, using the Budyko curve and the Convex model. Budyko's curve analysis was mostly based on rainfall, evapotranspiration, and runoff production. But the convex model is used by considering the failure thresholds of hydrological indicators and establishing a relation between the process of long-term changes and the failure thresholds of indicators. The indicators used are multitude and have different applications depending on the hydrological conditions of each watershed. Among the most important of them can be the ratio of drought index to runoff, temporal trend and frequency of low and high water flow, change in annual water yield, groundwater level, surface runoff intensity, river enrichment from nutrients, and heavy metals, forest degradation percentage, soil erosion, sediment yield, and saline water levels are all the result of the interaction of other influential environmental factors, such as climatic, ecological, economic, biophysical and social.

Keywords: Watershed Sustainability, Land Degradation, Nature-Based Approaches, Index-Based Models, Resource Management.

چکیده

امروزه، حوزه‌های آبخیز به‌شدت تحت تأثیر تنش‌های طبیعی و انسانی قرار گرفته‌اند و توانایی آن‌ها برای بازیابی و سازگاری با شرایط تغییر یافته به تاب‌آوری حوزه‌ها بستگی دارد. ازاین‌رو، به‌سبب اهمیت موضوع و ضرورت تبیین الگوهای مدیریتی در راستای ارتقا تاب‌آوری حوزه‌های آبخیز کشور، نوشتار حاضر با هدف ترویج مفهوم، کاربست و روش‌های ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک به‌عنوان یکی از ابعاد تاب‌آوری در مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز تدوین شده است. مطالعات انجام شده در این زمینه در سطح جهان بسیار محدود است اما روند افزایشی دارد. براین‌اساس، روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک تاکنون محدود به استفاده از روش‌های تلفیق ساده مثل تعیین میانگین حسابی از برخی شاخص‌های هیدرولوژیک مهم، استفاده از منحنی Budyko و مدل Convex بوده است. تحلیل منحنی Budyko بیشتر بر اساس مقدار بارش، تبخیر و تعرق و میزان تولید رواناب استوار بوده است. اما مدل Convex با در نظر گرفتن آستانه‌های شکست شاخص‌های هیدرولوژیک و برقراری ارتباط بین روند تغییرات طولانی‌مدت و آستانه شکست شاخص‌ها به‌کار برده می‌شود. شاخص‌های مورد استفاده متعدد بوده و متناسب با شرایط هیدرولوژیک هر حوزه آبخیز کاربرد متفاوت دارند. از جمله مهمترین آن‌ها می‌توان به نسبت شاخص خشکی به رواناب، روند زمانی و فراوانی جریان‌های کم‌آبی و پرآبی، تغییر در تولید آب، سطح آب زیرزمینی، شدت رواناب سطحی، غنی‌شدگی رودخانه‌ها از مواد مغذی و فلزات سنگین، درصد تخریب جنگل، فرسایش خاک، تولید رسوب و سطح آب شور اشاره کرد که در واقع برآیند کنش و اندرکنش سایر عوامل محیطی تأثیرگذار همانند اقلیمی، بوم‌شناختی، اقتصادی، زیست‌فیزیکی و اجتماعی هستند.

واژه‌های کلیدی: پایداری آبخیز، تخریب زمین، رویکردهای طبیعت‌محور، مدل‌های شاخص‌محور، مدیریت منابع.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Amanjahani V., Hazbavi Z., Mostafazadeh R., EsmaliOuri A. and Moezzipour B. 2022. Concept, Application, and Approaches of Watershed Hydrological Resilience Assessment. Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 99-110. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2106.1056

مقدمه

فشارهای محیطی مختلف مثل تغییر کاربری زمین، تغییر اقلیم، حمله حشرات و گیاهان مهاجم و شیوع بیماری‌های همه‌گیر به‌سرعت مبناهای بوم‌شناختی کنونی را تغییر می‌دهند. غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر اکنون خارج از محدوده ثبت‌شده طی ۸۰۰ هزار سال گذشته است و زمینه را برای تغییر اقلیم برای چندین قرن فراهم می‌کند (IPCC، ۲۰۱۴؛ ۲۰۱۸؛ Zhu و همکاران، ۲۰۲۱). در بسیاری از مناطق، شاخص‌های اصلی اقلیمی مانند بارندگی سالانه و فصلی، دما و رطوبت به‌سرعت در حال خارج شدن از محدوده قبلی تغییرپذیری هستند (de Carvalho و همکاران، ۲۰۲۱؛ Van Rooyen، ۲۰۲۱). از بین رفتن ظرفیت سازگاری[1] بوم‌سازگان در اثر تغییرات محیطی شدید ممکن است منجر به کاهش گسترده تاب‌آوری[2] بوم‌سازگان در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و ملی شود (Liu و همکاران، ۲۰۲۰).

حوزه‌های آبخیز سامانه‌های پیچیده متشکل از ابعاد فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیکی در تعامل با هم و تأثیرگذاری بر یک‌دیگر هستند. غالباً درک دقیق از تعامل بین ابعاد مختلف در یک حوزه آبخیز دشوار بوده و بی‌شک دارای عدم قطعیت زیادی است (Krievins و همکاران، ۲۰۱۵). گزارش‌های جهانی بیان‌گر افزایش روز افزون اثرات تغییر اقلیم بر افزایش وقایع حدی آب و هوا از جمله سیل و خشک‌سالی هستند (IPCC، ۲۰۲۱). از آنجایی‌که تغییر اقلیم می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر سامانه‌های حوزه آبخیز داشته باشد لذا در چند دهه گذشته گرمایش جهانی به گفتار بسیار مهمی در زمینه هیدرولوژی تبدیل شده است (Pan و همکاران، ۲۰۱۵؛ Xue و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعات نشان داده است که تشدید چرخه جهانی آب در اثر گرم شدن زمین (گرمایش ناشی از فعالیت‌های انسانی) به‌دلیل افزودن گازهای گلخانه‌ای است (IPCC، ۲۰۱۸) که در نهایت به تبخیر بیشتر و وقایع شدید بارشی خواهد انجامید. علاوه‌بر این، این امر با الگوهای مکانی و زمانی بارندگی تداخل دارد و توزیع نابرابر بارندگی به‌وجود خواهد آمد که ممکن است در پاسخ به آن اختلال در شدت بارندگی به‌وجود آید (Creed و همکاران، ۲۰۱۴؛ Liu و همکاران، ۲۰۲۰). این تأثیرات به‌صورت اختلال در منابع آب، افزایش بلایای طبیعی، افزایش قرار گرفتن در معرض آلاینده‌های آبی، مسائل مربوط به کیفیت آب، انقراض گونه‌ها، از بین‌رفتن تنوع زیستی، خسارات اقتصادی و بهره‌برداری سریع از منابع بروز پیدا می‌کنند. میزان تأثیر باتوجه به موقعیت جغرافیایی و وضعیت حوزه آبخیز متفاوت است و تغییرات مختلفی در سامانه‌های اجتماعی و بوم‌شناختی حوزه آبخیز خواهد داشت و تغییرات گذرا یا دائمی در سامانه‌های حوزه آبخیز ایجاد می‌شود (Ostrom، ۲۰۰۹؛ MacDonald و همکاران، ۲۰۱۹).

پیش‌بینی شده است تغییرات اقلیمی جهانی در قرن بیست و یکم تأثیر به‌سزایی در رژیم هیدرولوژیک بسیاری از بوم‌سازگان سراسر جهان خواهند داشت (Pan و همکاران، ۲۰۱۵؛ Zhou و همکاران، ۲۰۱۵؛ Zhang و همکاران، ۲۰۱۶). فشار وارده بر چرخه هیدرولوژیک ناشی از تغییر اقلیم افزایش شدت خشک‌سالی؛ سیلاب و تغییر در سایر فرآیندهای هیدرولوژیک بوم‌سازگان حوزه آبخیز را در پی داشته است (Randhir، ۲۰۱۴). یکنواخت نبودن تولید رواناب به‌دلیل تغییر اقلیم مشکلاتی را در پیش‌بینی آن به همراه دارد. به‌همین دلیل، یک نگرانی جهانی در مورد مسئله تولید رواناب در مقیاس حوزه آبخیز وجود دارد. هرگونه واکنش پایدار هیدرولوژیک حوزه آبخیز به گرمایش اقلیمی، تاب‌آوری آن را برجسته‌تر می‌کند. ماهیت غیرقابل پیش‌بینی بودن واکنش هیدرولوژیک می‌تواند باعث ایجاد اختلال در طراحی و توسعه زیرساخت‌ها با هدف مدیریت خطر شود (Sinha و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات متعددی تنش‌های وارده بر سامانه‌های جهانی آب، افت آب‌های زیرزمینی، افزایش خطر سیل، و محدودیت در دسترسی به منابع آب شیرین را گزارش کرده‌اند و بر همین اساس توجه به تاب‌آوری هیدرولوژیک ضرورت دارد (Gerten و همکاران، ۲۰۰۵؛ Ebel و Mirus، ۲۰۱۴؛ de Carvalho و همکاران، ۲۰۲۱؛ Van Rooyen، ۲۰۲۱).

در میان بوم‌سازگان دارای پوشش گیاهی، جنگل‌ها از طریق تبخیر و تعرق، یعنی از دست دادن بخار آب به جو از طریق تعرق گیاه و تبخیر مستقیم سطحی، بر تعادل آب تأثیر می‌گذارند. جنگل‌ها از طریق تبخیر و تعرق به‌طور مستقیم بر تولید آب (به‌عنوان مثال، مقدار آب باران باقی‌مانده پس از پدیده تبخیر و تعرق) و قابلیت دسترسی آب در پایین‌دست و تنظیم رژیم هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارند (Muñoz-Villers و همکاران، ۲۰۱۲). به‌همین دلیل، سامانه‌های رودخانه‌ای در پهنه‌ها و بوم‌سازگان طبیعی پرتنش، به‌عنوان یکی از چالش‌برانگیزترین مسائل جهانی مربوط به مدیریت منابع طبیعی مطرح شده‌اند. اغلب مدیران منابع طبیعی در رفع این چالش‌ها تا حد زیادی از تاب‌آوری یا ظرفیت سامانه هیدرولوژیک برای جذب و پاسخ به یک آشفتگی همراه با حفظ ساختار و عملکردهای اساسی آن استفاده می‌کنند (Holling، ۱۹۷۳؛ Folke و همکاران، ۲۰۰۲).

ظرفیت هیدرولوژیک حوزه آبخیز در واکنش به فشارهای طبیعی، تحمیلی یا ضربه‌های ناگهانی مانند تغییر اقلیم، آتش‌سوزی و فعالیت‌های انسانی مثل چرا بیان‌گر سطح تاب‌آوری هیدرولوژیک آن حوزه آبخیز است. به‌عبارت دیگر، قابلیت حوزه آبخیز برای ترمیم یا نگه‌داری عملکرد و ساختار هیدرولوژیک خود در طول وقوع بی‌نظمی‌های کوتاه یا طولانی‌مدت، تاب‌آوری هیدرولوژیک گفته می‌شود. در حال حاضر کاربرد مفهوم تاب‌آوری هیدرولوژیک باید پایه اصلی بسیاری از برنامه‌ریزی‌ها

باشد. اگر بشر به‌دنبال ایجاد یک هدف واحد برای سازگاری با تغییر اقلیم و کاهش خطرات است، باید در تلاش دستیابی به یک سطح مناسب از ظرفیت هیدرولوژیک محیط‌زیست‌های مختلف انسان و سایر موجودات برای تحمل آشفتگی‌ها و احیاء سریع از آن‌ها باشد (Javadinejad و همکاران، ۲۰۲۰).

حوزه‌های آبخیز تاب‌آور ویژگی‌های مشخصی از دیدگاه هیدرولوژی دارند. برای نمونه، حوزه آبخیزی تاب‌آور است که نسبت به تغییرات طبیعی و مصنوعی حساسیت کمی داشته و الگوی رفتار هیدرولوژیک آن از حالت طبیعی خود به‌طور معناداری خارج نشود یا در صورت انحراف از حالت اولیه، بتواند سریع خود را بازیابی نماید. از یک دیدگاه مشخص می‌توان بیان کرد حوزه آبخیز تاب‌آور هیدرولوژیک، دامنه و الگوی تولید رواناب در محدوده قابل پیش‌بینی تحت شرایط تغییریافته محیط زیستی داشته باشد.

درک مطلوب از حد و مرزهای تاب‌آوری هیدرولوژیک (آستانه‌هایی که یک حالت سامانه را از حالت‌های جایگزین و احتمالاً نامطلوب متمایز می‌کنند) به مدیران منابع کمک می‌کند تا از تغییر رژیم جلوگیری کرده و یا وقوع طبیعی رژیم را تسهیل کنند تا خدمات بوم‌سازگان رودخانه به‌طور مطلوب حفظ یا بازیابی شود. لذا توجه به تاب‌آوری هیدرولوژیکی بوم‌سازگان‌های مختلف به‌ویژه در مقیاس حوزه آبخیز می‌تواند در تبیین خط‌مشی مناسب مدیریتی و الگوی حکمرانی ارزشمند باشد. بر همین اساس، مقاله حاضر با هدف ترویج مفهوم نوین تاب‌آوری هیدرولوژیکی و مروری بر شاخص‌ها و روش‌های ارزیابی آن تدوین شده است. یافته‌های تحقیق حاضر در راستای تحقق اهداف حفاظت و توسعه پایدار منابع آب و خاک و نیز تدوین الگوی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کشور مفید واقع خواهد شد.

تاب‌آوری

پیچیدگی‌های موجود بین عوامل محیطی مختلف موجود در یک حوزه آبخیز باعث شده است تا سیاست مسئولین بین‌المللی از اتخاذ رویکردهای صرفاً مبتنی بر بهره‌وری و بهینه‌سازی به سمت رویکردهای افزایش تاب‌آوری نسبت به تغییرات و سازگاری برای خودتنظیمی روی آورند (Javadinejad و همکاران، ۲۰۲۰؛ de Carvalho و همکاران، ۲۰۲۱). بر همین اساس، ملاحظات تاب‌آوری باید به‌عنوان یک جنبه سیاسی و تاریخی در برنامه‌ریزی و تعیین راهبردهای تاب‌آوری در نظر گرفته شوند. علاوه‌بر این، تاب‌آوری یکی از مهمترین مباحث تحقیقاتی در زمینه دستیابی به پایداری معرفی شده است. این مفهوم برای اولین بار به‌عنوان یک اصطلاح بوم‌شناختی توصیفی مطرح شده (Holling، ۱۹۷۳) و سپس توسط ابعاد تجربی، مجازی یا اصولی تعریف و گسترش یافته است (به‌عنوان مثال Holling، ۲۰۰۱؛ Ebel و Mirus، ۲۰۱۴؛ de Carvalho و همکاران، ۲۰۲۱؛ Van Rooyen، ۲۰۲۱). نوع استفاده از این مفهوم توسط دانشمندان حوزه‌های تحقیقاتی متفاوت به ارائه انواع تاب‌آوری از جمله تاب‌آوری مهندسی، تاب‌آوری بوم‌شناختی و تاب‌آوری اجتماعی رسیده است. از میان تمام سامانه‌های طبیعی، پیکره منابع آبی به‌طور قابل توجهی از تغییرات جهانی محیط‌زیست تأثیر پذیرفته‌اند (Xue و همکاران، ۲۰۲۱). فشارهای انسانی به‌طور قابل‌توجهی سامانه‌های رودخانه‌ای را تغییر داده و بر ارائه خدمات بوم‌سازگان آن تأثیر گذاشته‌اند. از آن‌جایی‌که جوامع بشری غالباً بر پایه تولید آب توسعه یافته‌اند، بنابراین تغییرات قابل توجه در میزان آن، حیات جوامع را در معرض خطر قرار می‌دهد. لذا، تاب‌آوری هیدرولوژیکی به تازگی به‌عنوان نوع جدیدی از تاب‌آوری در مدیریت اثربخش و برنامه‌ریزی سازگار با بلایای طبیعی مطرح شده است.

جدول ۱- مروری کوتاه بر تعریف‌های مختلف تاب‌آوری

نویسنده		تعریف
Pimm (۱۹۹۱)	تاب‌آوری مهندسی	زمان مورد نیاز برای بازگشت یک سامانه به شرایط پیش از تغییر یا وقوع یک حادثه است.
Holling و همکاران (۱۹۹۵)	تاب‌آوری بوم‌شناختی	ظرفیت یا توانایی بازمانده یک سامانه برای جذب آشفتگی است. همچنین روشنگر میزان اختلالی است که می‌تواند قبل از تغییر ساختار سامانه با تغییر شاخص‌ها رفع شود.
Adger (۲۰۰۰)	تاب‌آوری اجتماعی	ظرفیت سامانه‌های اجتماعی مانند جوامع برای مقاومت و سازگاری در برابر آشفتگی‌های ناشی از تغییرات اجتماعی، سیاسی یا محیط زیستی است.
Gerten و همکاران (۲۰۰۵)	تاب‌آوری هیدرولوژیک	توانایی یک سامانه یا حوزه آبخیز در جذب تغییرات و آشفتگی‌ها و حفظ یا بازیابی سریع عملکرد هیدرولوژیک است.

تاب‌آوری هیدرولوژیک

مفهوم تاب‌آوری هیدرولوژیک به‌عنوان توانایی یک حوزه آبخیز برای حفظ ثبات در برابر اختلالات هیدرولوژیک و یا قابلیت برگشت سریع آن به وضعیت قبل از تحمیل آشفتگی‌ها توصیف شده است. آشفتگی و اختلال هیدرولوژیک شامل یک واقعه یا رویداد ناگهانی است که عملکرد هیدرولوژیک مطلوب حوزه آبخیز را تغییر و تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ebel و Mirus، ۲۰۱۴). از جمله این آشفتگی‌ها می‌توان به فشار وارده ناشی از افزایش تقاضای جمعیت در حال رشد روزافزون، توسعه شهرنشینی و برنامه‌ریزی شهری ضعیف، تخریب پوشش گیاهی، تغییر نظام اقتصادی و سبک زندگی اجتماعی، انقراض زیستگاه‌های بوم‌شناختی، وقوع سیل‌های ناگهانی، تحلیل رفتن خدمات بوم‌سازگان، ناپیوستگی بوم‌شناختی و هیدرولوژیک و فشارهای ناشی از تغییر اقلیم و گرمایش جهانی اشاره نمود. هم‌چنین ساختار هیدرولوژیک شامل بخش فیزیکی حوزه‌های آبخیز و به‌ویژه پیکره پهنه‌های آبی موجود در آن است که در طولانی‌مدت قابل تغییر هستند و عملکرد هیدرولوژیک اشاره به فرآیندهای توزیع، ذخیره و رهاسازی آب از حوزه‌های آبخیز دارد (Black، ۱۹۹۷؛ Wagener و همکاران، ۲۰۰۷).

در پژوهشی، Gerten و همکاران (۲۰۰۵) مفهوم تاب‌آوری هیدرولوژیک را توانایی یک حوزه آبخیز در جذب تغییرات و آشفتگی‌ها و حفظ یا بازیابی سریع عملکرد هیدرولوژیک بیان کرده‌اند. حوزه‌های آبخیز تاب‌آور از لحاظ هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیزی محسوب می‌شوند که در محدوده تغییرات طبیعی پایدار و یا قابل انعطاف در برابر تغییرات شرایط محیطی باشند (Poff و همکاران، ۱۹۹۷). حوزه‌های آبخیز با مناطق غیرقابل نفوذ کم، سطوح نفوذپذیر زیاد، پوشش گیاهی متنوع و غنی، مواد مغذی در حد مطلوب، استانداردهای مطلوب کیفیت و کمیت آب به‌عنوان حوزه‌های آبخیز دارای تاب‌آوری بالا محسوب می‌شوند. حساسیت هیدرولوژیک کم یک حوزه آبخیز به تنش‌های وارد شده ناشی از تغییرات اقلیمی یا انسانی نیز از ویژگی‌های یک حوزه آبخیز تاب‌آور به‌شمار می‌رود. قابل ذکر است که در این زمینه مطالعات محدودی انجام شده اما در حال گسترش است و انتظار می‌رود که نتایج حاصل از این نوع مطالعات در تبیین سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی منطقه‌ای منابع طبیعی به‌طور مؤثر مورد استفاده قرار گیرند.

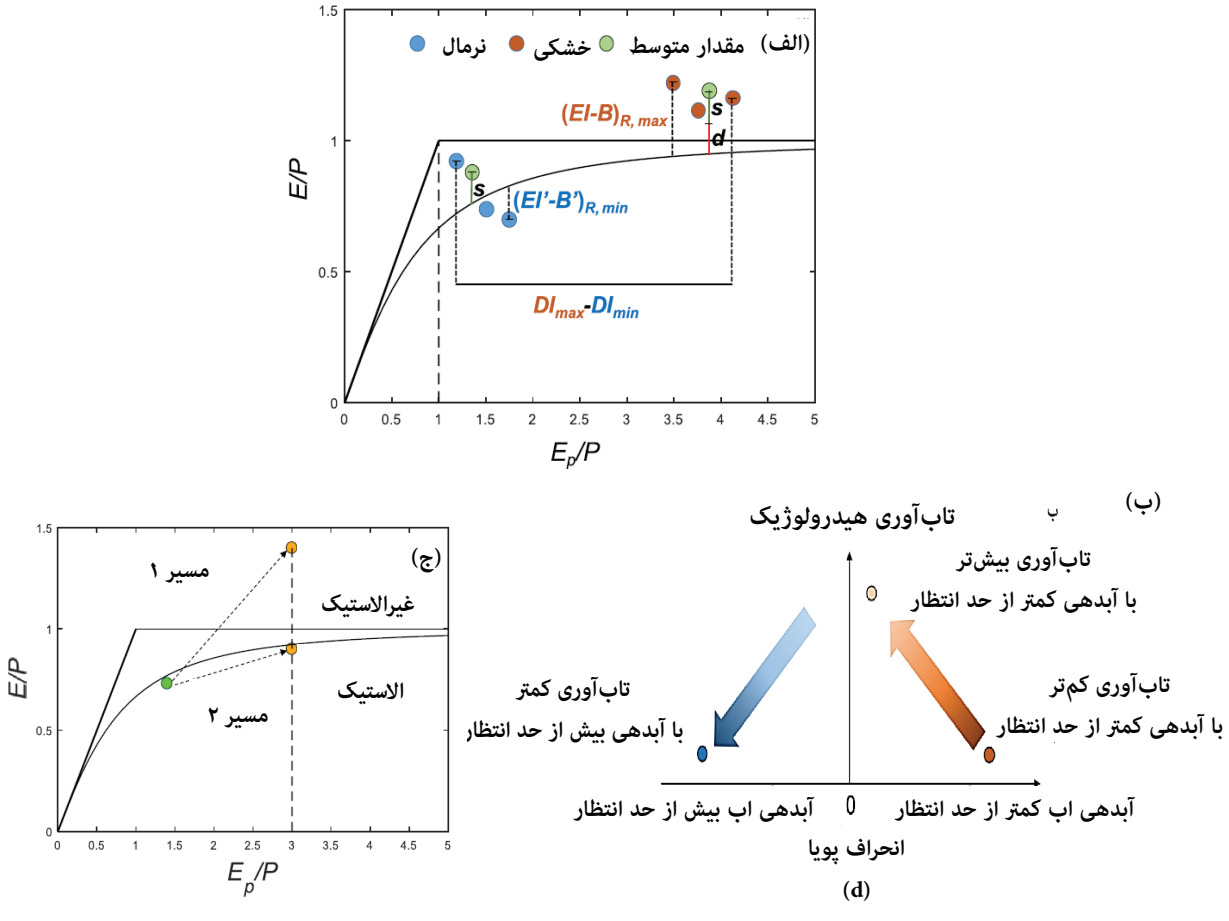
ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک

نتایج حاصل از مفهوم‌سازی و محاسبه تاب‌آوری هیدرولوژیک در بخش مدیریت پایدار منابع آب در مقیاس‌های مختلف محلی، ملی و بین‌المللی از جمله مدیریت رواناب در حوزه‌های آبخیز شهری کاربرد دارد. شاخص‌های تاب‌آوری هیدرولوژیکی حوزه، ابزاری برای ارزیابی ساختار و عملکرد آبخیز و ارائه یک ارزیابی عینی از چگونگی تأثیر سناریوهای مختلف بر سطح تاب‌آوری حوزه آبخیز در نظر گرفته شده‌اند (MacDonald و همکاران، ۲۰۱۹) که می‌توان آن‌ها را به دو دسته تقسیم‌بندی کرد. دسته اول شامل آن‌هایی است که به‌طور مستقیم به بوم‌سازگان‌های آبی از جمله رودخانه‌ها و تالاب‌ها مرتبط هستند. در این زمینه می‌توان به مقدار رواناب، دبی متوسط، دبی اوج، کیفیت منابع آبی، سطح آب رودخانه یا تالاب و سطح آب زیرزمینی اشاره نمود. دسته دوم شامل شاخص‌های ترکیبی هستند. برای نمونه می‌توان به ترکیب شاخص‌های دسته اول با شاخص‌های اقلیمی (مثل نسبت شاخص خشکی به رواناب، یا نسبت میانگین مقادیر بین وقایع بارندگی تولیدکننده رواناب و میانگین زمان پاسخ‌گویی حوزه آبخیز)، شاخص‌های مربوط به کاربری اراضی (مثل نسبت درصد تخریب جنگل به دبی رودخانه، یا نسبت وسعت مناطق شهری به رواناب شهری) یا شاخص‌های خاک‌شناسی (نسبت بارندگی به شوری خاک، درصد نفوذپذیری خاک) اشاره کرد. نمونه‌ای از کاربرد شاخص‌های مختلف در جدول (۲) ارائه شده است.

همانگونه که از این جدول بر می‌آید ارزیابی تاب‌آوری تاکنون محدود به استفاده از روش‌های تلفیق ساده مثل تعیین میانگین حسابی از برخی شاخص‌های هیدرولوژیک مهم، استفاده از منحنی Budyko و مدل Convex بوده است. تحلیل منحنی Budyko غالباً بر اساس مقدار بارش، تبخیر و تعرق و میزان تولید رواناب استوار بوده است. اما مدل Convex با در نظر گرفتن آستانه‌های شکست شاخص‌های هیدرولوژیک و برقراری ارتباط بین روند تغییرات طولانی‌مدت و آستانه شکست شاخص‌ها به‌کار برده می‌شود. همچنین شکل (۱) نمایی کلی از کاربرد منحنی Budyko (B) برای ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک را نشان می‌دهد. این منحنی، بارش (P) را به دو بخش تبخیر و تعرق (E) و آبدهی (WY) تقسیم می‌کند. خط انحنای B از طریق برقراری رابطه بین نسبت تبخیر و تعرق واقعی به بارش یا به‌عبارتی شاخص تبخیر (EI) و نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل (Ep) به بارش (Ep/P) به‌عنوان شاخص خشکی (DI)، سطح تاب‌آوری را توصیف می‌کند. یکی از فرض‌های این رابطه وجود شرایط پایداری است که در آن تغییرات ذخیره آبدهی حوزه آبخیز ناچیز است. همچنین، فرض بر این است که بوم‌سازگان دست‌نخورده در شرایط پایدار طولانی‌مدت، از یک تا چند سال در وضعیت مطلوبی قرار دارند. با این‌حال، از آنجایی‌که یک حوزه آبخیز

مختل‌شده ممکن است از شرایط پایدار منحرف شده باشد، چنین انحرافی باید از طریق انحراف ذاتی حوزه آبخیز یا انحراف ایستا (s) محاسبه شود (Xue و همکاران، ۲۰۲۱).

حوزه‌های آبخیز یا بوم‌سازگانی که از نظر هیدرولوژیک تاب‌آور هستند، عملکرد هیدرولوژیک خود را در برابر تغییر شرایط محیطی که توسط منحنی B پیش‌بینی شده است، حفظ کرده یا به‌سرعت بازیابی می‌کنند (Creed و همکاران، ۲۰۱۴). اکثر حوزه‌های آبخیز که در حالت تعادل هیدرولوژیک قرار دارند، طبق منحنی B رفتار می‌کنند (Budyko، ۱۹۷۴). دو شاخص Budyko برای تعیین میزان تاب‌آوری هیدرولوژیک حوزه آبخیز پیشنهاد شده است: انحراف پویا (d)، جابجایی عمودی از منحنی B و الاستیسیته (e)، جابجایی از منحنی B در امتداد هر دو محور شاخص خشکی (DI) و شاخص تبخیر (EI) (شکل ۱). حوزه آبخیز زمانی الاستیک در نظر گرفته می‌شود که e آن بیش‌تر از یک باشد (Creed و همکاران، ۲۰۱۴) و هرچه e بزرگ‌تر باشد، حوزه آبخیز قابلیت کشش بیشتر دارد. باتوجه‌به Creed و همکاران (۲۰۱۴) یک حوزه آبخیز تاب‌آور که دارای d کوچک (نزدیک به صفر) و e بزرگ باشد، به این معنی است که سامانه با تغییرات اقلیمی قابل تنظیم‌تر است.

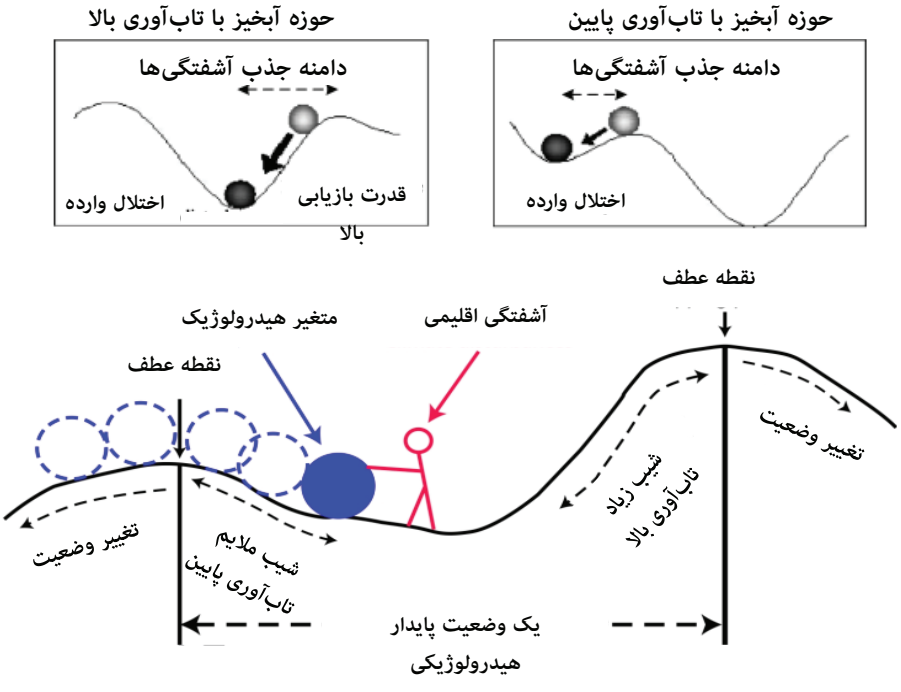


شکل ۱- (الف) چارچوب نظری Budyko که شاخص‌های انحراف ایستا (s)، انحراف پویا (d) و الاستیسیته (e) را نشان می‌دهد. تبخیر و تعرق (E) و آبدهی (WY- آب باران باقی‌مانده در سامانه پس از هدررفت از طریق تبخیر و تعرق) از طریق منحنی Budyko (B) براساس تبخیر و تعرق پتانسیل (Ep) و بارش (P) برآورد می‌شود. با فرض این‌که تغییرات ذخیره آب ناچیز است (یعنی شرایط پایدار حاکم است)، انحراف ایستا، انحراف ذاتی عرصه یا حوزه آبخیز از منحنی B تحت شرایط اقلیمی نرمال است. انحراف پویا به‌عنوان اختلاف بین میانگین نسبت E/P (شاخص تبخیر- EI) برای سال‌های خشک‌سالی و B پس از در نظر گرفتن [d = (EI - B) – s] s آن محاسبه می‌شود. الاستیسیته به‌عنوان نسبت دامنه Ep/P (شاخص خشکی-DI) به محدوده باقیمانده EI محاسبه می‌شود که شامل همه سال‌های نرمال و خشک‌سالی است [e = DImax – DImin)/(EI – B) R, max –(EI, - B,) R, min]. (ب) تفسیر مفهوم d از نظر تاب‌آوری هیدرولوژیک برای سه مورد فرضی مثبت (منفی) d نشان‌دهنده آبدهی کم‌تر (بیش‌تر) در حوزه آبخیز ناشی از خشک‌سالی است. (ج) تفسیر پاسخ‌های الاستیک و غیرالاستیک است. در هر دو مورد تغییر DI یکسان است؛ اما تغییر در EI در حوزه‌های آبخیز غیر الاستیک در مقایسه با حوزه‌های آبخیز الاستیک بیش‌تر است. طبق تعریف، بوم‌سازگان یا حوزه‌های آبخیز دارای e بزرگ‌تر از یک، از نظر هیدرولوژیک الاستیک محسوب می‌شوند (Xue و همکاران، ۲۰۲۱).

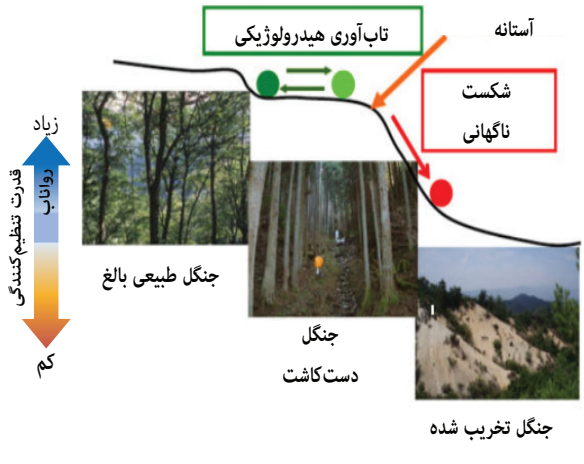
جدول ۲- مطالعات انجام‌شده در زمینه ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک

نویسنده	هدف	عوامل و شاخص‌های مورد استفاده	نتایج
Creed و همکاران (۲۰۱۴)	ارزیابی تاب‌آوری ۱۲ حوزه آبخیز در سراسر آمریکای شمالی در برابر تغییر اقلیم	چارچوب Budyko و سه پارامتر انحراف ایستا[۳]، انحراف پویا[۴] و الاستیسیته[۵]	گرمایش اقلیمی باعث تغییر در رواناب بوم‌سازگان جنگلی می‌شود و نتیجه گرفتند که نوع جنگل عمده‌ترین عامل مؤثر در الاستیسیته یک حوزه آبخیز است.
Helman و همکاران (۲۰۱۷)	مطالعه تغییرات آب تولیدی آبخیزهای جنگلی پس از خشک‌سالی اقلیمی (۲۰۱۰-۲۰۰۶) در جنگل‌های کاج مدیترانه شرقی	چارچوب Budyko و دو پارامتر انحراف پویا و الاستیسیته	جنگل‌هایی که در شرایط خشک دائمی رشد می‌کنند، ممکن است طیف وسیعی از سازگاری‌های هیدرولوژیک و اکوفیزیولوژیکی را در برابر خشک‌سالی ایجاد کنند که منجر به تاب‌آوری بالای هیدرولوژیک می‌شود.
Pelorosso و همکاران (۲۰۱۸)	ارزیابی تاب‌آوری و مدیریت پایدار رواناب ناشی از بارندگی و ارائه یک چارچوب روش‌شناختی مبتنی بر مدل‌سازی	(۱) حجم سیل، (۲) اوج سیل، (۳) حجم رواناب زیرحوزه، (۴) اوج رواناب زیرحوزه و (۵) حجم کل رواناب سامانه‌های زهکشی	یک شاخص تاب‌آوری هیدرولوژیک به‌عنوان مجموع پنج عامل استاندارد استخراج شد. مقدار شاخص تاب‌آوری نشان‌دهنده تاب‌آوری ذاتی سامانه شهری متشکل از تعاملات زیرساخت‌های خاکستری و سبز است.
Sinha و همکاران (۲۰۱۸)	درک نقش تنش انسانی و تغییرپذیری اقلیمی در توزیع بارندگی و ارتباط آن‌ها با تاب‌آوری هیدرولوژیک در برابر تغییرات گرمایش در ۵۵ حوزه واقع در شبه جزیره هند	چارچوب Budyko و دو پارامتر انحراف پویا و الاستیسیته	۲۳ حوزه آبخیز در برابر تغییرات گرمایش اقلیمی، تاب‌آوری هیدرولوژیک خوبی (انحراف کم و الاستیسیته بالا) از خود نشان دادند. تعامل‌های گسترده انسانی تمایل دارد که عملکرد هیدرولوژیک حوزه آبخیز را تحت شرایط اقلیمی بحرانی تغییر دهد که منجر به کاهش تاب‌آوری هیدرولوژیک می‌شود.
MacDonald و همکاران (۲۰۱۹)	ارزیابی مزایای بالقوه اجرای راهبردهای مختلف حفاظت و احیا در حوزه آبخیز رودخانه ورمیلیون	تغییر در جریان اوج[۶]، شاخص جریان کم‌آبی[۷]، شاخص Flashiness، فراوانی و زمان‌بندی شرایط جریان کم‌آبی[۸]، فراوانی و زمان‌بندی رویدادهای جریان اوج[۹] و تغییر در تولید سالانه آب[۱۰]	شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری حوزه آبخیز اشاره‌شده به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی عملکرد و ارائه یک ارزیابی عینی از چگونگی تأثیر سناریوهای مختلف بر تاب‌آوری حوزه آبخیز مورد نظر در نظر گرفته شده‌اند.
Zhang و همکاران (۲۰۱۹)	تعیین میزان تاب‌آوری هیدرولوژیک تالاب‌ها در برابر تغییر اقلیم	سطح آب زیرزمینی، شدت رواناب سطحی و سطح آب شور	تغییرات این شاخص‌ها، منعکس‌کننده تغییرات عملکردهای هیدرولوژیک تالاب به‌ویژه قابلیت ذخیره‌سازی و آزادسازی آب است. هیدرولوژی تالاب عمدتاً از طریق تغییر سطح آب زیرزمینی، شدت رواناب سطحی و سطح آب شور بر عملکردهای بیوشیمیایی و ریخت‌شناسی تالاب تأثیر می‌گذارد
Xue و همکاران (۲۰۲۰)	ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک سطح حوضه آبخیز در برابر خشک‌سالی	چارچوب Budyko و دو پارامتر انحراف پویا و الاستیسیته	تاب‌آوری هیدرولوژیک در مناطق خشک‌تر، مقدار بیشتر را نسبت به مناطق مرطوب دارد که عمدتاً مربوط به توزیع بارندگی در طول سال می‌باشد که توسط ضریب تغییرات بارندگی اندازه‌گیری می‌شود.
Liu و همکاران (۲۰۲۰)	ارزیابی تغییرات تعادل آب (۲۰۱۱-۱۹۸۱) در بالادست حوزه آبخیز هایلار در فلات مغولستان	چارچوب Budyko و دو پارامتر انحراف پویا و الاستیسیته	اصلاح تعادل هیدرولوژیک در طول دوره مطالعه موجب یک روند کاهشی در میزان رواناب و نسبت رواناب به بارش شد.
Xue و همکاران (۲۰۲۱)	ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک ۱۶ حوضه براساس چارچوب Budyko در برابر تغییر اقلیم	چارچوب Budyko و دو شاخص مقاومت[۱۱] و پلاستیسیته[۱۲]	یک حوضه زمانی از نظر هیدرولوژیک تاب‌آور در نظر گرفته می‌شود که دو شاخص مقاومت و پلاستیسیته هر دو بزرگ‌تر از یک باشند یا پلاستیسیته منفی و مقاومت بزرگ‌تر از یک باشد.

یکی دیگر از روش‌های ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک استفاده از مدل Convex یا مدل فنجان و توپ[۱۳] است. همان‌طور که در شکل‌های (۲ و ۳) نشان داده شده است، قرارگیری وضعیت کنونی حوزه آبخیز با در نظر گرفتن آستانه مطلوب یک شاخص هیدرولوژیک نشان‌دهنده میزان تاب‌آوری آن حوزه است. استفاده از مجموعه‌های Convex برای توصیف عدم قطعیت شاخص‌های هیدرولوژیک در مواقعی که اطلاعات نمونه ناکافی باشد، مورد تأیید قرار گرفته است. در مدل Convex، شاخص‌های هیدرولوژیکی می‌تواند در هر بازه زمانی بیان شوند و مبتنی بر تابع اتوکوواریانس و تابع ضریب همبستگی است تا همبستگی بین شاخص‌ها در زمان‌های مختلف نشان داده شود. برای فرایندهای یک‌بعدی و دوبعدی مدل Convex چندین معیار ارزیابی مهم از جمله تابع مقدار میانگین، تابع واریانس، تابع اتوکوواریانس و تابع کواریانس متقابل تعریف می‌شود (Jiang و همکاران، ۲۰۱۴). برای مثال در شکل (۳) حوزه آبخیزی تاب‌آور است که بتواند فقط درصدی از بارندگی را به رواناب تبدیل کند و بخش اعظم آن را به‌صورت آب زیرزمینی ذخیره نماید. شکست در آستانه‌های هیدرولوژیک منجر به تبدیل حوزه‌های آبخیز با تاب‌آوری بالا به حوزه‌های آبخیز با تاب‌آوری پایین می‌شود.



شکل ۲- نمایی از آستانه‌ها و تحلیل تاب‌آوری هیدرولوژیک بر اساس مدل Convex (Zhang و همکاران، ۲۰۱۹)



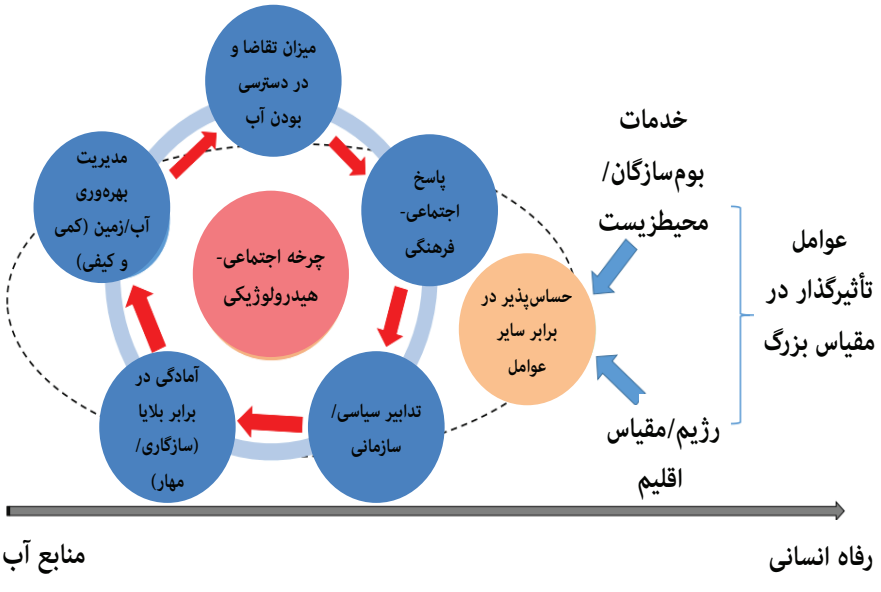
شکل ۳- مدل مفهومی Convex در ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک یک حوزه آبخیز جنگلی (Green و همکاران، ۲۰۱۴)

نقش جوامع و نهادها در برقراری تاب‌آوری هیدرولوژیک

اعتقاد بر این است که بشریت وارد دوره جدیدی از زمین‌شناسی به نام آنتروپوسن شده است که در آن انسان بزرگ‌ترین تأثیر را بر تغییرات محیطی در مقیاس سیاره زمین دارد. این تأثیر شامل فشار انسان بر چرخه هیدرولوژیک نیز می‌شود که در تمام مقیاس‌ها از حوزه آبخیز کوچک (مقیاس محلی) تا حوزه‌های آبخیز و سامانه‌های اقلیمی منطقه‌ای به وقوع می‌افتد. شواهد متعددی در خصوص شدت یافتن تخریب‌های ناشی از انسان در ابعاد مختلف سامانه‌های هیدرولوژیک (کمیت و کیفیت) در قرن گذشته به‌ویژه از زمان شتاب گرفتن جوامع مدرن صنعتی در اواسط دهه ۱۹۵۰ وجود دارد. طبق تحقیقات جهانی، در حال حاضر به‌طور ماهانه چهار میلیون نفر با کمبود آب مواجه

می‌شوند و چشم‌اندازهای آینده آب مطلوب نیست. به‌همین دلیل، پرداختن به ابعاد اجتماعی و اثرات انسانی در کنار ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک ضروری تلقی شده و به تازگی به توسعه تاب‌آوری هیدرواجتماعی[۱۴] توسط دانشمندان رسیده است (Kumar و همکاران، ۲۰۲۰؛ Mao و همکاران، ۲۰۱۷).

سیاست‌های جهانی بر اتخاذ تاب‌آوری هیدرولوژیک در سامانه حکمرانی تأکید دارند. به‌دلیل عدم وجود تاب‌آوری در برابر تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر چرخه هیدرولوژیک همراه با افزایش شهرنشینی و نیز اختلافات حکومتی، برخی مناطق از جمله ایالات متحده (US) با مشکلات قابل توجهی در سامانه‌های مدیریت منابع آب مواجه شده‌اند. لذا سیاست جهانی نشان می‌دهد که در تمام کشورها و به‌ویژه مناطق دارای مشکلات جدی، انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری در سامانه‌های مدیریت آب گنجانده شود. این گونه مدیریت مبتنی بر تاب‌آوری نیازمند در نظر گرفتن ابعاد اجتماعی بوده و شیوه‌های نوآورانه و دگرگون‌کننده است (Javadinejad و همکاران، ۲۰۲۰؛ Kumar و همکاران، ۲۰۲۰). در شکل (۴) دیاگرامی از نحوه اتخاذ رویکرد هیدرواجتماعی در پر کردن شکاف بین سلامت منابع آب و رفاه انسانی است.



شکل ۴- نمایی از مفهوم ارزیابی تاب‌آوری هیدرو-اجتماعی (Kumar و همکاران، ۲۰۲۰)

راهبردهای سازگاری با تغییرات قابل پیش‌بینی و غیرمنتظره با در نظر گرفتن بعد اجتماعی، انسجام سازمانی و حکمرانی خوب قابل استفاده برای بهبود وضعیت تاب‌آوری هیدرولوژیک است. در این راستا، می‌توان با شناخت عواملی که امکان تقویت تاب‌آوری از طریق اقدامات مختلف مدیریتی را فراهم می‌کنند، در برابر سیلاب، خشک‌سالی و تغییر اقلیم می‌توان به‌طور مؤثری مقاومت کرد. برای مثال می‌توان در محیط‌های شهری، از زیرساخت‌های سبز با تلفیق فرآیندهای طبیعی به‌هم پیوسته، تاب‌آورتر و سازگارتر استفاده نمود. علاوه‌بر ایجاد مناظر طبیعی برای ذخیره، نفوذ و تبخیر رواناب و تقویت خدمات بوم‌سازگان، می‌توان آلاینده‌های ورودی به پیکره‌های آبی را نیز کاهش داد. نمونه‌هایی از این اقدامات در محیط‌های شهری می‌توان باغچه‌های جذب باران، چاله‌ها، تالاب‌های مصنوعی و سنگفرش‌های قابل نفوذ را نام برد. زیرساخت‌ها و راهبردهای مقابله با نوسانات و تغییرات اقلیمی به‌طور فزاینده‌ای برای افزایش تاب‌آوری در محیط‌های طبیعی و شهری، بهبود ظرفیت‌های مقابله و سازگاری استفاده می‌شوند (Pelorosso و همکاران، ۲۰۱۸؛ MacDonald و همکاران، ۲۰۱۹).

نتیجه‌گیری

اکثر مناطق جهان شاهد گرمایش اقلیمی و تخریب ناشی از فعالیت‌های انسانی هستند و انتظار می‌رود که در آینده این روند تشدید یابد. علاوه‌بر این تعامل‌های انسان و تغییرات اقلیمی بر تعادل آب حوزه آبخیز تأثیر می‌گذارد. باتوجه‌به تغییر اقلیم و اثرات آن بر سامانه‌های هیدرولوژی در محیط‌های طبیعی و انسان‌ساخت، رویکردهای مبتنی بر سازگاری با تغییر شرایط باید در تصمیمات مدیریتی به‌طور جدی دنبال شوند. در این راستا، پایش داده‌های ثبت

شده مرتبط با شاخص‌های هیدرولوژی، تعیین شاخص‌های تاب‌آوری هیدرولوژی و زمان‌بندی وقایع هیدرواقلیمی در پیش‌بینی واکنش آبخیزها نقش مهمی دارند. در این زمینه، پژوهش در زمینه چگونگی محاسبه میزان تاب‌آوری مؤلفه‌های هیدرواقلیمی، شاخص‌های تاب‌آوری و کاربرد آن‌ها در تبیین اقدامات مدیریتی از جمله مواردی است که کمتر مورد توجه قرار گرفته و نیازمند پژوهش‌های بیشتر است.

اولین گام مهم در مدیریت جامع حوزه آبخیز، شناسایی منابع تنش در حوزه آبخیز و عوامل مؤثر بر تاب‌آوری است که مباحث اصلی و محرک‌های سامانه را مشخص و سطح تاب‌آوری گذشته و فعلی را ارزیابی می‌کند. در این زمینه شاخص‌های چندکارکردی ارائه شدند که می‌توانند به‌طور مؤثر تاب‌آوری هیدرولوژیک بوم‌سازگان‌های مختلف را در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف منعکس کنند. مرور مطالعات نشان می‌دهد که مفهوم‌سازی و محاسبه تاب‌آوری هیدرولوژیک در مدیریت پایدار منابع آب به‌ویژه در آبخیزهای شهری، برنامه‌ریزی منطقه‌ای سازگار با اقلیم، مدل‌سازی، تبیین سناریوهای مدیریتی با تأکید بر مهندسی سبز ارتقاء سطح خدمات بوم‌سازگان، حفظ و ارتقاء پایداری سامانه‌های اجتماعی-بوم‌شناختی، طراحی و توسعه مناسب زیرساخت‌های زهکشی و تحلیل عملکرد ساختاری و عملکردی حوزه‌های آبخیز کاربرد دارد.

مدیران منابع و دانشمندان می‌توانند با ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک، راهبردهایی برای سازگاری با تغییرات مشخص و غیرمنتظره ارائه دهند. تقویت تاب‌آوری جوامع در برابر سیلاب، خشک‌سالی و تغییر اقلیم نیازمند شناخت عواملی است که امکان تقویت آن از طریق اقدامات مختلف مدیریتی را فراهم کنند. زیرساخت‌ها و راهبردهای مقابله با نوسانات و تغییرات اقلیمی به‌طور فزاینده‌ای برای افزایش تاب‌آوری در محیط‌های طبیعی و شهری، بهبود ظرفیت‌های مقابله و سازگاری استفاده می‌شوند. در محیط‌های شهری، زیرساخت‌های سبز با تلفیق فرآیندهای طبیعی به‌هم پیوسته، تاب‌آورتر و سازگارتر هستند. در این راستا، علاوه‌بر ایجاد مناظر طبیعی برای ذخیره، نفوذ و تبخیر رواناب و تقویت خدمات بوم‌سازگان، می‌توان آلاینده‌های ورودی به پیکره‌های آبی را نیز کاهش داد. نمونه‌هایی از این اقدامات در محیط‌های شهری شامل باغ‌های جذب باران، چاله‌ها، تالاب‌های مصنوعی و سنگ‌فرش‌های قابل نفوذ است. استفاده از نتایج حاصل از رویکردهای مبتنی بر منحنی Budyko و مدل Convex می‌تواند در دستیابی سریع و در عین حال منطقی از وضعیت تاب‌آوری هیدرولوژیک و در نتیجه برنامه‌ریزی منطقه‌ای نقش داشته باشند.

قابل ذکر است که در حال حاضر، هیچ‌گونه مطالعه‌ای بر تاب‌آوری هیدرولوژیک در ایران انجام نشده است اما باتوجه‌به وجود اطلاعات پایه در سایر مطالعات می‌توان این رویکرد را برای حوزه‌های آبخیز کشور پیاده‌سازی کرد. بر همین اساس، تحقیق حاضر تأکید بر ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز در کنار سایر رویکردهای ارزیابی تاب‌آوری به‌منظور تکمیل دیدگاه‌های یکپارچه مدیریتی و برنامه‌ریزی منابع حیاتی کشور دارد. برای ارزیابی تاب‌آوری هیدرولوژیک در شرایط ایران، می‌توان از مجموعه شاخص‌هایی استفاده کرد که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر ایجاد آشفتگی در حوزه‌های آبخیز تأثیرگذار هستند. بومی‌سازی الگوی تفکری تاب‌آوری در ایران نیازمند در نظر گرفتن شرایط زیست‌فیزیکی، اجتماعی-اقتصادی و سیاسی حاکم بر حوزه‌های آبخیز مختلف خواهد بود. هنچنینانتظار می‌رود در ایران و برخی دیگر از کشورهای آسیایی، شکاف زیادی بین اهداف سیاسی و دیدگاه‌های علمی ارائه شده توسط دانشمندان و پژوهش‌گران در توسعه حوزه‌های آبخیز تاب‌آور به‌وجود آید. دلیل این امر را می‌توان به نبود دانش کافی در زمینه سازگاری هیدرولوژیک، فن‌آوری‌های هیدرولوژیک و درک حکمرانی آبخیر و به‌طور کلی تغییرات ساختاری در حوزه آبخیز و نیز درک اهمیت آن‌ها توسط سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان نسبت داد.

پی‌نوشت

1-Adaptive capacity
2-Resilience
3-Static deviation
4-Dynamic deviation
5-Modified Elasticity
6-Change in peak stream flow
7-Low flow index
8-Frequency and timing of low flow conditions
9-Frequency of peak flow events
10-Change in annual water yield
11-Tolerance
12-Plasticity
13-Ball and cup
14-Socio-hydrological resilience

منابع

Adger W.N. 2000. Social and ecological resilience: are they related? Progress in Human Geography, 24: 347-364.

Black P.E. 1997. Watershed functions. Journal of the American Water Resources Association, 33(10):1-11.

Budyko M. I. 1974. Climate and life. ed. Miller, D.H. Academic Press: New York, NY, USA.

Creed I.F., Spargo A.T., Jones J.A., Buttle J.M., Adams M.B., Beall F.D., Booth E., Campbell J., Clow D., Elder K., Green M.B., Grimm N.B., Miniat C., Ramlal P., Saha A., Sebestyen S., Spittlehouse D., Sterling S., Williams M.W., Winkler R. and Yao H. 2014. Changing forest water yields in response to climate warming: results from long-term experimental watershed sites across North America. Global Change Biology, 20: 3191–3208.

De Carvalho J.W.L.T., Iensen I.R.R. and dos Santos I. 2021. Resilience of hydrologic similarity areas to extreme climate change scenarios in an urban watershed. Urban Water Journal, 1–12.

Ebel B.A. and Mirus B.B. 2014. Disturbance hydrology: Challenges and opportunities. Hydrological Processes, 28(19): 5140-5148.

Folke C., Carpenter S., Elmqvist T., Gunderson L., Holling C.S., Walker B., Bengtsson J., Berkes F., Colding J., Danell K., Falkenmark M., Gordon L., Kasperson R., Kautsky N., Kinzig A., Levin S., Maler K.G., Moberg F., Ohlsson L., Olsson P., Ostrom E., Reid W., Rockstrom J., Savenije H. and Svedin U. 2002. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. Journal of the Human Environment, 31(5): 437-440.

Gerten D., Lucht W., Schaphoff S., Cramer W., Hickler T. and Wagner W. 2005. Hydrologic resilience of the terrestrial biosphere. Geophysical Research Letters, 32: L21408.

Green M. 2014. The Hydrological resilience of temperate forests. Resources-Resilience-Renewal-Restoration. 94th Annual Winter Meeting, New England, Society of American Foresters.

Helman D., Lensky I.M., Yakir D. and Osem Y. 2017. Forests growing under dry conditions have higher hydrological resilience to drought than do more humid forests. Global Change Biology, 23: 2801–2817.

Holling C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 4: 1-23.

Holling C.S., Schindler D.W., Walker B.W. and Roughgarden J. 1995. Biodiversity in the functioning of ecosystems: an ecological synthesis. Biodiversity Loss: Economic and Ecological Issues. First Edition. Cambridge University Press, Cambridge, England.

Holling C.S. 2001, Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. Ecosystems, 4: 390-405.

IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report, in Contribution of Working Groups, I., II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, eds R.K. Pachauri, and L.A. Meyer (Geneva).

IPCC. 2018. Global Warming of 1.5°C, an IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 C Above pre-Industrial levels (SR1.5). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

IPCC. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge, England.

Javadinejad S., Hannah D., Krause S., Naseri M., Dara R. and Jafary F. 2020. Building socio-hydrological

Ostrom E. 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. Science, 325(5939): 419-422.

Pan S., Tian H., Dangal S.R.S., Yang Q., Yang J., Lu C., Tao B., Ren W. and Ouyang Z. 2015. Responses of global terrestrial evapotranspiration to climate change and increasing atmospheric CO2 in the 21st century, Earth's Future, 3: 15–35.

Pelorosso R., Gobattoni F. and Leone, A. 2018. Increasing hydrological resilience employing nature-based solutions: a modelling approach to support spatial planning. Chapter, In: Papa R., Fistola R., Gargiulo C. (eds) Smart Planning: Sustainability and Mobility in the Age of Change, Green Energy and Technology. Springer, Cham.

Pimm S.L. 1991. Balance of nature? The University of Chicago Press. Chicago. First Edition. Illinois, USA.

Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegaard K.L., Richter B.D., Sparks R.E., and Stromberg J. 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. BioScience, 47: 769–784.

Randhir T.O. 2014. Resilience of watershed systems to climate change. Journal of Earth Science and Climatic Change, 5: 6.

Sinha J., Sharma A., Khan M. and Goyal M.K. 2018. Assessment of the impacts of climatic variability and anthropogenic stress on hydrologic resilience to warming shifts in Peninsular India. Scientific Reports, 8(1): 13833.

Van Rooyen J.D. 2021. Investigating regional recharge dynamics through the use of tritium and radiocarbon isotopes to assess the hydrological resilience of groundwater in southern Africa. Stellenbosch University, PhD thesis.

Wagener T., Sivapalan M., Troch P. and Woods R. 2007. Catchment classification and hydrologic similarity. Geography Compass, 1(4): 901-931.

Xue B., Wang G., Xiao J., Helman D., Sun W., Wang J. and Liu T. 2020. Global convergence but regional disparity in the hydrological resilience of ecosys-

resilience "improving capacity for building a socio hydrological system resilience." Safety in Extreme Environments, 2: 205–218.

Jiang C., Ni B., Han X. and Tao Y. 2014. Non-probabilistic convex model process: a new method of time-variant uncertainty analysis and its application to structural dynamic reliability problems. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 268: 656–676.

Krievins K., Baird J., Plummer R., Brandes O., Curry A., Imhof J., Mitchell S., Moore M.L., Gerger Swartling A. 2015. Resilience in a Watershed Governance Context: A Primer. Environmental Sustainability Research Centre. Project report.

Kumar P., Avtar R., Dasgupta R., Johnson B.A., Mukherjee A., Ahsan M.N., Nguyen D.C.H., Nguyen H.Q., Shaw R. and Mishra, B.K., 2020. Socio-hydrology: A key approach for adaptation to water scarcity and achieving human well-being in large riverine islands. Progress in Disaster Science, 8:100134.

Liu J., Xue B.A.Y., Sun W. and Guo Q., 2020. Water balance changes in response to climate change in the upper Hailar River Basin, China. Hydrology Research, 51(5): 1023–1035.

MacDonald R., Marcotte D., Chernos M., Carlson M. and Adrain C. 2019. Strategic priorities for conservation and restoration to improve watershed resiliency in the Vermilion River Watershed. Prepared for the North Saskatchewan Watershed Alliance, Project report.

Mao F., Clark J., Karpouzoglou T., Dewulf A., Buytaert W. and Hannah, D. 2017. HESS Opinions: A conceptual framework for assessing socio-hydrological resilience under change. Hydrology and Earth System Sciences, 21: 3655–3670.

Muñoz-Villers L.E., Holwerda F., Gomez-Cardenas M., Equihua M., Asbjornsen H., Bruijnzeel L.A., Marin-Castro B.E., and Tobon C. 2012. Water balances of old growth and regenerating Montane cloud forests in central Veracruz, Mexico, Journal of Hydrology, 462–463: 53–66.

wetland resilience to climate variability: A hydrologic perspective. Journal of Hydrology, 568: 275-284.

Zhou Y., Zhang L., Fensholt R., Wang K., Vitkovskaya I. and Tian F. 2015. Climate contributions to vegetation variations in Central Asian Drylands: pre- and post-USSR Collapse. Remote Sensing, 7: 2449–2470.

Zhu S., Li D., Huang G., Chhipi-Shrestha G., Nahiduzzaman K.M., Hewage K. and Sadiq R. 2021. Enhancing urban flood resilience: A holistic framework incorporating historic worst flood to Yangtze River Delta, China. International Journal of Disaster Risk Reduction, 61: 102355.

tems and watersheds to drought. Journal of Hydrology, 591: 125589.

Xue B., Helman D., Wang G., Xu C.Y., Xiao J., Liu T. and Lei H. 2021. The low hydrologic resilience of Asian Water Tower basins to adverse climatic changes. Advances in Water Resources, 155: 103996.

Zhang Y., Peña-Arancibia J.L., McVicar T.R., Chiew F.H., Vaze J., Liu C., Lu X., Zheng H., Wang Y., Liu Y.Y., Miralles D.G. and Pan, M. 2016. Multidecadal trends in global terrestrial evapotranspiration and its components. Scientific Reports, 6: 19124.

Zhang Y., Li W., Sun G. and King J.S. 2019. Coastal

2022, Vol.8, No.4, Pages 111 to 118
Journal of Water and Sustainable Development

سال هشتم، شماره ٤، ١٤٠٠، صفحات ١١١ تا ١١٨
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Flood Management in the Eighth District of Herat City using Low Impact Development and Their Evaluation with EPA-SWMM Model

S. Samim[1], F. Hajian[2*], D. Moazami[3]

1,3- MSc Student and Assistant Professor, Department of civil engineering, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran. 2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Neishabour, Iran.

*(Corresponding Author Email: f.hajian@yahoo.com)

Received: 01-05-2021 Revised: 04-08-2021
Accepted: 06-09-2021 Available Online: 19-03-2022

مدیریت سیلاب ناحیه هشتم شهر هرات افغانستان با استفاده از روش‌های توسعه کم اثر و ارزیابی آنها با مدل EPA-SWMM

صمیم صمیم[۱]، فرهاد حاجیان[۲*]، دانیال معظمی[۳]

۱ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. ۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران.

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

تاریخ دریافت: ١٤٠٠/٠٦/٠٤ تاریخ بازنگری: ١٤٠٠/٠٩/٢٠
تاریخ پذیرش: ١٤٠٠/١٠/٠١ تاریخ انتشار: ١٤٠٠/١٢/٢٨

Abstract

One of the main problems in urban development is the increase of impenetrable levels, which leads to an increase in runoff and the occurrence of urban floods. In this study, the current situation of floods in the eighth district of Herat city was investigated using the EPA-SWMM mathematical model in terms of flooding. Then, six different modes were modeled separately and simultaneously in the form of two methods: low-impact development of rainwater storage barrels (in two different sizes) and biological biomass units. The results of this study showed that by using low-impact development methods, the negative effects of floods with a return period of 10 years can be reduced by at least 40%. After that, simulation has been done using the flood mitigation reservoir method. The results showed that the construction of delayed reservoirs causes a delay in the peak discharge time and reduces the peak flood discharge. Also, the use of flood mitigation reservoir and unit biomass method and rain barrel method with larger diameter reduces flooding by 80% and the use of unit biomass method and the smaller diameter barrel method reduces the volume of urban floods by 75%.

Keywords: Urban Development, Runoff, District 8, Herat City, SWMM.

چکیده

از اساسی‌ترین مشکلات در توسعه شهری، افزایش سطوح غیرقابل نفوذ می‌باشد که منجر به افزایش رواناب و وقوع سیلاب‌های شهری می‌شود. در این پژوهش، وضع موجود سیلاب‌های ناحیه هشتم شهر هرات با استفاده از مدل ریاضی EPA-SWMM، به لحاظ آبگرفتگی بررسی شد. سپس شش حالت مختلف به شکل اجرای دو روش توسعه کم اثر بشکه ذخیره آب باران (در دو اندازه مختلف) و واحد زیست‌ماند بیولوژیکی، به‌طور جداگانه و هم‌زمان مدل‌سازی شد. نتایج این پژوهش نشان داد با به‌کارگیری روش‌های توسعه کم‌اثر می‌توان اثرات منفی سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ سال را حداقل ۴۰ درصد کاهش داد. پس از آن با بهره‌گیری از روش مخزن تعدیل سیلاب، شبیه‌سازی صورت گرفته است. نتایج نشان داد، احداث مخازن تأخیری، موجب تأخیر در زمان وقوع دبی اوج و کاهش دبی اوج سیلاب می‌شود. همچنین به‌کارگیری مخزن تعدیل سیلاب و روش واحد زیست‌ماند و روش بشکه باران با قطر بزرگتر موجب کاهش ۸۰ درصدی محل‌های آبگرفتگی و به‌کارگیری روش واحد زیست‌ماند و روش بشکه باران با قطر کوچکتر، موجب کاهش ۷۵ درصدی کاهش حجم سیلاب شهری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: توسعه شهری، رواناب، ناحیه هشتم، شهر هرات، SWMM.

HomePage: https://jwsd.um.ac.ir

How to cite this article: Samim S., Hajian F. and Moazami D. 2022. Flood Management in the Eighth District of Herat City using Low Impact Development and Their Evaluation with EPA-SWMM Model. Journal of Water and Sustainable Development, 8(4): 111-118. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2108.1076

مقدمه

سالانه وقوع سیلاب، در کشورهای مختلف دنیا، جان و مال بسیاری از مردم را به خطر می‌اندازد. از دلایل سیل گرفتگی، تغییر کاربری اراضی، توسعه شهرنشینی، ساخت و سازهای غیر اصولی، وجود سیستم فاضلاب قدیمی و وسعت یافتن اراضی غیر قابل نفوذ در مناطق شهری می‌باشند. به‌طوری که اکثر مساحت مناطق شهری توسط اراضی غیرقابل نفوذ پوشیده شده و باران با شدت بالا موجب جمع شدن رواناب و بروز سیل یا آبگرفتگی در این مناطق می‌شود (Fernandes، ۲۰۱۰). این موضوع در بسیاری از مناطق شهری افغانستان موجب بروز سیلاب‌های خسارت‌بار شده است.

سازمان ملل تخمین زده که جمعیت جهان از ۲٫۹ میلیارد ساکن شهری در دهه ۱۹۹۰ به ۵ میلیارد نفر در سال ۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت. یک عارضه جانبی و ناخواسته تراکم جمعیت، افزایش تعداد افراد در معرض سیل می‌باشد. به‌خصوص، با رشد بی‌سابقه جمعیت در کشورهای آسیایی، تغییرات ناشی از تغییر اقلیم چالش‌های عمده‌ای را برای شهرها به‌وجود آورده است (Zevenbergen و همکاران ۲۰۱۰). رشد چشمگیر جمعیت و تغییر اقلیم هر دو تأثیرات منفی و تشدید کننده‌ای بر مخاطره‌آمیز بودن سیلاب دارند (Mashael Mohammed، ۲۰۱۵؛ Shammaa و همکاران، ۲۰۰۲).

رشد سریع شهرسازی و شهرنشینی در افغانستان، مشکلاتی از جمله آب گرفتگی مسیرهای سطح شهری و خطرات ناشی از گسترش سیلاب (به واسطه عدم وجود سیستم زهکشی مناسب و بی‌نظمی‌های کانال‌ها و مسیل‌ها) از مشکلات بنیادی بسیاری از حوزه‌های شهری این کشور است. شهر هرات به‌عنوان یکی از مهمترین شهرهای این کشور، هر ساله به هنگام سیلاب خسارت‌های زیادی را متحمل می‌شود. در در این پژوهش ناحیه هشتم شهر هرات مطالعه خواهد شد. این ناحیه با مساحت ۵/۷ کیلومترمربع و با جمعیت حدود ۳۰ هزار نفر یکی از بزرگترین نواحی هرات می‌باشد. در این ناحیه توسعه شهری و تغییر رژیم هیدرولوژیکی موجب فزونی سیلاب شده است. از همین رو تلاش شده اثر روش‌های توسعه کم اثر شامل توسعه مخازن تعدیل سیلاب، و روش واحد زیست‌ماند بیولوژیکی و روش بشکه ذخیره آب باران در شرایط سیلابی با دوره‌های بازگشت متفاوت بررسی شود. برای رسیدن به هدف مذکور، جهت شبیه‌سازی و برآورد رواناب در منطقه مورد مطالعه از مدل ریاضی EPA-SWMM[1] جهت مدیریت رواناب‌ها و سیلاب‌های شهری استفاده شد.

پیشینه پژوهش

شبکه‌های سیلاب‌رو درون شهر عموما برای سیلاب با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰ سال و گاهی تا ۲۰ سال طراحی می‌شوند (Chen و همکاران، ۲۰۰۹). اورعی زارع و ثقفیان (۱۳۹۰)، در پژوهشی ضمن تشریح عوامل موثر در ایجاد سیلاب شهری با دوره بازگشت‌های مختلف به بیان راهکارهای عملی در خصوص مدیریت آن پرداختند. از جمله راهکارهایی که اثرات سیلاب را کاهش می‌دهد، به‌کار بردن روش‌های غیر سازه‌ای در جهت کنترل سیلاب می‌باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۷).

کاویانپور و بهزادی پور (۱۳۹۵) برای کاهش سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰ و ۱۰۰ ساله تأثیر روش‌های توسعه کم اثر (LID)[2] را بررسی نمودند. نتایج نشان داد اعمال LID میزان ماکزیمم دبی ورودی به رودخانه قمرود را کاهش می‌دهد و باعث کاهش خسارات می‌شود. همچنین کاویانپور و همکاران، (۱۳۸۹)، ضمن بررسی وضعیت گسترش شهر تهران در طی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۷، اثر روش‌های توسعه کم اثر در کاهش حجم و دبی اوج سیلاب را بررسی نمودند. سلطانی و همکاران (۱۳۹۳) اثر اقدامات کنترلی و مدیریتی همچون بام و خیابان‌های سبز، مخازن کنترلی در کاهش رواناب را تا ۹۰٪ پیش‌بینی نمودند. سعیدی و شامی (۱۳۹۴) نیز بر استفاده از روش‌های مدیریتی در کاهش سیلاب تاکید کردند.

در حال حاضر مناسب‌ترین مدل برای بررسی روش‌های توسعه کم اثر بر کاهش سیلاب مدل SWMM می‌باشد. به‌عنوان مثال، سبزی و نصری (۱۳۹۰)، تأثیر روش‌های توسعه کم اثر و دفع آب‌های سطحی با استفاده از مدل SWMM برای شهر زواره با ۵ زیرحوضه را بررسی نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند، کاهش پیامدهای زیان‌بار با طراحی ظرفیت کافی شبکه‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی قابل قبول بوده است. Smith و همکاران (۲۰۰۵)، از مدل SWMM در حوضه آبریز دره ریزور در آنتاریو کانادا، برای بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر سیلاب شهری استفاده کردند و آن را مدل مناسبی برای ارزیابی سیلاب شهری گزارش نمودند، آنها در این مطالعه، نتایج مدل‌سازی سیلاب شهری به کمک مدل SWMM را که توسط محققین پیشین از جمله Choi و همکاران (۲۰۰۲) انجام شده بود تأیید کردند.

مطالعات زیادی در خصوص کاربرد مدل SWMM در سیلاب شهری انجام شده است. پژوهش‌های همچون پژوهش Zeng و همکاران (۲۰۲۱) با کمک سامانه‌های برخط از قدرت نرم‌افزار مدل SWMM برای مدیریت سیلاب شهری استفاده نمودند. ایشان از توانایی مدل SWMM تحت وب در مدیریت بلادرنگ رواناب شهری استفاده نمودند. Zhiyu و همکاران (۲۰۲۱) با کمک شناسایی عدم قطعیت‌های محیط عملکرد مدل SWMM در شرایط مختلف را بررسی کردند. ایشان با استفاده از عدم قطعیت‌ها به‌صورت کاربردی به شناخت راه‌حل‌های کاهش رواناب توجه نمودند. Iglesias-Rey و همکاران (۲۰۱۷)، از ترکیب روش رگرسیون‌گیری و مدل SWMM برای شناسایی دقیق‌تر نقاط سیلاب گرفته استفاده نمودند. همچنین برخی از محققان

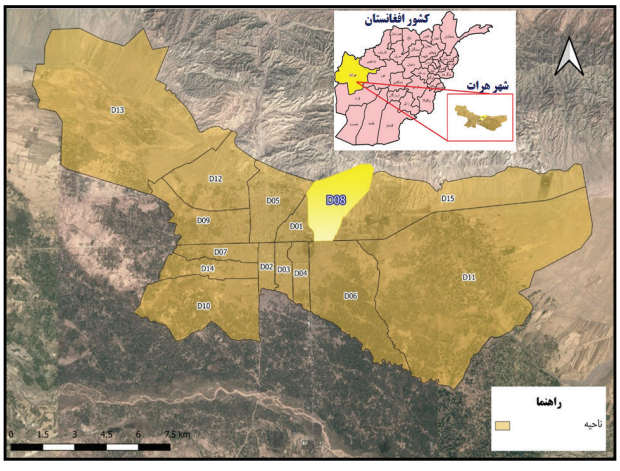
با ترکیب مدل SWMM با سایر مدل‌ها نتایج بهتری به‌دست آوردند. به‌عنوان‌مثال Phillips و همکاران (۲۰۰۵)، مدل‌سازی یک بعدی و دو بعدی سیستم زهکشی شهری با استفاده از مدل XP-SWMM و TUFLOW انجام دادند. نتایج نشان داد ترکیب و استفاده از مدل‌های ذکر شده جهت تهیه نقشه آبگرفتگی در مناطق شهری و طراحی سیستم زهکشی بسیار مفید است. Dongquan و همکاران (۲۰۰۹) برای شبیه‌سازی بارش و رواناب در حوضه شهری Macau از مدل SWMM و GIS استفاده کردند. نتایج نشان داد استفاده از GIS در به‌دست آوردن برخی از پارامترهای مهم مدل SWMM بسیار مفید است و وقتی پارامترهای کافی در دسترس باشد مدل SWMM انعطاف‌پذیری قابل ملاحظه‌ای دارد. Chen و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای مدل دو بعدی UIM[۳] را با مدل یک بعدی SWMM برای شبیه‌سازی جریان رو سطحی و زیرسطحی برای تهیه نقشه آب گرفتگی یکی کردند. باتوجه‌به اینکه در این مطالعه مقدار بارندگی و ظرفیت کانال برابر بود؛ علت آب گرفتگی می‌تواند در نتیجه تمرکز جریان در یک کانال در مدت زمان کوتاه باشد. همچنین نتایج نشان داد ترکیب یک مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نتایج بهتری نسبت به استفاده از یک نوع مدل دارد. در این پژوهش برخلاف پژوهش‌های گذشته انواع روش‌های توسعه کم اثر بر کاهش سیلاب ناحیه هشتم شهر هرات افغانستان بررسی و مقایسه شد.

روش انجام پژوهش

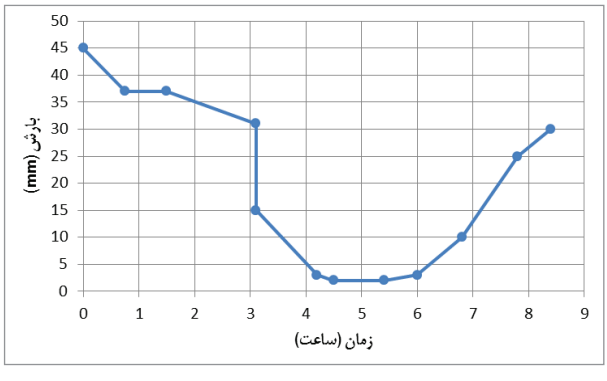
• منطقه مورد مطالعه

شهر هرات از سمت شمال به جمهوری ترکمنستان و ولایت بادغیس، در جنوب به ولایت فراه و بخشی از ولایت غور و از سمت شرق به ولایت بادغیس و غورات و از غرب با جمهوری اسلامی ایران همسایه است. هرات ۶۱۳۱۵ کیلومترمربع وسعت دارد. در این پژوهش ناحیه هشتم از شهر هرات بررسی خواهد شد. ناحیه هشتم شهر هرات بر اساس طرح‌های جامع مصوب سال‌های ۱۳۴۹ و ۱۳۷۰ مورد توجه قرار گرفته است. موقعیت این منطقه در ناحیه هشتم شهر هرات در شکل (۱) ارائه شده است. ناحیه مذکور ۵/۷ کیلومتر مربع مساحت دارد.

مطابق شکل (۱)، ناحیه هشتم شهر هرات در قسمت شمالی شهر قرار گرفته است. این منطقه از چند محله مهم تاریخی و با پتانسیل بالای رشد در طی سال‌های متمادی تشکیل شده است. میانگین بارش در هرات در زمستان ۴۳ در بهار ۳۸ در تابستان ۲ و در پاییز ۳۰ میلی‌متر است. همچنین تعداد روزهای یخبندان به‌طور متوسط ۱۲۰ روز در سال است. نمودر سری زمانی بارش ساعتی در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل ۱- موقعیت ناحیه هشتم شهر هرات افغانستان



شکل ۲- نمودار سری زمانی بارش ماه مارچ (۲۰۲۰)

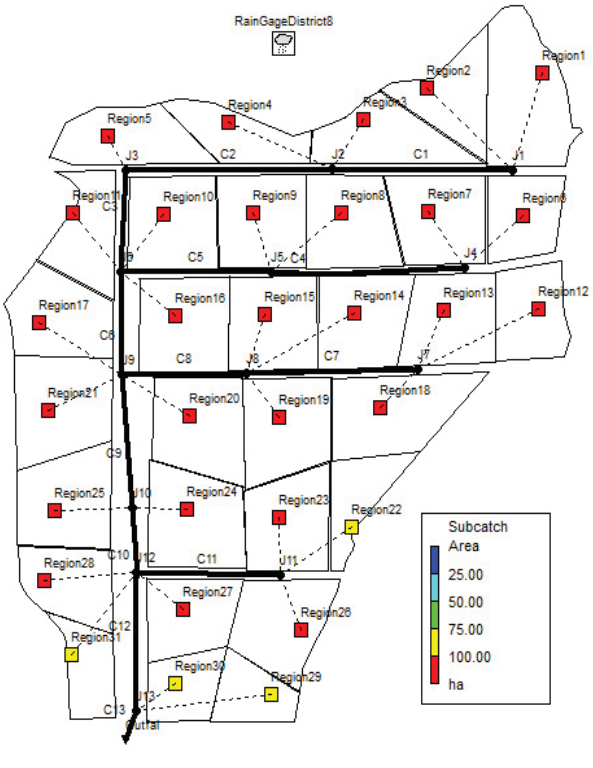
• مراحل مدل‌سازی با SWMM

برای شبیه‌سازی باران-رواناب محدوده مورد مطالعه روش SCS برای محاسبه نفوذ انتخاب شد. همچنین برای مدل‌سازی نفوذ در مدل SWMM از روش عدد منحنی SCS و در مورد مسیر یابی هیدرولیکی از روش موج دینامیکی (به‌منظور لحاظ نمودن کلیه عوامل معادله مومنتم) استفاده شد. همچنان انتخاب LID ها از خود مدل SWMM استخراج شده است. در مدل‌سازی با کمک مدل SWMM سه روش برای روندیابی وجود دارد: الف) جریان دائمی (پایدار)؛ ب) جریان سینماتیک؛ ج) جریان دینامیک. چنانچه در مدل‌سازی، تمام ترم‌های معادله مومنتوم در تحلیل جریان وارد شوند نوع موج جریان دینامیک است. چنانچه در تمام ترم‌های معادله مومنتوم از جز شیب کف و شیب خط انرژی صرف نظر شود نوع جریان سینماتیک خوانده می‌شود. برای شبیه‌سازی بارش-رواناب ناحیه هشتم شهر هرات روش روندیابی موج دینامیکی انتخاب شده است که در مقالات متعدد به کاربرد آنها اشاره شده است (محمدولی سامانی و شایان‌نژاد محمد، ۱۳۷۹). در مدل SWMM دو روش برای محاسبه افت وجود دارد: ۱) دارسی وایسباخ و ۲) هیزن ویلیامز که برای شبیه‌ظسازی

بارش-رواناب محدوده مورد مطالعه روش محاسبه افت هیزن ویلیامز برگزیده شده است. مراحل انجام شبیه‌سازی در این مدل به شرح ذیل است:

۱) جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های کمی شامل: اطلاعات مربوط به شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی، نقشه محدوده مورد مطالعه، آمار و اطلاعات رگبارها؛ ۲) تعریف شماتیک زیر حوضه‌های محدوده مورد مطالعه و رسم کلیه گره‌ها، اتصالات، خروجی در نرم‌افزار SWMM؛ ۳) تعریف مشخصات بارندگی و اطلاعات بارش برای مدل؛ ۴) تنظیمات اجرایی مدل و آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترها؛ ۵) کالیبراسیون مدل؛ ۶) تعریف سناریوها و شبیه‌سازی سناریوهای لازم جهت مدیریت بهتر آب‌های سطحی منطقه.

سیستم زهکشی ناحیه هشتم شهرداری هرات از توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند. در ابتدا نقشه شیب بر اساس فایل DEM استخراج و ترسیم شده است. میانگین شیب منطقه ۱/۴ درصد می‌باشد که نشان دهنده این است که منطقه شیب ملایمی دارد. سپس مرز حوضه و زیرحوضه‌ها بر اساس توپوگرافی منطقه و شبکه زهکشی، با استفاده از نرم افزار ArcGIS به‌صورت شکل (۳) ترسیم شده است. کانال جمع‌آوری آب‌های سطحی در محدوده مورد مطالعه به فرم مستطیلی روباز با عرض کف ۱ و عمق ۱/۵ متر می‌باشد. کلیه‌ی کانال‌های موجود بتنی بوده و مقدار ضریب زبری ۲/۲۴ در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- مرز زیر حوضه‌ها باتوجه‌به نقشه کاربری اراضی

برای محاسبه نفوذ، از روش عدد منحنی SCS و در مورد مسیریابی هیدرولیکی از روش موج دینامیکی استفاده شده است. همچنین برای شبیه‌سازی باران-رواناب در محدوده مورد مطالعه از روش بارش ۶ ساعته با دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب ۱۰، ۲۵ و ۴۳ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. در انتها به‌منظور آنالیز حساسیت مدل، میزان تأثیرگذاری پارامترها بر روی نتایج مدل ارزیابی شده است. در این پژوهش میزان تأثیرگذاری ۴ پارامتر شیب کانال، زبری کانال، CN[۴] حوضه و درصد نفوذپذیری بر روی نتایج مدل ارزیابی شد.

نتایج و بحث

همانطور که ملاحظه شد، در ابتدا برای منطقه مورد مطالعه شبکه مجاری انتقال و گره‌های اتصال طراحی و تعریف شده است. مشخصات شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی ناحیه هشتم شهر هرات شامل: ۳۱ زیر حوضه، ۱۳ گره، ۱۳ اتصال و ۱ خروجی می‌باشد. باتوجه‌به شکل (۲) حداکثر مساحت یک زیرحوضه ۲۲۱ هکتار و مساحت کل زیرحوضه‌ها ۴۶۰۳ هکتار می‌باشد. در ادامه شبیه‌سازی برای کاهش سیلاب به شش روش انجام شده است. این شش روش عبارتند از:

۱) ادامه شرایط موجود؛
۲) استفاده از روش توسعه کم اثر بشکه باران؛
۳) روش زیست ماند بیولوژیکی؛
۴) استفاده از مخزن تعدیل سیلاب؛
۵) ترکیب روش بشکه باران و روش زیست‌ماند بیولوژیکی؛ و
۶) استفاده از مخزن تعدیل سیلاب همراه با دو روش بشکه باران و زیست‌ماند بیولوژیکی. مدت زمان تحلیل جریان نیز، ۱۲ ساعت در نظر گرفته شد.

- ادامه شرایط موجود بدون استفاده از روش‌های توسعه کم اثر

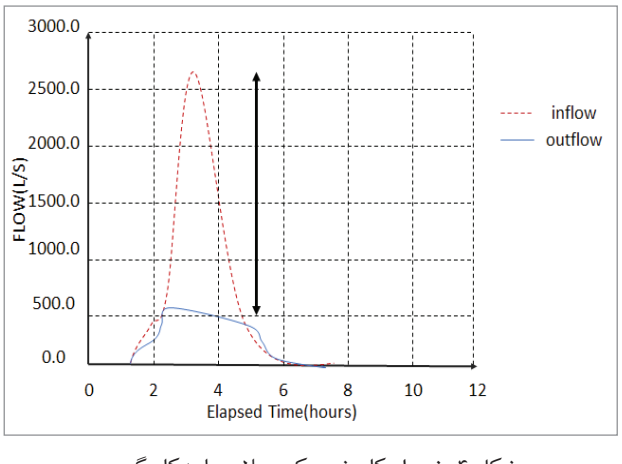
نتایج مدل‌سازی هیدرولیکی در این روش نشان داد در زمان وقوع سیلاب با دوره برگشت ۲ ساله، به علت اضافه بار هیدرولیکی، ۱۰ درصد گره‌ها دچار آبگرفتگی شده و شبکه قادر به عبور کل سیلاب در این دوره بازگشت نمی‌باشد. در مدل‌سازی با دوره بازگشت ۵ سال، نتایج نشان داد وضعیت عبور سیلاب دراین دوره بازگشت نسبت به سیل ۲ ساله، شرایط نامناسب‌تری را دارد به‌نحوی‌که حدود ۲۵ درصد از محل‌های عبور سیلاب دارای آبگرفتگی می‌باشند (جدول ۱). در ادامه در مدل‌سازی برای سیلاب ۱۰ سال که به‌منظور ارائه یک ارزیابی کامل از پتانسیل آسیب‌پذیری شبکه انجام گرفت، نتایج نشان داد میزان محل‌های آبگرفتگی ۴۰ درصد می‌باشد.

جدول ۱- حجم فرار آب در هر گره در دوره بازگشت ۵ سال

گره	متوسط عمق (m)	ماکزیمم عمق (m)	وضعیت آبگرفتگی
J۱	۰/۰۷	۰/۵۰	ندارد
J۲	۰/۲۸	۰/۶۰	ندارد
J۳	۰/۰۷	۰/۶۸	ندارد
J۴	۰/۰۸	۰/۵۰	ندارد
J۵	۰/۱۳	۰/۶۰	ندارد
J۷	۰/۰۶	۰/۷۸	دارد
J۸	۰/۱۲	۰/۸۹	دارد
J۱۰	۰/۱۳	۰/۵۶	ندارد
J۱۱	۰/۰۵	۰/۷۷	دارد
J۱۲	۰/۲۶	۰/۸۹	دارد
J۱۳	۰/۱۹	۰/۰۳	ندارد
J۶	۰/۱۱	۰/۶۰	ندارد
J۹	۰/۲۴	۰/۹۸	دارد
Outfal	۰/۱۸	۰/۸۹	دارد

- کاربرد مخزن تعدیل سیلاب

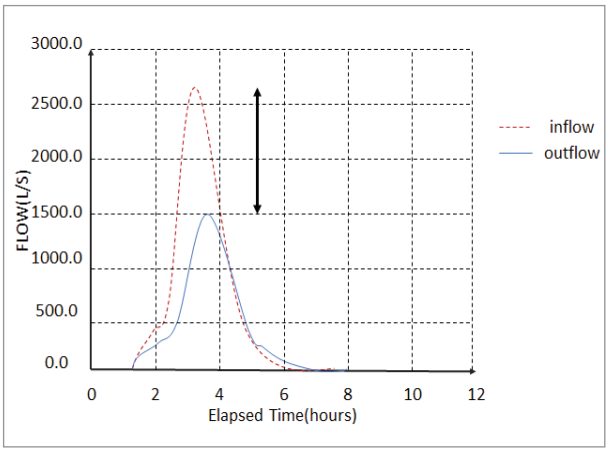
از پرکاربردترین روش‌های کاهش دبی اوج سیل، مخازن تعدیل سیلاب است که یک مخزن با ذخیره کردن بخشی از حجم سیلاب، باعث کاهش اوج رواناب سطحی می‌شود (Coffmam و همکاران، ۲۰۰۰). مقدار دبی اوج سیل در هیدروگراف ورودی، در دوره بازگشت ۱۰ سال و در وضع موجود با فرض بهسازی کانال‌ها و بدون هیچ‌گونه آبگرفتگی در حدود ۲۵۰۰ لیتر بر ثانیه محاسبه شده است (شکل ۴). در این روش حدود ۸۰٪ از پیک سیلاب کاهش می‌یابد.



شکل ۴- نمودار کاهش پیک سیلاب با به‌کار گیری احداث مخزن تعدیل سیلاب درسیل ۱۰ ساله

- کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش بشکه باران با قطر بزرگ

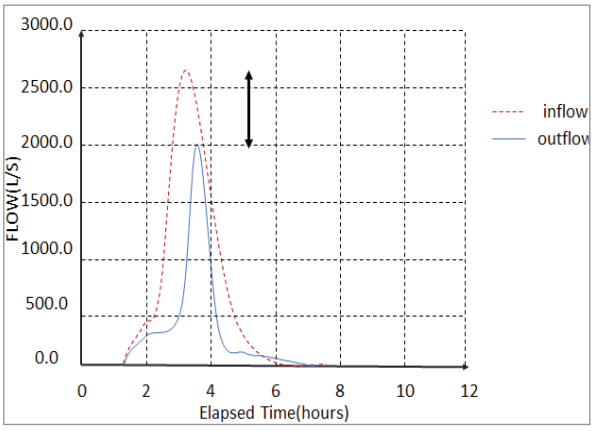
در شکل (۵) مقایسه هیدروگراف ورودی به مخزن و خروجی از آن تأثیر مناسب به‌کارگیری دو روش مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش بشکه باران با قطر بزرگ را در این روش نشان می‌دهد. اجرای روش بشکه باران با ابعاد بزرگ، در وضع موجود باعث کاهش حداقل ۴۰ درصد میزان فرار آب از گره‌ها می‌شود، این موضوع باعث افزایش دبی هیدروگراف خروجی نسبت به دبی هیدروگراف وضع موجود می‌شود، در این روش احداث مخزن، موجب تعدیل کاهش سیلاب در حدود ۴۰ درصد می‌شود. لازم به ذکر است روش‌های کاهش پیک سیلاب، از طریق کاهش زمان تمرکز و در نتیجه فرصت دادن به خروج سیلاب از خروجی حوضه آبریز شهری به کاهش خسارت‌های شهری کمک می‌کند.



شکل ۵- نمودار کاهش پیک سیلاب در روش مخزن به همراه روش بشکه باران با قطر بزرگ و تعدیل سیلاب ۱۰ ساله

- کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش بشکه باران با قطرکوچک

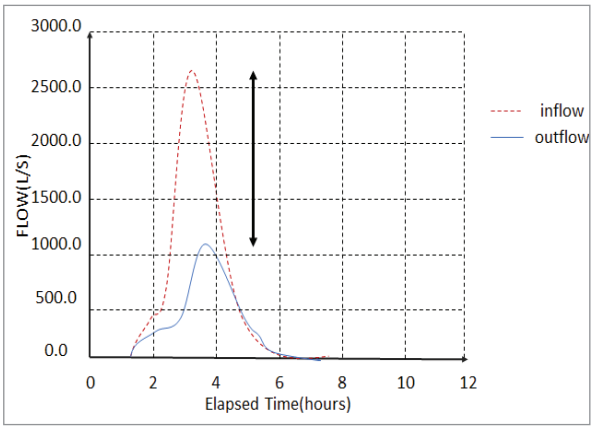
طبق نتایج به‌دست آمده (شکل ۶) اجرای روش توسعه کم اثر بشکه باران با ابعاد کوچک، در وضع موجود، باعث کاهش میزان فرار آب از گره‌ها (حداقل ۱۰ درصد) می‌شود، این موضوع باعث افزایش دبی هیدروگراف خروجی نسبت به دبی هیدروگراف وضع موجود می‌شود، در این روش احداث مخزن، تعدیل توانایی تعدیل حدود ۲۰ درصد از دبی پیک سیلاب و کاهش آن را داشته است. در این روش از آنجایی‌که روش توسعه به‌کار گرفته شده با قطر کوچکتر، نسبت به روش توسعه بشکه باران با قطر بزرگتر، خروج درصد رواناب کمتری را باعث می‌شود و در نتیجه زمان تاخیر در این روش در مقایسه با روش در مقایسه با روش نوین با قطر بزرگتر کمتر می‌باشد.



شکل ۶- کاهش پیک سیلاب در روش مخزن تعدیل سیلاب سیلاب ۱۰ ساله

- کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش واحد زیست‌ماند

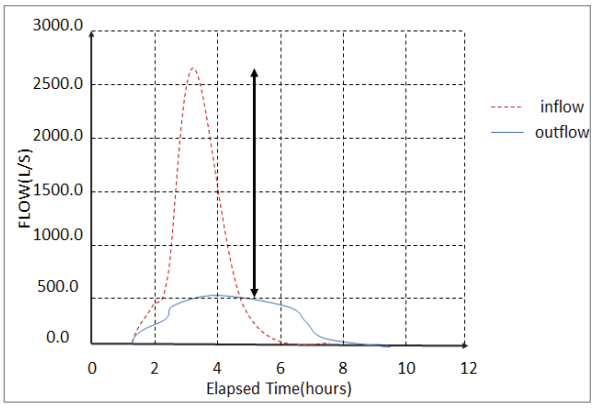
طبق نتایج، این روش باعث کاهش حداقل ۸۰ درصد از محل‌های که آبگرفتگی دارند و حداقل ۵۰ درصد از میزان حجم فرار آب، شده است. دراین روش پس از مدل‌سازی شبکه تنها با اجرای روش واحد زیست‌ماند، دبی هیدروگراف خروجی شبکه محاسبه شد. پس از آن با به‌کارگیری هم‌زمان مخزن تعدیل سیلاب واحداث آن در مدل، ضمن محاسبه ابعاد مخزن نتایج مدل‌سازی نشان داد احداث مخزن باعث تعدیل سیلاب و کاهش دبی پیک سیلاب، به میزان تقریبا ۶۰ درصد شده است (شکل ۷).



شکل ۷- نمودار کاهش پیک سیلاب در روش واحد زیست ماند و تعدیل سیلاب ۱۰ سال

- کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش واحد زیست‌ماند و روش بشکه باران با قطر بزرگتر

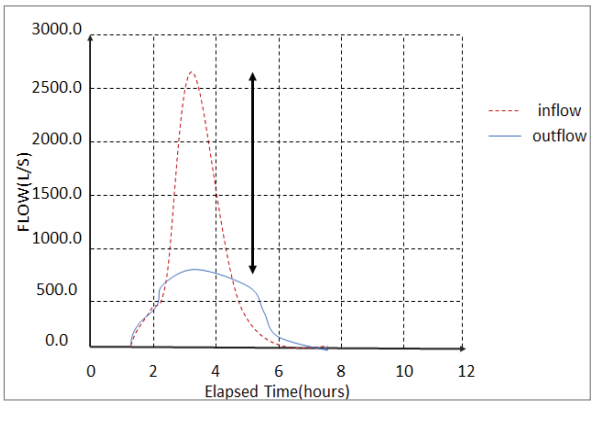
نتایج نشان داد اجرای هریک از روش‌های توسعه کم اثر به تنهایی، باعث بهبود شرایط وضع موجود می‌شوند و همچنین طبق نتایج، موثر و کارآ بودن ترکیب این روش‌ها نیز به‌خوبی قابل مشاهده است به‌طوری‌که با مدل‌سازی این روش ترکیبی، کاهش حداقل ۸۰ درصد رواناب فرار آب از گره‌ها، مشاهده شد و باعث ایجاد تعدیل بالا در شبکه شدند. زمان تاخیر نیز به میزان قابل توجهی در حدود ۱/۵ ساعت افزایش یافت (شکل ۸).



شکل ۸- نمودار کاهش پیک سیلاب در روش واحد زیست‌ماند و روش بشکه باران با قطر بزرگتر و تعدیل سیلاب ۱۰ ساله

- کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش واحد زیست‌ماند و روش بشکه باران با قطر کوچکتر

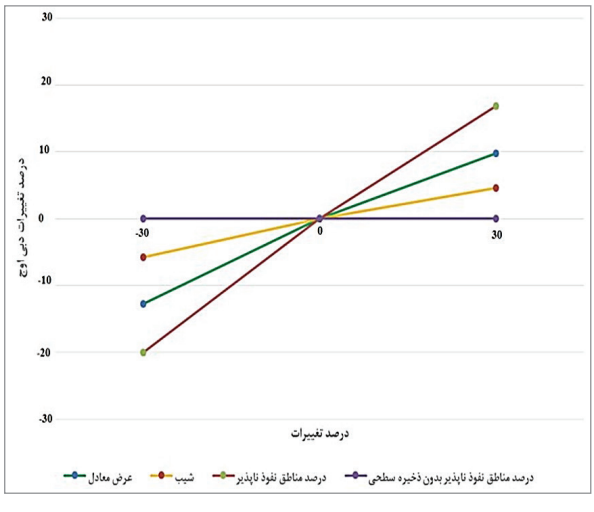
کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش واحد زیست‌ماند و روش بشکه باران با قطر کوچکتر نیز همانند روش کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش واحد زیست‌ماند و روش بشکه باران با قطر بزرگتر نتایج بسیار مشابه و نزدیکی را نشان داد و بیشترین تأثیر طبق مشاهده نتایج به‌دست آمده است. همانطورکه پیش‌ازاین گفته شد، نتایج شبیه‌سازی نشان داد اجرای هر یک از روش‌های توسعه کم اثر به تنهایی، باعث بهبود شرایط وضع موجود می‌شوند و طبق نتایج، موثر و کارآ بودن ترکیب این روش‌ها به‌خوبی قابل مشاهده است. به‌طوری‌که با مدل‌سازی این روش ترکیبی، کاهش حداقل ۷۵ درصد رواناب در شبکه شدند (شکل ۹). همانطورکه در شکل (۹) ملاحظه می‌شود افزایش زمان پیک با دبی اوج کوچکتر امکان عبور سیلاب از نقطه خروجی را افزایش خواهد داد.



شکل ۹- نمودار کاهش پیک سیلاب در روش واحد زیست ماند و روش بشکه باران با قطر کوچکتر و تعدیل سیلاب ۱۰ ساله

• **آنالیز حساسیت**

آنالیز حساسیت چهار پارامتر «درصد اراضی نفوذناپذیر»، «عرض معادل»، «شیب زیرحوضه» و «درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی» انجام شد. از بین نتایج مختلف مدل SWMM، دبی اوج سیلاب که مؤثرترین پارامتر برآورد سیلاب است به‌عنوان متغیر وابسته مد نظر بود. هرکدام از چهار پارامتر مذکور در تمام زیرحوضه‌ها به مقدار ۵±، ۱۰±، ۱۵± و ۳۰ ± درصد تغییر (از مقادیر اولیه کاهش و افزایش) داده شد و با تغییر مقدار هر پارامتر مدل اجرا و تأثیر آن‌ها بر دبی اوج سیلاب خروجی حوضه اندازه گیری شد. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مدل نشان داد در بین تمام متغیرهای بررسی شده، پارامتر «درصد مناطق نفوذ ناپذیر» بیشترین تأثیر را بر روی دبی اوج دارد. همچنین درصد «مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی» کمترین تأثیر را بر روی دبی اوج خواهد داشت. بعد از آن «درصد مناطق نفوذ ناپذیر»، «عرض معادل» و «شیب» بیشترین تأثیر را بر دبی اوج خواهد داشت (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- میزان تغییر پارامترهای موثر بر دبی اوج (برحسب درصد)

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش، مدل‌سازی رواناب ناحیه هشتم شهر هرات با استفاده از مدل مدیریت رواناب سطحی SWMM، انجام گرفت نتایج حاصل از این تحقیق به شرح ذیل می‌باشد.

نتایج حاکی‌از آن است هنگام اجرای پروژه‌های کنترل سیلاب شهری، مناطقی که از لحاظ ابعاد ظرفیت کافی برای عبور رواناب سطحی را ندارند، در اولویت قرار دارند. در محدوده مورد مطالعه نتایج نشان داد، تمام منطقه به‌خصوص نواحی جنوبی و شرقی، از لحاظ خطر سیل آبگرفتگی و کارآیی شبکه زهکشی تقریباً در شرایط نامساعدی قرار دارد. در واقع آبگرفتگی معابر و خیابان‌ها را می‌توان ناشی از کمبود ظرفیت هیدرولیکی کانال و کمبود ظرفیت موضعی دانست. بر اساس یافته‌های این پژوهش، عمده آبگرفتگی‌ها در شبکه‌های فرعی اتفاق افتاده و مدل‌سازی و تحلیل هیدرولیکی در این پژوهش سبب مشخص شدن محل‌های پس‌زدگی جریان و غرقاب شدن بازه‌ها شده است.

در مدل SWMM از نتایج پروفیل سطح آب می‌توان برای تهیه نقشه مناطق در معرض خطر و مدیریت حوضه‌های شهری جهت کاهش خطرات سیلاب شهری استفاده نمود. همچنین می‌توان از نتایج پروفیل سطح آب با دوره بازگشت‌های مختلف جهت بررسی و ارزیابی سیستم انتقالی رواناب شهری استفاده نمود و مشخص کرد که چه مناطقی در اثر وقوع سیل با دوره بازگشت‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌گیرند و برای انجام پروژه‌های سیلاب چه مناطقی در اولویت کاری قرار می‌گیرند.

برای تصمیم‌سازی صحیح و قابل قبول در راستای انجام مدیریت رواناب‌های سطحی شهری و کنترل سیلاب، مجموعه‌ای از عوامل و شرایط می‌تواند کمک کننده باشد و مدیران باید نسبت به شرایط مناطق خطرات سیل در آن مناطق در مرحله اول آگاهی کسب کنند و اطلاعات لازم و موثر در اتخاذ تصمیمات را جمع‌آوری کنند. سپس با بررسی آنها و در نظر گرفتن شرایط اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی مناطق هدف و نظر کارفرما تصمیمات را اتخاذ نمود.

نتایج شبیه‌سازی نشان داد اجرای هر یک از روش‌های توسعه کم اثر به تنهایی، بهبود شرایط وضع موجود را باعث می‌شوند و همچنین طبق نتایج، موثر و کارآ بودن ترکیب روش مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش واحد زیست‌ماند و روش بشکه باران به خوبی قابل مشاهده است به‌طوری‌که با مدل‌سازی این روش ترکیبی، کاهش حداقل ۷۵ درصد رواناب فرار آب از گره‌ها، باعث ایجاد تعدیل بالایی در شبکه جمع‌آوری رواناب شهری شدند.

پیشنهاد می‌شود در ادامه پژوهش حاضر، نتایج این پژوهش از طریق تحلیل‌های آماری و تحلیل رگرسیونی ارزیابی شود و گزینه‌های تعدیل سیلاب مقایسه شود. همچنین در جهت کاربردی نمودن نتایج، با کمک نظرات کارشناسان خبره منطقه می‌توان از طریق روش‌های تحلیل سلسله مراتبی نسبت به انتخاب گزینه‌های برتر، بر اساس معیارهای شهری اقدام نمود.

عرض معادل: منظور از عرض معادل همان عرض مستطیل معادل بر حسب کیلومتر می‌باشد.

پی‌نوشت

1-Environmental Protection Agency

3-Storm Water Management Model

2-Low Impact Development

3-Urban Inundation Model

4-Curve Number

منابع

اورعی زارع، ص. و ثقفیان، ب. ۱۳۹۰. روش‌های غیرسازه‌ای کنترل سیلاب و ارزیابی خسارت‌های مستقیم و غیر مستقیم در حوضه‌های درون شهری. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران.

رضایی، ف.، بهره مند، ع. ر.، شیخ، و.، دستورانی، م. ت. و تاج بخش، س. م. ۱۳۹۷. کالیبراسیون و ارزیابی مدل SWMM در شبیه‌سازی رواناب منطقه ۹ شهرداری مشهد. آب و توسعه پایدار، ۵(۲):۹۱-۱۰۰.

سبزی، ع و نصری، م. ۱۳۹۰. کاربرد مدل SWMM در برآورد رواناب در حوضه شهری زواره، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیر کبیر. تهران.

سعیدی، ع. ر. و شامی، م. ر. ۱۳۹۴. بررسی روند مدیریت بحران در سیلاب توچال پاکدشت ورامین،هفتمین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران. تهران.

سلطانی، ک.، سلیمانی بابرصاد، ح. و رمضانی پوردستجردی، ف. ۱۳۹۳. روش‌های نوین معماری و شهرسازی در توسعه کم اثر(LID). اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران. موسسه آموزش عالی مهر اروند. مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار. تهران.

کاویانپور، م. ر.، مقیمی، ا. و شریفی، س. ۱۳۸۹. تعیین اثرات کاربرد روش توسعه کم اثر(Low Impact Development) در کاهش سیلاب‌های شهری و شبکه جمع آوری آب‌های سطحی شهر تهران، اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری. تهران.

کاویانپور، م. ر. و بهزادی پور، ا.۱۳۹۵. نقش کاربردی روش‌های نوین مدیریت سیلاب شهری در کاهش ریسک و خطرپذیری سیلاب. چهارمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری. دانشگاه صنعتی خواجه نصرالدین طوسی تهران.

محمدولی سامانی ج. و شایان نژاد، م. ۱۳۷۹. مقایسه روش‌های موج سینماتیکی و موج تطابق پخشیدگی با موج دینامیکی در روندیابی سیل در رودخانه‌ها. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید (نشریه بین‌المللی علوم مهندسی)، ۱۱(۲): ۲۹-۴۳.

Chen J., Hill A. A. and Urbano L. D. 2009. A GIS- based model for urban flood inundation. Journal of Hydrology, 373(1–2): 184-192.

Choi K.-S. and Ball J. 2002. Parameter estimation for urban runoff modelling. Urban Water, 4(1): 31-41.

Coffmam L., Clar M. and Weinstein N. 2000. Low impact development management strategies for wet weather flow (WWF) control. Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management. United States.

Dongquan Z., Jining C., Haozheng W., Qingyuan T., Shangbing C. and Zheng S. 2009. GIS-based urban rainfall-runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach, (case study in Macau). Environmental earth sciences, 59: 465–472.

Fernandes M. H. 2010. Flood damage estimation beyond stage-damage function: an Australian example. Journal of Flood Risk Management, 3(1): 88-96.

Iglesias-Rey P.L, Martínez-Solano F.J. and Ribelles-Aquilar J.V. 2017. Extending EPANET Capabilities with Add-In Tools. Procedia Engineering, 186: 626-634.

Marsalek J., EdWatt W., Zeman E. and Sieker F. 2000. Flood Issues in Contemporary Water Management. Dordrecht eBook. Publisher Series Title NATO Science Series.

Mashael Mohammed A. S. 2015. Flood Control Management for the City and Surroundings of Jeddah, Saudi Arabia. Springer Natural Hazards. EBook. Series Title Springer Natural Hazards. Publisher Name Springer, Dordrecht. New York City, United States.

Phillips BC. Yu S., Thompson GR. and Silva N. 2005. 1D and 2D Modelling of urban drainage systems using XP-SWMM and TUFLOW. 10th International Conference on Urban Drainage. Institute of Environment & Resources Technical University of Denmark Bygningstorvet.

Shammaa Y., Zhu D. Z., Gyurek L. L. and Labatiuk C. W. 2002. Effectiveness of dry ponds for stormwater total suspended solids removal. Canadian Journal of Civil Engineering, 29(2): 316-324.

Smith D., Li J. and Bunting D. 2005. A PCSWMM/GIS-based water balance model for the Reesor Creek watershed, Atmospheric Research 77: 388 – 406.

Zeng Z., Yuan X., Liang j. and Li Y. 2021. Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management, Environmental Modelling & Software, 135: 104887.

Zevenbergen C., Cashman A., Evelpidou N., Pasche E., Garvin S. and Ashley R. 2010 Urban_Flood_Management. Book Number. CRC Press.1st Edition. United States..

Zhiyu Sh., Lei X., Hongxiang Ch., Scott A.Y., ZuoleZheng abZhengsong W. and Qiang He. 2021. Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management. Environmental Modelling & Software,. 135: 104887.

یادداشت تحلیلی

تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های سنگین ایران با بکارگیری مدل همادی CMIP۶

آذر زرین[1*]، عباسعلی داداشی رودباری[2]

۱- استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- پژوهشگر پسادکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*(ایمیل نویسنده مسئول: zarrin@um.ac.ir)

تغییرات در شدت و فراوانی بارش، از جمله رخدادهای فرین، بیشترین تأثیر را بر مدیریت منابع آب و مدیریت ریسک سیلاب دارد. از آنجایی که ایران در یک منطقه خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته است، اطلاعات بیشتری در مورد تغییرات گذشته و احتمالی آینده در خصوص بارش‌های فرین مورد نیاز است. این تحقیق با هدف بررسی روزهای همراه با بارش سنگین در ایران از سری مدل‌های سامانه زمین EC-Earth3 با تفکیک افقی ۰/۷ درجه قوسی با پیکربندی‌های مختلف که در پروژه CMIP٦ مشارکت یافته‌اند، انجام شده است. یک مدل همادی از سه مدل EC-Earth3، EC-Earth3-Veg و EC-Earth3-CC با روش میانگین وزنی با رویکرد مستقل (IWM) تولید شد. جهت بررسی روزهای همراه با بارش سنگین از شاخص R۱۰mm توصیه شده توسط کارگروه تخصصی در زمینه تغییر اقلیم و شاخص‌های فرین (ETCCDI) استفاده شد. شاخص R۱۰mm با سناریوهای خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، حد واسط (SSP2-4.5)، بدبینانه (SSP3-7.0) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) در دوره تاریخی (۲۰۱٤-۱۹۹۰) و سه دوره ۲۵ ساله شامل دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲٦)، آینده میانی (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷٦) محاسبه شد. شاخص R۱۰mm در شش حوضه آبخیز درجه یک بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشینه این شاخص با ۱٤/۳٦ روز در حوضه دریای خزر و کمینه آن با ۱/٤٥ روز در حوضه مرزی شرق ایران دیده می‌شود و بارش سنگین در ایران تحت شرایط تغییر اقلیم آینده افزایش خواهد داشت. بیشینه افزایش روزهای همراه با بارش سنگین تحت سناریوهای SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به‌ترتیب در سه حوضه دریای خزر، دریاچه ارومیه و قره‌قوم دیده شد. همچنین این شاخص در متوسط پهنه ای کشورحداقل افزایش ۲/۹۷ درصدی و حداکثر ۱۸/۲۲ درصدی را نشان داد. افزایش رخداد بارش سنگین در آینده ممکن است منجر به افزایش خطر سیل شده و دسترسی به منابع آب را نیز در ایران با مشکلاتی مواجه نماید.

واژه‌های کلیدی: فرین‌های اقلیمی، بارش سنگین، CMIP6، سناریوهای SSP، ایران.

مقدمه

فعالیت‌های انسانی از آغاز انقلاب صنعتی در قرن نوزدهم غلظت دی‌اکسیدکربن (CO_2) در جو را تا حدود ۵۰ درصد افزایش داده است. افزایش میانگین دمای جهانی آشکارترین پیامد افزایش CO_2 در سطح جهانی است (IPCC، ۲۰۱۳). با این حال، افزایش دما پیامدهایی برای الگوی بارش به همراه دارد. دمای گرم‌تر نقطه اشباع بخار آب و ظرفیت نگهداری آب را در جو افزایش داده است (Dannenberg و همکاران، ۲۰۱۹). در چنین شرایطی رخدادهای بارش فرین تشدید شده و بر فراوانی و شدت آن‌ها افزوده می‌شود. تعاریف مختلفی برای رخدادهای فرین ارائه شده است. از دیدگاه اقلیمی یک رخداد فرین عبارتست از آستانه آماری معینی برای یک مقیاس زمانی معین (مثلاً صدک پنجم یا نود و پنجم توزیع آماری). فرین‌های اقلیمی از اهمیت بسیار زیادی نسبت به میانگین‌های اقلیمی برخوردار هستند. در بسیاری از مناطق میانگین‌های دما و بارش و یا دیگر متغیرهای اقلیمی تغییرات زیادی نداشته است، اما فرین‌های اقلیمی همانند خشکسالی‌ها، روزهای همراه با بارش سنگین و خیلی سنگین، دوره‌های خشک و مرطوب متوالی و بسیاری دیگر از این متغیرها تغییرات زیادی را در سال‌های اخیر داشته‌اند. بررسی وردایی فرین‌های اقلیمی طی دوره‌های تاریخی و پیش‌بینی/نگری آن می‌تواند نقش بسیار مهمی را در برنامه‌های توسعه آتی هر کشور بخصوص کشور ایران که یک کشور خشک و نیمه خشک است، داشته باشد.

هیات بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC) در ششمین گزارش ارزیابی خود (AR۶) افزایش میانگین دمای جهانی مشاهده شده را ۱/۰۹ درجه‌سلسیوس در سال ۲۰۱۱-۲۰۲۰ نسبت به آغاز انقلاب صنعتی (۱۸۵۰-۱۹۰۰) را برآورد کرده است (IPCC، ۲۰۲۱). برآورد می‌شود که گرمایش جهانی انسان‌زا عواقب بلندمدتی بر تمام اجزای سامانه اقلیمی، از جمله تغییراتی در توزیع بارش روزانه داشته باشد. برای به تصویر کشیدن تغییرات فرین‌های اقلیمی و بخصوص فرین‌های بارشی مدل‌های گردش کلی جو (GCMs) یک ابزار علمی دقیق و در دسترس در سطح جهانی هستند. مدل‌های گردش کلی جو نمایش جامع و فزاینده‌ای از سامانه اقلیم ارائه می‌کنند و به عنوان ابزار اصلی برای درک و پیش‌بینی/نگری تغییرات در میانگین، وردایی و فرین‌های اقلیمی استفاده می‌شوند. آخرین نسخه این مدل‌ها هم‌اکنون تحت عنوان پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده فاز ششم (CMIP۶) با طیف گوناگونی در دسترس هستند.

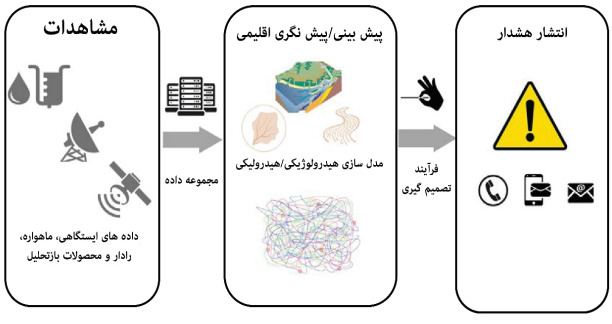
سیل یکی از پرهزینه‌ترین و رایج‌ترین بلایای طبیعی در ایران و سراسر جهان است. سیل جان انسان‌ها را می‌گیرد، زیرساخت‌ها و امنیت عمومی را به خطر می‌اندازد، خسارات مالی به افراد و جوامع وارد می‌کند و سازمان‌های دولتی که پاسخگویی و امدادرسانی به سیل را ارائه می‌دهند، تحت فشار قرار می‌دهد. به طور متوسط، خسارات ناشی از سیل یک سوم از خسارات اقتصادی سالانه ناشی از بلایای طبیعی در سراسر جهان را تشکیل می‌دهد. خسارات ناشی از سیل به طور اجتناب‌ناپذیری همراه با فراوانی رخداد سیل در روند فعلی افزایش دمای جهانی افزایش می‌یابد. بر اساس یکی از گزارش‌های هیات بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC)، افزایش میانگین دمای جهانی احتمالاً منجر به

تغییراتی در بارش و رطوبت جوی می‌شود، از این‌رو باید انتظار بارش‌های فرین بیشتری را در سال‌های آتی داشت. سیل هم در سطح جهانی و هم در سراسر کشور در حال افزایش است. در سال ۲۰۱۸، سیل بیش از هر نوع فاجعه دیگری در سراسر جهان بر مردم تأثیر گذاشته است (مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایای طبیعی (CRED)، ۲۰۱۹).

براساس یک آمار دولتی منتشر شده در کشور از سوی بخش زلزله و خطرپذیری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، سیل نزدیک به ۳۰ درصد از کل خسارات مخاطرات طبیعی را در ایران بر می‌گیرد. شواهد بسیاری نیز از سیل‌خیزی در ایران وجود دارد بطوریکه در یک دهه گذشته ایران شاهد سیل‌های بسیار گسترده و فراگیری بوده است که می‌توان به سیل سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۵ و سیل‌های سال ۱۳۹۸ که در ۲۴ استان کشور به خصوص در استان‌های مازندران، گلستان، فارس، لرستان و خوزستان اتفاق افتاد اشاره کرد. هر چند که رخداد سیل به عوامل بسیاری وابسته است اما به‌طور مشخص سیل سال ۱۳۹۸ در ایران در نتیجه رخداد بارش‌های سنگین و بسیار سنگین پیوسته بوده که در نتیجه آن سیلاب‌های گسترده‌ای در کشور رقم خورد.

همانطور که بالاتر نیز گفته شد یکی از شواهد اصلی تغییر اقلیم بروز تغییرات جدی در بارش‌ها و بخصوص بارش‌های سنگین است. لذا توسعه سامانه‌های هشدار سیل (FWS) تحت شرایط تغییر اقلیم باید در اولویت برنامه‌های کشور قرار گیرد. شایان ذکر است که سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو هر یک به توسعه سامانه‌های FWS پرداخته‌اند، اما باید توجه داشت که این سامانه‌ها در برگیرنده پیش‌بینی‌های کوتاه مدت هواشناسی است و لازم است تا سامانه‌های احتمالاتی ریسک سیلاب برای پیش‌بینی‌های فصلی-زیرفصلی (S2S)، پیش‌بینی‌های دهه‌ای (DCPP) و پیش‌نگری‌های بلند مدت اقلیمی نیز ارائه شود.

یک FWS موفق دارای سه جزء کلیدی است که Parker (۲۰۱۷) آن را معرفی کرده است: ۱) داده‌های ورودی اقلیمی، رودخانه و حوضه، ۲) فرآیندهای مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، و ۳) انتشار هشدار (شکل ۱). مزیت اساسی برنامه هشدار سیل تحت شرایط تغییر اقلیم این است که زمان بیشتری را برای واکنش و هشدارها در مکان‌های در معرض خطر سیل فراهم می‌کند. پیش نگری رخدادهای بارش فرین اگر چه با عدم قطعیت بیشتری همراه است، اما این فرصت را در اختیار قرار می‌دهد تا چشم‌اندازی از رخداد بارش‌های فرین برای دهه‌های آینده را ارائه نموده و برنامه‌های مدیریتی موثرتر و بهنگام‌تری را در بلندمدت جهت کاهش پیامدهای آن‌ها مدنظر قرار دهد. ارائه اخطارهای به موقع به سازمان‌ها و افراد سبب می‌شود تا افراد از خود و دارایی‌هایشان در برابر سیلاب‌های احتمالی محافظت کنند.



شکل ۱- مدل مفهومی سامانه هشدار سیل (FWS) تحت شرایط تغییر اقلیم

روش تحقیق

سری مدل‌های سامانه زمین EC-Earth۳ با پیکربندی‌های مختلف که در CMIP۶ مشارکت یافته است در این تحقیق استفاده شده‌اند. مدل‌های EC-Earth۳ به دلیل تنوع پیکربندی‌ها و مدل‌های فرعی مختلفی که ارائه داده است و همچنین تفکیک افقی بالاتر نسبت به سایر مدل‌های در دسترس، دارای ارزش مطالعاتی زیادی در مطالعات تغییر اقلیم است. مزیت کلیدی EC-Earth۳ نسبت به سایر مدل‌های CMIP عبارتند از: شبیه‌سازی بهتر فرایندهای فیزیکی سامانه اقلیم و کاهش چشمگیر اریبی متغیرهای مهم اقلیمی همچون دما و بارش. این مدل‌ها با بهبود مشخصه‌های فیزیکی و دینامیکی و اجزای ESM جدید تا حد زیادی در مقایسه با مدل‌های مشارکت یافته در CMIP۵ بهبود یافته‌اند (Döscher و همکاران، ۲۰۲۱). مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش به همراه پیکربندی هر یک در جدول (۱) ارائه شده است. تفکیک افقی مدل‌های EC-Earth مورد بررسی ۰/۷۰ درجه قوسی است. دوره آماری مورد بررسی شامل دوره تاریخی از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ و دوره پیش‌نگری نیز در برگیرنده سه دوره ۲۵ ساله شامل دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۶)، آینده میانی (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) تحت سناریوهای خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، حد واسط (SSP2-4.5)، بدبینانه (SSP3-7.0) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) است. در این پژوهش با بکارگیری روش میانگین وزنی با رویکرد مستقل (IWM[1]) (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰)، یک مدل همادی از پیکربندی‌های مختلف سری مدل‌های EC-Earth۳ مشارکت یافته در CMIP۶ تولید شد.

روزهای همراه بارش سنگین با شاخص R۱۰mm از شاخص‌های کارگروه تخصصی در زمینه تغییر اقلیم و شاخص‌های فرین (ETCCDI) بررسی شد. این شاخص روزهایی با بارش ۱۰ میلی‌متر و بیش‌تر از آن را برای یک دوره مشخص آماری (پیش فرض شاخص یک سال است) بررسی می‌کند. در این پژوهش نیز تعداد روزهای همراه با بارش سنگین (R۱۰mm) در مقیاس سالانه مبتنی بر برونداد مدل همادی تولید شده EC-Earth بررسی شد.

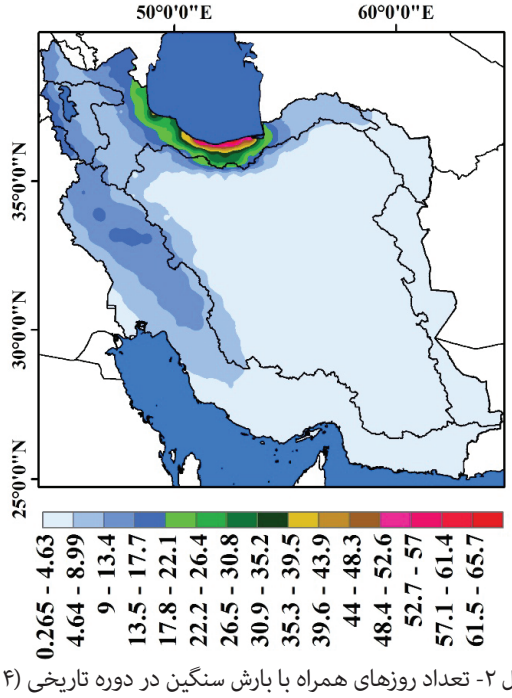
جدول ۱- مدل‌های مورد استفاده EC-Earth به همراه پیکربندی آن‌ها

پیکربندی	جو + سطح زمین	اقیانوس + یخ دریا	دینامیک پوشش گیاهی	ترکیبات جوی
	IFS 36r4 + HTESSEL	NEMO3.6 + LIM3	LPJ-GUESS	TM5
EC-Earth۳	×	×		
Veg-EC-Earth۳	×	×	×	
CC-EC-Earth۳	×	×	×	× (فقط CO_2)

نتایج و بحث

•پایش و پیش‌نگری تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در ایران

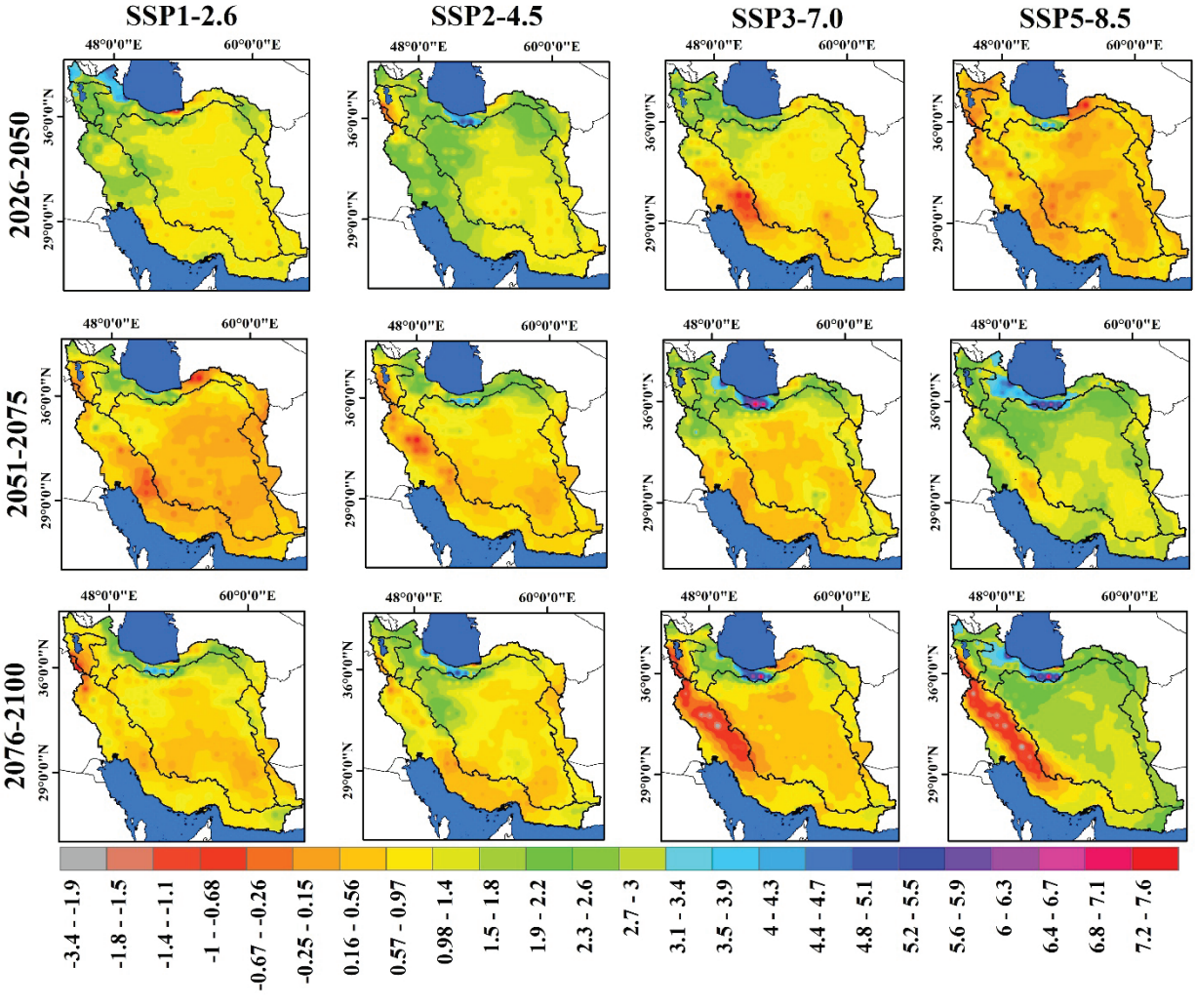
روزهای همراه با بارش سنگین در ایران از کمتر از یک روز در کویر مرکزی و مناطق شرقی و جنوب شرقی ایران تا حداکثر ۶۵/۷ روز در سواحل جنوبی دریای خزر در نوسان است. کانون اصلی بارش‌های سنگین ایران سواحل خزری است، بطوریکه در هیچ یک از مناطق سواحل جنوبی دریای خزر روزهای همراه با بارش سنگین کمتر از ۱۷ روز در سال نمی‌باشد. پس از سواحل خزری، ارتفاعات زاگرس بیشینه روزهای همراه بارش سنگین را تجربه می‌کند. بیشینه روزهای همراه بارش سنگین در مناطق مرتفع زاگرس ۱۷ روز در سال به‌دست آمده است (شکل ۲). برای متوسط حوضه‌های آبخیز درجه یک ایران نیز روزهای همراه با بارش سنگین بین ۱/۴۵ روز در حوضه مرزی شرق تا ۱۴/۳۶ روز در حوضه دریای خزر در تغییر است. پس از حوضه دریای خزر، حوضه دریاچه ارومیه با ۹/۶۰ روز بارش سنگین، دومین حوضه‌ای است که بیشینه روزهای همراه با بارش سنگین ایران را دارا است (جدول ۲).



شکل ۲- تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) با استفاده از مدل همادی EC-Earth

پیش‌نگری روزهای همراه با بارش سنگین در ایران در شکل (۳) ارائه شده است. بررسی مدل همادی تولیدشده از سری مدل‌های Ec-Earth نشان داد روزهای همراه با بارش سنگین در بیش‌تر مناطق ایران بی‌هنجاری افزایشی را در دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۶)، آینده میانی (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) تحت سناریوهای خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، حد واسط (SSP2-4.5)، بدبینانه (SSP3-7.0) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) خواهد داشت. بیشینه بی‌هنجاری مثبت روزهای همراه با بارش سنگین در ایران در حوضه دریای خزر اتفاق افتاده است. بطوریکه در آینده دور تحت سناریو SSP5-8.5 روزهای همراه بارش خیلی سنگین در سواحل جنوبی دریای خزر نسبت به دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) ۷/۶ روز افزایش خواهد یافت. در مقابل روزهای همراه با بارش سنگین تحت سناریوهای بدبینانه و خیلی بدبینانه در زاگرس مرتفع بی‌هنجاری منفی را نشان داده است. بیشینه کاهش روزهای همراه با بارش سنگین نیز ۳/۴ روز به‌دست آمده است.

بررسی متوسط روزهای همراه با بارش سنگین در حوضه‌ها نشان می‌دهد که روزهای همراه بارش سنگین در تمامی حوضه‌ها و دوره‌ها و سناریوهای مورد بررسی به غیر از آینده میانی سناریو SSP3-7.0 و آینده دور سناریو SSP5-8.5 که این شاخص بی‌هنجاری منفی را نشان داده است، دارای بی‌هنجاری مثبت است. بیشینه افزایش روزهای همراه با بارش سنگین به‌ترتیب در سه حوضه دریای خزر، دریاچه ارومیه و قره قوم دیده می‌شود. این روند افزایشی برای روزهای همراه بارش سنگین یک تهدید جدی برای رخداد سیل در این مناطق است. بارش‌های سنگین در شرایط اقلیمی گرم‌تر در ایران افزایش پیدا می‌کنند و این نتیجه در تأیید یافته‌های قبلی است (Collins و همکاران، ۲۰۱۳). این تغییرات با ظرفیت نگهداری بیشتر رطوبت در هوای گرم که به همگرایی بیشتر رطوبت کمک می‌کند در ارتباط است (Tebaldi و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین بر اساس رابطه کلاوسیوس-کلاپیرون (Clausius - Clapeyron) بین افزایش دما و شدت بارش ارتباط وجود دارد و در ارتباط با رخدادهای بارش سنگین، تخلیه ستون رطوبتی جو اتفاق می افتد. در حقیقت، کاملاً مشهود است که افزایش محتوای بخار آب جوی عموماً با افزایش بارش‌های فرین در اقلیم گرم‌تر همراه است (Pall و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل ۲- تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۶)، آینده میانی (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) تحت سناریوهای خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، حد واسط (SSP2-4.5)، بدبینانه (SSP3-7.0) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) با استفاده از مدل همادی EC-Earth

بررسی‌های انجام شده از تغییرات تعداد روزهای همراه با بارش سنگین با استفاده از مدل همادی تولید شده EC-Earth برای متوسط کل کشور نشان می‌دهد که تعداد روزهای همراه با بارش سنگین براساس برونداد سناریو خوش‌بینانه (SSP1-2.6) در آینده نزدیک ۶/۳۰ درصد، آینده میانی ۶/۶۲ و آینده دور ۱۴/۳۵ درصد نسبت به دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۰) افزایش خواهند داشت. به همین ترتیب نتایج مربوط به سناریوی حد واسط (SSP2-4.5) نشان می‌دهد که روزهای همراه با بارش سنگین در آینده نزدیک ۱۰/۳۶ درصد، آینده میانی ۷/۲۵ درصد و آینده دور ۱۱/۲۸ درصد روند افزایشی خواهند داشت. نتایج سناریوی بدبینانه (SSP3-7.0) نیز نشان می‌دهد که روزهای همراه با بارش سنگین در آینده نزدیک ۲/۹۷ درصد، در آینده میانی ۱۸/۲۲ درصد و در آینده دور ۱۱/۹۳ درصد افزایش خواهد داشت. در نهایت نتایج مربوط به سناریو خیلی بدبینانه (SSP5-8.5) نیز حاکی از آن است که تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در متوسط پهنه‌ای ایران به‌ترتیب در آینده نزدیک، میانی و دور ۸/۸۴، ۱۶/۹۷ و ۱۳/۲۴ درصد نسبت به دوره تاریخی مورد بررسی افزایش خواهند داشت.

جدول ۲- تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در حوضه‌های آبخیز درجه یک ایران به همراه بی‌هنجاری آن در دوره‌های آتی

سناریو	دوره	دریای خزر	خلیج فارس دریای عمان	دریاچه ارومیه	فلات مرکزی	مرزی شرق	قره قوم
تاریخی	۲۰۱۴-۱۹۹۰	۱۴/۳۶	۵/۸۵	۹/۶۰	۲/۳۵	۱/۴۵	۳/۴۵
SSP1-2.6	آینده نزدیک	۰/۹۷	۰/۲۵	۱/۲۳	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۳۸
	آینده میانی	۱/۰۲	۰/۲۱	۰/۴۵	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۲۶
	آینده دور	۱/۳۳	۰/۵۸	۰/۳۰	۰/۵۹	۰/۶۵	۱/۰۵
SSP2-4.5	آینده نزدیک	۰/۹۷	۰/۵۲	۰/۰۶	۰/۴۱	۰/۲۱	۰/۵۹
	آینده میانی	۱/۱۸	۰/۰۶	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۶۷
	آینده دور	۱/۵۴	۰/۲۱	۰/۸۸	۰/۴۸	۰/۲۵	۰/۳۳
SSP3-7.0	آینده نزدیک	۰/۹۱	-۰/۱۷	۰/۷۰	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۲
	آینده میانی	۲/۲۲	۰/۵۷	۱/۳۰	۰/۶۶	۰/۷۲	۱/۲۵
	آینده دور	۱/۷۷	۰/۱۱	۰/۴۱	۰/۵۳	۰/۷۰	۱/۰۵
SSP5-8.5	آینده نزدیک	۰/۶۱	۰/۴۰	۰/۲۰	۰/۴۰	۰/۴۹	۰/۴۹
	آینده میانی	۲/۲۱	۰/۴۳	۱/۲۶	۰/۶۷	۰/۴۶	۰/۷۳
	آینده دور	۱/۳۶	-۰/۹۹	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۴۹

آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۶)، آینده میانی (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶)

نتیجه‌گیری

این پژوهش با تولید یک مدل همادی از سری مدل‌های EC-Earth و کاربست چهار سناریوی خوش‌بینانه، حد واسط، بدبینانه و خیلی بدبینانه انجام شد و نتایج نشان از افزایش روزهای همراه با بارش سنگین در تمامی حوضه‌های آبخیز ایران دارد. از شش حوضه آبخیز درجه یک در ایران، سه حوضه دریای خزر، دریاچه ارومیه و قره قوم به ترتیب بیشینه بی‌هنجاری مثبت روزهای همراه با بارش سنگین را در ایران طی سال‌های آتی تجربه خواهند کرد. برای متوسط پهنه‌ای کل کشور روزهای همراه بارش سنگین در آینده بسته به دوره و سناریوی مورد بررسی حداقل یک افزایش ۲/۹۷ درصدی و حداکثر ۱۸/۲۲ درصدی را نشان می‌دهد. از ۱۲ دوره/سناریو مورد بررسی برای آینده در هفت دوره/سناریو تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در ایران افزایش بیش از ۱۰ درصدی را نسبت به دوره تاریخی نشان می‌دهد. به عبارتی در غیاب برنامه‌ریزی صحیح و آمادگی کافی، در سال‌های آتی باید شاهد سیل‌های بیش‌تری، همانند آنچه که در سال ۱۳۹۸ در شیراز، آق‌قلا و پل‌دختر واقع شد، باشیم. در همین راستا تحقیقات گذشته نیز نشان دادند که ملاحظات ترمودینامیکی ممکن است به افزایش احتمالی شدت بارش در آینده کمک کند (Ban و همکاران، ۲۰۱۵). به طور خاص، فشار بخار آب اشباع در جو تابعی از دمای هوا است و با توجه به رابطه کلاوسیوس - کلاپیرون (Clausius - Clapeyron) نرخ بارش ۶ تا ۷ درصد با هر درجه گرم شدن افزایش می‌یابد. حتی برخی از مطالعات همانند O'Gorman و Schneider (۲۰۰۸) نشان دادند که رخدادهای فرین بارشی همانند بارش‌های سنگین و خیلی سنگین ممکن است با این سرعت و یا حتی بیش‌تر افزایش یابند.

تغییر اقلیم بدون شک احتمال رخدادهای فرین مانند سیل و خشکسالی که به نوعی دو روی سکه از شرایط اقلیمی ایران هستند را تغییر داده است. مطالعه این دو مخاطره اقلیمی نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در مدیریت صحیح منابع و بخصوص مدیریت منابع آب خواهد داشت. به طور مشخص سیل می‌تواند یک دلیل دقیق هواشناسی داشته باشد و معمولاً بارش‌های سنگین و خیلی سنگین (مستقیم یا غیرمستقیم) مسئول اصلی سیل است (Breugem و همکاران، ۲۰۲۰). در نتیجه، برای درک سیل به عنوان یک پدیده مخرب لازم است در گام نخست تغییرات بارش‌های سنگین را طی دوران مشاهداتی و آینده بررسی کرده و سپس علل هواشناسی آن را درک کنیم. پیش از بکارگیری مدل‌های هیدرولوژیکی لازم است تا اطلاع دقیقی از تغییرات بارش و شاخص‌های مهمی همچون بارش سنگین در هر منطقه داشت. همانطور که در بخش ابتدایی این نوشتار نیز مورد بحث قرار گرفت، GCMها به عنوان یک ابزار علمی، قابلیت پیش‌نگری اقلیم را طی سال‌های آتی دارند. در این راستا پیش‌نگری روزهای همراه با بارش سنگین با کمترین عدم قطعیت، می‌تواند به صورت بالقوه خطر رخداد سیل را به صورت کمی ارزیابی کند. در واقع پیش‌نگری بارش

و شاخص‌های مرتبط با آن، به پیش‌نگری بهتر وقایعی همچون سیل منتهی خواهد شد و این کار ارزش بالایی در بخش‌های مرتبط با سیاست‌های کلان برنامه‌ریزی، منابع آب و کنترل خطر سیل دارد. زیرا می‌توان هشدارهای مخصوص را به جهت زمانی و از بعد مکانی ارزیابی نمود و اقدامات حفاظت از سیل را به شکل جهت‌دارتر انجام داد. به این ترتیب مقامات و ساکنان می‌توانند به موقع خود را آماده کنند که از طریق آن می‌توان پیامدهای مخرب سیل را کاهش داد.

پی‌نوشت

1-Independence Weighted Mean (IWM)

منابع

زرین، آ. و داداشی رودباری، ع. ۱۴۰۰. پیش‌نگری دوره‌های خشک و مرطوب متوالی در ایران مبتنی‌بر برونداد همادی مدل‌های تصحیح شده اریبی CMIP۶. فیزیک زمین و فضا، ۴۷(۳): ۵۶۱-۵۷۸.

Ban N., Schmidli J., and Schär C. 2015. Heavy precipitation in a changing climate: Does short-term summer precipitation increase faster?. Geophysical Research Letters, 42(4): 1165-1172.

Breugem A. J., Wesseling J. G., Oostindie K. and Ritsema C. J. 2020. Meteorological aspects of heavy precipitation in relation to floods–An overview. Earth-Science Reviews, 103171.

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). 2019. Natural Disasters Report 2018. https:// reliefweb.int/report/world/flooding-affected-more-people-2018-any-other-disaster-type-report-shows.

Collins M., Knutti R., Arblaster J., Dufresne J.L., Fichefet T., Friedlingstein P., Gao X., Gutowski W.J., Johns T., Krinner G. and Shongwe M. 2013. Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. In Climate Change 2013-The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1029-1136). Cambridge University Press.

Dannenberg M. P., Wise E. K., and Smith W. K. 2019. Reduced tree growth in the semiarid United States due to asymmetric responses to intensifying precipitation extremes. Science advances, 5(10): eaaw0667.

Döscher R., Acosta M., Alessandri A., Anthoni P., Arneth A., Arsouze T., ... and Zhang Q. 2021. The EC-earth3 Earth system model for the climate model intercomparison project 6. Geoscientific Model Development Discussions, 1-90.

IPCC. 2021. Summary for policymakers Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press (2021).

IPCC. 2013. Working Group, I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC.

O'Gorman P. A., and Schneider T. 2008. The hydrological cycle over a wide range of climates simulated with an idealized GCM. Journal of Climate, 21(15): 3815-3832.

Pall P., Allen M. R., and Stone D. A. 2007. Testing the Clausius–Clapeyron constraint on changes in extreme precipitation under CO 2 warming. Climate Dynamics, 28(4): 351-363.

Parker D. J. 2017. Flood warning systems and their performance. In Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science.

Tebaldi C., and Knutti R. 2007. The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. Philosophical transactions of the royal society A: mathematical, physical and engineering sciences, 365(1857): 2053-2075.

یادداشت تحلیلی

به مناسبت شعار روز جهانی آب برای سال ۲۰۲۲: « آب زیرزمینی، آشکار نمودن پنهان»
تشدید رخدادهای فرین و کاهش احتمالی تجدیدپذیری آب‌های زیرزمینی در ایران

کامران داوری؛ استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
k.davary@um.ac.ir

سازمان ملل برای توجه داد به اهمیت منابع آب کره خاکی، ۲۲ مارس (برابر با دوم یا سوم فروردین) را به عنوان «روز جهانی آب» نامگذاری نموده و هر سال آنرا گرامی می‌دارد. روز جهانی آب، رسماً و برای اولین بار در سال ۱۹۹۲ میلادی مطرح شد[1]. در این کنفرانس از کلیه کشورها خواسته شد تا در راستای اجرای بیانیه شماره ۲۱ سازمان ملل، این روز را به عنوان روز ترویج و آگاه‌سازی عموم در مورد اهمیت و ارزش والای آب اختصاص دهند.

با توجه به مصادف شدن این روز با تعطیلات نوروزی، امکان کافی برای بزرگداشت روز جهانی آب در ایران وجود ندارد. لذا، روز دیگری برای این منظور در تقویم ملی قرار داده شد: **سیزدهم اسفند!** در واقع با مراجعه به تاریخ معلوم می‌شود در ایران باستان «سیزدهم اسفندماه» به نام **نوروز آب‌ها** خوانده می‌شده است. در این روز مردم در کنار چشمه‌ها و رودها مراسم ویژه‌ای برپا می‌داشتند و گلاب در آب‌ها می‌فشاندند.

جمعیت ناجیان آب از سال ۱۳۸۹ در برگزاری «نشست‌های گفتگو محور» پیرامون موضوعات مغفول در مدیریت آب با عنوان عمومی «شب آب» در غروب ۱۲ اسفندماه، پیشگام در به احیای این مناسبت بوده است. در این نشست‌ها که عموماً با حمایت دانشگاه فردوسی مشهد برگزار شده است، از چهره‌های خدمتگزار آب قدردانی می‌گردید. اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران نیز از سال ۱۳۹۴ با ایجاد دبیرخانه دائمی در مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب به بزرگداشت روز ملی آب پرداخته است.

برنامه آب سازمان ملل[2] که در سال ۲۰۰۳ برپا شده است؛ هر ساله در روز جهانی آب شعار مشخصی را طرح و اعلان می‌نماید (جدول ۱). همچنین، هر ساله «گزارش جهانی توسعه آب[3]» توسط سازمان ملل متحد در روز جهانی آب منتشر می‌شود. این متن دربرگیرنده اطلاعات ارزنده‌ای متناسب با شعار سال است و به تصمیم‌گیران برای پایایی منابع آب توصیه و ابزار ارائه می‌دهد (شکل ۱).

جدول۱- شعار برنامه آب سازمان ملل در روز جهانی آب در سال‌های مختلف

سال	شعار	سال	شعار
۲۰۲۲	آب زیرزمینی، آشکار نمودن پنهان	۲۰۰۷	کمبود آب
۲۰۲۱	ارج گذاشتن به آب	۲۰۰۶	آب و فرهنگ
۲۰۲۰	آب و تغییر اقلیم	۲۰۰۵	آب برای زندگی (آغاز دهه: ۲۰۰۵-۲۰۱۵)
۲۰۱۹	هیچ کس را پشت سر نگذاریم (توجه به آسیب‌پذیری‌ها)	۲۰۰۴	آب و بلایای طبیعی
۲۰۱۸	طبیعت برای آب (توجه به راه‌حل‌های طبیعت محور)	۲۰۰۳	آب برای آینده
۲۰۱۷	چرا اتلاف آب؟ (توجه به استفاده مجدد و بازچرخانی)	۲۰۰۲	آب برای توسعه
۲۰۱۶	آب بهتر، اشتغال بهتر	۲۰۰۱	آب برای سلامتی، پذیرش مسئولیت
۲۰۱۵	آب و توسعه پایا	۲۰۰۰	آب برای قرن بیست و یکم
۲۰۱۴	آب و انرژی	۱۹۹۹	بسیاری در پایین دست زندگی می‌کنند
۲۰۱۳	همکاری آب	۱۹۹۸	آب‌های زیرزمینی، منابع نامرئی
۲۰۱۲	امنیت آب و غذا	۱۹۹۷	آب جهان، آیا کافی است؟
۲۰۱۱	آب برای شهرها	۱۹۹۶	آب برای شهرهای تشنه
۲۰۱۰	کیفیت آب	۱۹۹۵	زنان و آب
۲۰۰۹	آب های مرزی	۱۹۹۴	مراقبت از منابع آب، وظیفه همه است
۲۰۰۸	سال بین‌المللی بهداشت (و آب)		

این نهاد بین‌المللی، شعار امسال را «**آب زیرزمینی، آشکار نمودن پنهان**» اعلان نموده است. باید توجه نمود که آب زیرزمینی بزرگترین منبع آب شیرین کره زمین است. در واقع آب‌های زیرزمینی دربرگیرنده حدود ۹۹ درصد از آب شیرین مایع (و نه ذخایر جامد؛ یعنی یخ و برف موجود در قطب‌ها و یخچال‌ها) بر روی کره زمین هستند. علی‌رغم این اهمیت، از آنجا که آب زیرزمینی پنهان از دیدگان است، اغلب نادیده گرفته می‌شود. بنابراین، بسیار بجا بوده است تا برای به چشم آوردن این گنج پنهان، کارزاری توسط برنامه آب سازمان ملل متحد برپا شود. این کارزار بر سه موضوع اصلی در حوزه آب زیرزمینی تمرکز دارد: ۱) نقش این گنج پنهان در تأمین غذا؛ ۲) وجود آب‌های زیرزمینی مشترک بین کشورها (منبع بدون مرز)؛ و ۳) محدودیت این ذخایر بی‌همتا.

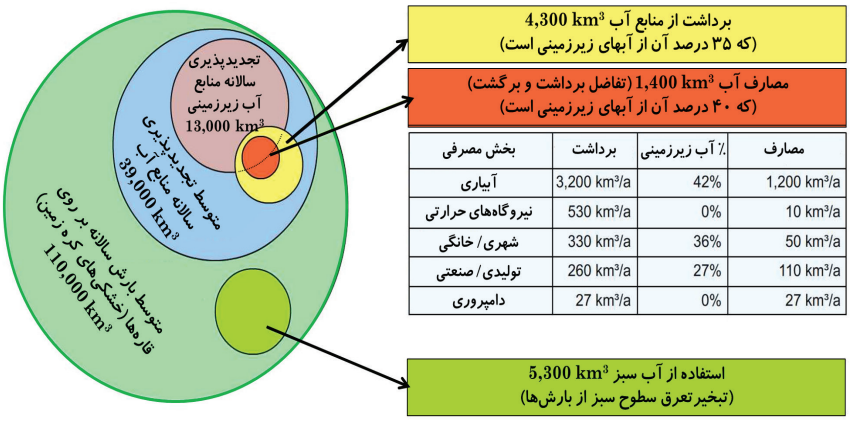
شکل۱- تصاویری از گزارش جهانی توسعه آب در روز جهانی آب در سال‌های مختلف

طی این سال (از ۲۲ مارس ۲۰۲۲ تا یک سال)، دو برنامه در حمایت از آب زیرزمینی اجرا خواهند شد:

۱) مرکز بین‌المللی ارزیابی منابع آب زیرزمینی[۴] که وابسته به یونسکو است، تدوین «کاتالوگ آب‌های زیرزمینی» را طی برگزاری فروم جهانی آب در داکار (سنگال) راه‌اندازی خواهد نمود. کاتالوگ آب‌های زیرزمینی با هدف ارائه اطلاعات/ توصیه‌هایی در مورد روش‌ها، اقدامات، و ابزارهای مدیریت آب‌های زیرزمینی تهیه می‌شود. لذا، این کاتالوگ دربرگیرندهٔ مباحث مرتبط با مدیریت تقاضا، حفاظت از آب‌های زیرزمینی و مشارکت گرودارن خواهد بود. به این ترتیب، کاتالوگ در امتداد توانمندسازی سیاستگذاران و تصمیم‌گیران در دستیابی به راه‌حل‌های مناسب برای مسائل مربوط به آب‌های زیرزمینی قرار خواهد داشت. در راستای این توانمندسازی، «مطالعات موردی» و «متون مرجع» در حوزه آب‌های زیرزمینی در تدوین کاتالوگ مورد توجه ویژه قرار خواهند گرفت.

۲) اجلاس «آب‌های زیرزمینی ۲۰۲۲» از ۶ تا ۸ دسامبر سال جاری در پاریس (فرانسه) برگزار خواهد گردید. این اجلاس، در بالاترین سطح بین‌المللی، انظار را به آب‌های زیرزمینی متوجه خواهد کرد؛ و انتظار می‌رود که سهم عمده‌ای در تفسیر شعار «آب زیرزمینی، آشکار نمودن پنهان» برای مدیریت و حفاظت بهتر آب زیرزمینی داشته باشد. این نشست از «گزارش توسعه جهانی آب، ۲۰۲۲» به عنوان یک چارچوب برای شتاب‌دهی به حرکت در امتداد SDG۶ (هدف ششم از اهداف توسعه پایا: «آب پاک و بهداشت»[۵]) استفاده خواهد کرد. هدف نشست، تبیین و تعریف سیاست‌ها و اقدامات برای استفاده بهینه و پایا و نیز حفاظت از این منبع حیاتی است. همچنین این نشست، یک پیام جامع و مورد وفاق در مورد آب زیرزمینی برای کنفرانس آب سازمان ملل متحد در مارس ۲۰۲۳ تدوین خواهد نمود. خوب است یادآوری شود که اجلاس آب سازمان ملل در مارس ۲۰۲۳، در واقع برای استماع گزارش میان‌دوره دهه بین‌المللی «اقدام آب برای توسعه پایا (۲۰۱۸ تا ۲۰۲۸)» و جمع‌بندی نتایج بدست آمده، برگزار می‌شود.

شکل (۲) برای درک بهتر اهمیت آب زیرزمینی در ابعاد مختلف فعالیت‌های بشر بر روی کره خاکی ارائه شده است (برگرفته از سایت ویکی‌پدیا[۶]). در نگاه سراسری همانطور که در تصویر مشخص است، میزان برداشت آب توسط بشر از منابع آب فقط سهمی حدود ۱۱٪ از تجدیدپذیری این منابع است. همچنین، از مجموع ۴۳۴۷ کیلومترمکعب آب برداشت شده، فقط ۱۳۹۷ کیلومتر مکعب (۳۲٪) مصرف (و لذا حدود ۶۸٪ برگشت) می‌شود.



بخش مصرفی	برداشت	٪ آب زیرزمینی	مصارف
آبیاری	3,200 km³/a	42%	1,200 km³/a
نیروگاه‌های حرارتی	530 km³/a	0%	10 km³/a
شهری/ خانگی	330 km³/a	36%	50 km³/a
تولیدی/ صنعتی	260 km³/a	27%	110 km³/a
دامپروری	27 km³/a	0%	27 km³/a

شکل۲- اهمیت آب زیرزمینی در ابعاد مختلف فعالیت‌های بشر بر روی کره خاکی

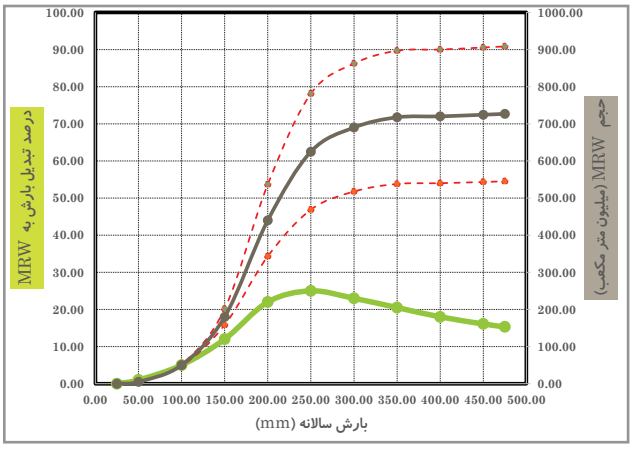
آب زیرزمینی در بخش بزرگی از ایران، حق مادری بر گردن تمدن دارد؛ زیرا تمدن ایرانی در این سرزمین خشک، فقط با نوشیدن و کشت کردن از آن بوده که به اوج رسیده است. اما متأسفانه امروزه اکثر آبخانه‌های ایران، دارای موازنه منفی (ممنوعه یا ممنوعه-بحرانی) هستند. این در حالی است که وابستگی به آب زیرزمینی در ایران بسیار بیشتر است (و در بیشتر مناطق مرکزی و شرقی کشور به ۸۰٪ می‌رسد؛ و حتی در برخی نواحی بالغ بر ۹۰٪ است). چنین شرایطی نشانگر بی‌توجهی شدید به این منابع حیاتی و نیز کوتاهی در مدیریت صحیح آب‌های زیرزمینی است؛ که همچنان ادامه دارد که نشانهٔ آن استمرار تغییرات نامطلوب است (افت تراز آب زیرزمینی، زوال کیفیت این آب‌ها، و نهایتاً نشست زمین). اعلام سال جاری به عنوان «**آب زیرزمینی، آشکار نمودن پنهان**» شاید فرصتی برای توجه بیشتر گرودارن آب زیرزمینی به مسئولیت‌ها باشد؛ و منجر به هم‌افزایی و وفاق برای جلوگیری از این تغییرات نامطلوب باشد (ان‌شاءالله).

در شکل (۳)، ارتباط تجدیدپذیری آبخانه (تغذیه آب زیرزمینی) با بارش‌ها به صورت مفهومی نمایش داده شده است. این تصویر مفهومی، برای منطقه‌ای با بارش سالانه ۲۵۰ میلیمتر تصویر شده است؛ که در آن MRW یا «آب تجدیدپذیر تحت مدیریت»، یا همان میزان آب قابل تخصیص (برای اکوسیستم و نیازهای بشر) است. مکانیزم تبدیل بارش به «آب تجدیدپذیر تحت مدیریت»، عمدتاً از طریق تغذیه آبخانه وقوع می‌یابد؛ که سپس به صورت جریان‌های فصلی و دبی پایه یا جریان چشمه‌ها و قنوات آشکار می‌گردد و در دسترس بشر قرار می‌گیرد.

البته باید توجه داشت که MRW مقدار ثابتی نیست، زیرا هم به‌دلیل نوسانات آب و هوایی (کاهش و افزایش بارش‌ها، محور افقی در شکل) و هم به‌دلیل نوع بارش‌ها (دامنه عمودی نمایش داده شده در شکل) دچار تغییر می‌گردد. در واقع تبدیل بارش به MRW تابع نوع رخداد هر بارش (شدت و عمق) و نیز وضعیت دما و رطوبت پیشین خاک است. با توجه به این عدم‌قطعیت، برای حفظ «تاب‌آوری» توسعه ضروری است که پس از کسر نیاز اکوسیستم، برای تخصیص آب به نیازهای بشری فقط بر روی درصدی از MRW که وقوع آن قطعیت بیشتری دارد، حساب باز شود.

روند جاری تغییر اقلیم (که بنابر مدل‌سازی‌های اخیر تا سال ۲۱۰۰ ادامه خواهد داشت)، موجب افزایش دما در اکثر مناطق کشور و به‌ویژه در مرکز و شرق کشور خواهد گردید. افزایش دما در فصول زمستان و بهار بیشتر است، که موجب افزایش سهم تبخیر و تبخیرتعرق از بارش‌ها (و کاهش تجدیدپذیری منابع آب) می‌گردد. توجه به این روند و برآورد اثر آن بر تجدیدپذیری منابع آب زیرزمینی، آشکار می‌سازد که اگر مدیریت آب‌های زیرزمینی بر همین منوال باشد، روند تغییرات نامطلوب تشدید خواهند گردید.

علاوه بر این، روند تغییر اقلیم منجر به تشدید رخدادهای فرین گشته و خواهد گردید. این تشدید نیز موجب کاهش بیشتر تجدیدپذیری منابع آب زیرزمینی خواهد گردید. در واقع آب زیرزمینی در خشکی‌های کره زمین به مثابه سازوکاری برای تنظیم جریان آب عمل می‌نماید (تغذیه در دوره‌های پر بارش، و تخلیه در دوره‌های خشک). با تشدید وقایع فرین این نقش کاهش می‌یابد. زیرا در ترسالی‌ها و بارش‌های حداکثری، رواناب‌ها بصورت تندآب و سیلاب از دسترس خارج می‌شوند و فرصت کافی برای نفوذ (و تغذیه آبخانه) وجود ندارد؛ و در مقابل، در خشکسالی‌ها آبی برای نفوذ و تغذیه وجود ندارد. لذا، تواتر بیشتر این دو موجب از دست رفتن فرصت تغذیه آب زیرزمینی خواهد گردید. بدیهی است که افزایش مصنوعی نفوذ سیلاب‌ها نیز منجر به افزایش تغذیه آبخانه (و افزایش MRW) می‌گردد. بهترین این روش‌ها، ایجاد بندهای کوچک متوالی در مسیر آبراهه‌های کوهستانی با سازه‌های آب‌گذر، مانند تورسنگ (گابیون) و یا سنگ‌چین، است.



شکل۳- ارتباط تجدیدپذیری آبخانه (تغذیه آب زیرزمینی) با بارش‌ها

پی‌نوشت

۱- در کنفرانس «محیط‌زیست و توسعه» که توسط سازمان ملل در شهر ریودوژانیرو کشور برزیل برگزار گردید.

2-UN-Water

3-World Water Development Report

4-igrac

۵- مأموریت این هدف «اطمینان از فراهمی و مدیریت پایای آب و بهداشت برای همه» است؛ که عمدتاً متکی بر «مدیریت منابع-مصارف آب» است.

6-https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Global_Values_of_Water_Resources_and_Water_Use.jpg

گزارش

گزارشی از ششمین وبینار کمیته فنی IAHR به مناسبت روز جهانی آب

مائده اسکوهی، دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران (maedeh.oskouhi@mail.um.ac.ir)

کمیته فنی IAHR[1]، ششمین وبینار خود را به مناسبت روز جهانی آب (World Water Day) با عنوان «چالش‌های امنیت جهانی آب: با استفاده از هیدروانفورماتیک به‌منظور دستیابی به راه‌حل‌ها[2]» در تاریخ ۱۶ مارس ۲۰۲۲ برگزار نمود. در این نشست با تمرکز بر راه‌حل‌های هیدروانفورماتیک به چالش‌ها و فرصت‌های امنیت جهانی آب پرداخته شده است. این موضوع سبب شد تا متخصصان حوزه هیدروانفورماتیک را در IAHR گرد هم آورد. متن زیر گزیده‌ای است از سخنرانی‌های مجازی که در این وبینار ارائه شد.

این نخستین وبینار با محوریت امنیت جهانی آب است که توسط آکادمی مهندسی چین پشتیبانی گردید. وبینار توسط پروفسور Roger Falconer (رئیس سابق IAHR) و پروفسور Arthur Mynett (معاون سابق IAHR) مدیریت شد. پروفسور Dragan Savic، از موسسه تحقیقات آب KWR هلند، نخستین سخنرانی این وبینار را با عنوان «مروری بر فرصت‌های حل چالش‌های جهانی امنیت آب از طریق هیدروانفورماتیک» ارائه نمود. این پژوهشگر سه دیدگاه زیر را با استفاده از برنامه‌های کاربردی در مدیریت کشاورزی و مدیریت آب شهری برای بیان دیدگاه‌های خود ارائه نمود که عبارت‌اند از: ۱) راه‌حل‌های هیدروانفورماتیک تا حد زیادی در دسترس هستند. ۲) در حال حاضر بخش آب، از تحولات هیدروانفورماتیک و دیجیتال برخوردار می‌باشد. ۳) به‌منظور رفع نیازهای انسان، کاربرد اتوماسیون به معنای تاکید بر آموزش بیشتر است. وی در ادامه، به فناوری دوقلوهای دیجیتالی (digital twins)[3] اشاره نمود که اطلاعات زمان واقعی را بر اساس وضعیت فعلی ارائه می‌دهند و یکی از زمینه‌های کلیدی برای آینده را رباتیک معرفی نمود. همچنین پروفسور Dragan Savic، نتیجه گرفت که هیدروانفورماتیک، تنها فناوری قلمداد نمی‌گردد، اگرچه در حال حاضر کاربردهای زیادی در زمینه‌های مختلف آن ارائه گردیده است؛ لذا تحقیقات و پیشرفت‌های بیشتری در این زمینه ضروری است.

دکتر Gina Tsatouchi، از مؤسسه پارک کسب و کار HR Wallingford انگلستان، سخنرانی خود را با عنوان «چگونه داده‌های ماهواره‌ای و پیش‌بینی دسترسی به آب، به پیش‌بینی شیوع تب دنگی[4]، کمک می‌کند» ارائه نمود. وی پس از تأکید بر اهمیت تغییر اقلیم و دسترسی به آب در گسترش تب دنگی با اشاره به عدم وجود این عوامل در مدل‌های پیش‌بینی گذشته، مدل پیش‌بینی آماری را معرفی نمود که شامل: داده‌های پیش‌بینی آب و هوا، داده‌های پیش‌بینی دسترسی به آب و داده‌های ماهواره‌ای (از جمله: بارندگی، دما، رطوبت خاک و ...) می‌باشد.

سپس کاربردی عملی از مدل برای مطالعه در ویتنام گزارش شد، جایی که نشان داده شد این مدل دقت پیش‌بینی بالایی را ارائه می‌دهد و مرجع مثبتی برای دولت فراهم می‌کند تا اقدامات مربوطه را برای کاهش خطرات تب دنگی انجام دهد.

همچنین دکتر Gina Tsatouchi، تأکید نمود که چالش‌های متعددی در زمینه کاربرد فناوری ماهواره‌ای وجود دارد و هنوز درک کاملی از فرصت‌هایی که فناوری فضایی می‌تواند ارائه دهد، وجود ندارد.

پروفسور Vladan Babovic، از دانشگاه ملی سنگاپور، در ارائه خود با عنوان «ابزارهای کلیدی مدیریت آب برای قرن ۲۱» به معرفی عصر ماشین اول و دوم پرداخته است. این پژوهشگر در مورد توسعه هوش مصنوعی خوش‌بین و معتقد بود که ترکیب انسان و هوش مصنوعی بهتر از کار کردن به‌تنهایی عمل می‌کند. بنابراین، اگر ما ابزارهای هوش مصنوعی مناسبی را برای صنعت آب و مدیران آب فراهم نماییم؛ آنگاه انتظار دستیابی به درجه بسیار بالاتری از امنیت آبی برای همه وجود خواهد داشت.

پروفسور Qiuwen Chen، از موسسه تحقیقاتی هیدرولیک نانجینگ چین، در مورد «یادگیری عمیق و همسان‌سازی داده‌ها در پیش‌بینی شکوفه جلبکی دریاچه (Lake Algal Bloom)[5]» سخنرانی نمود. وی ابتدا به تشریح تأثیر فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی بر شکوفایی جلبک‌های دریاچه پرداخت و سپس جزئیات مدل‌های پیش‌بینی شکوفه‌های مضر جلبکی را معرفی نمود و نحوه ادغام مجموعهٔ داده‌ها از منابع مختلف از طریق روش‌های همسان‌سازی داده‌ها را توضیح داد. این پژوهشگر در ادامه بیان نمود که چگونه یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی می‌توانند پیش‌بینی مؤثرتری از وقوع شکوفه‌های جلبکی دریاچه را ارائه نمایند و بیان نمود که در مدل‌های سنتی معایب زیادی برای پیش‌بینی شکوفه‌های جلبکی وجود دارد و مدل‌های یادگیری عمیق از طریق شبیه‌سازی فرآیندها بر اساس استفاده از داده‌های چند منبعی، باعث بهبود پیش‌بینی‌ها می‌شوند. در این راستا، در بخش پرسش و پاسخ این وبینار به موارد زیر از قبیل: بحث درباره رابطه بین دسترسی به آب، شرایط خاص آب- هواشناسی و انتقال بیماری، ربات‌های مستقل و شناسایی نشت، همچنین ظرفیت عموم افراد جامعه برای درک جزییات پیچیده این رویداد، پرداخته شده است.

1-International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR)

2-The Challenges of Global Water Security: Using Hydroinformatics to Obtain Solutions

۳- دوقلوی دیجیتال، نمایش دیجیتالی یک جسم فیزیکی، فرآیند یا سرویس است. یک همزاد دیجیتال می‌تواند یک کپی دیجیتالی از یک شیء در دنیای فیزیکی مانند موتور جت، نیروگاه‌های بادی، یا حتی موارد بزرگ‌تر مانند ساختمان‌ها یا حتی کل شهر باشد. همچنین از فناوری دوقلوهای دیجیتال می‌توان برای تکثیر فرآیندها به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها برای پیش‌بینی عملکرد آن‌ها استفاده نمود. در واقع یک همزاد دیجیتال، یک برنامه رایانه‌ای است که با استفاده از داده‌های دنیای واقعی، شبیه‌سازی‌هایی را ایجاد می‌کند که می‌توانند عملکرد یک محصول یا یک فرآیند را پیش‌بینی کنند. این برنامه‌ها می‌توانند با کمک اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی، تجزیه و تحلیل نرم‌افزارها، میزان خروجی را افزایش دهند. با پیشرفت یادگیری ماشین و عواملی شامل داده‌های بزرگ، این مدل‌ها و الگوهای مجازی به یک اصل مهم در مهندسی مدرن برای ایجاد نوآوری و بهبود عملکردها تبدیل شده‌اند.

4-Dengue Fever

۵- شکوفایی جلبکی به معنی رشد آنی یا انباشت در تعداد جلبک‌ها در یک سیستم زیست‌آبی است. شکوفایی جلبکی منحصر به محیط‌های دریایی نیست و ممکن است در آب‌های شیرین نیز رخ دهد. به طور معمول تنها یک یا تعداد اندکی از گونه‌های فیتوپلانکتون درگیر فرآیند شکوفایی جلبکی هستند.

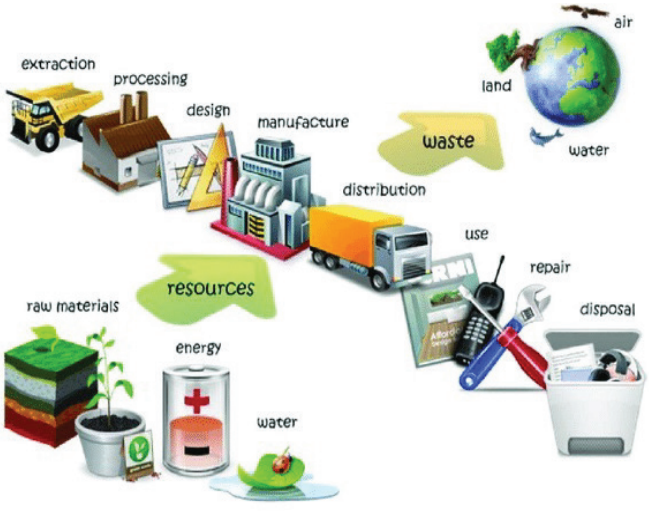
گزارش

گزارش برگزاری کارگاه آموزشی «ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پروژه‌های آب و فاضلاب با رویکرد چرخه حیات (LCA)»

به کوشش: ثمانه توکلی امینیان؛ مدیر دفتر توسعه پایدار، مدیریت مصرف و مطالعات اجتماعی شرکت آب و فاضلاب مشهد، ایران.
محسن کدخدایی؛ کارشناس توسعه پایدار شرکت آب و فاضلاب مشهد، ایران.
رایانامه: s&d@abfamashhad.ir

در این کارگاه که به همت انجمن آب و فاضلاب ایران برگزار گردید، ابتدا به معرفی چرخه حیات و کاربرد آن در ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پرداخته شد. سپس در ادامه مثالی از کاربرد این روش در یک تصفیه‌خانه فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت. بخش پایانی کارگاه نیز به پرسش و پاسخ شرکت‌کنندگان و مدرس دوره اختصاص یافت. در ادامه خلاصه‌ای از مباحث مطرح شده در این کارگاه ارائه می‌گردد:

ارزیابی چرخه حیات (LCA) روشی است که در آن تمامی آثار محیط‌زیستی مرتبط با محصول در کل چرخه حیات آن ارزیابی می‌شود. این روش رویکرد گهواره تا گور است که با جمع‌آوری مواد خام از زمین آغاز شده و با برگشت محصول مصرف شده به زمین پایان می‌یابد. روش LCA در ارزیابی همه ورودی‌ها و خروجی‌های محصول، ارزیابی مواد موثر، اثرات محصول بر بهداشت انسان، آثار بوم‌شناختی و تفسیر نتایج ارزیابی به کار می‌رود.

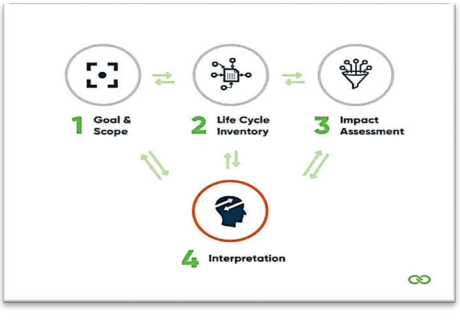


کاربردهای روش LCA

- شناخت امکان بهبود عملکرد محیط‌زیستی محصولات از جهات مختلف در طول عمر آن‌ها
- آگاه‌سازی تصمیم‌گیرندگان در صنعت و شرکت‌های دولتی و خصوصی (به عنوان مثال برای هدف برنامه‌ریزی استراتژیک، اولویت‌بندی، طراحی یا بازطراحی محصولات یا روند کار)
- انتخاب شاخص‌های مرتبط با عملکرد محیط‌زیستی، شامل روش‌های اندازه‌گیری
- بازاریابی

فازهای اصلی در مطالعه به روش LCA

۱- فاز تعریف هدف و محدوده
۲- فاز آنالیز فهرست و سیاهه‌نویسی
۳- فاز ارزیابی اثرات
۴- فاز تفسیر نتایج



در فاز اول هدف از انجام تحقیق، علت انجام تحقیق، افراد متأثر از نتایج تحقیق، روند کار سیستم، نحوه جمع‌آوری داده‌ها، معرفی واحد عملیاتی انتخابی، روش ارزیابی، نحوه تعریف مرزهای سیستم (زمانی و مکانی) و فرضیات و محدودیت‌ها تشریح می‌شوند.

از ویژگی‌های واحد عملیاتی انتخابی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- بر اساس هدف و محدوده تعیین می‌شود.
- واحدی است که ورودی‌ها و خروجی‌ها بر اساس آن نرمال‌سازی می‌شوند. (به عنوان مثال ۱ متر لوله یا ۱ متر مکعب آب در نظر گرفته می‌شود و تمامی محاسبات برای واحد مذکور انجام می‌شود)
- باید کاملاً قابل تعریف و محاسبه باشد.
- مقایسه‌ها در سیستم براساس یک (یا چند) واحد عملیاتی انتخابی انجام شود.

مرز سیستم بر اساس هدف و محدوده تعیین می‌شود. چرخه عمر هر محصول به بخش‌های مختلفی شامل جمع‌آوری مواد اولیه و خام، حمل و جابه‌جایی به کارخانه، ساخت و تولید، فرآیند استفاده و بازیافت یا دور ریختن آن‌ها تقسیم می‌شود. مرزهای سیستم مشخص می‌کند که کدام یک از این بخش‌ها در فرآیند ارزیابی در نظر گرفته شدند و علت این موضوع چه بوده است. همچنین دلیل در نظر نگرفتن سایر بخش‌ها را توضیح می‌دهد.

در فاز دوم که فاز آنالیز فهرست و سیاهه‌نویسی نام دارد، فهرست داده‌های ورودی/خروجی با توجه به سیستم و مرزها و اهداف آن نوشته می‌شود. داده‌ها بر اساس واحد عملیاتی محاسبه می‌شوند و مرجع آن‌ها نیز می‌بایست مشخص باشد. مواردی که در این فاز در نظر گرفته می‌شوند شامل:

- ورودی‌ها مثل انرژی، مواد خام و غیره

- جابه‌جایی‌ها و حمل مواد از کارخانه به محل نصب
- خروجی‌ها به خاک، آب و هوا (به عنوان مثال در فرآیند تصفیه فاضلاب، گازهایی مانند متان به هوا خارج می‌شوند)
- زائدات

در فاز سوم که فاز ارزیابی اثرات نام دارد، هدف اصلی فراهم کردن اطلاعات بیشتر به منظور کمک به ارزیابی اثرات سیستم و فهم دقیق‌تر اثرات محیط‌زیستی می‌باشد. از جمله روش‌های ارزیابی اثرات می‌توان به CML 2002، Eco-Indicator 99، EDIP97، EDIP2003، EPS 2000 و... اشاره نمود. به طور کلی این روش‌ها به دو دسته اصلی روش‌های نقطه‌ی میانی (Midpoint methods) و پایانی (Endpoint methods) تقسیم می‌شوند. به روش نقطه‌ی میانی ارزیابی چرخه حیات، رویکرد مسئله محور (Problem-oriented approach) یا روش ارزیابی کلاسیک اثرات نیز می‌گویند.

نقطه میانی به دسته‌ای از شاخص‌ها که در وسط مسیر اثرات، بین نتایج فاز دوم و نقطه‌ی پایانی، قرار دارند اشاره دارد. از جمله اثرات میانی تغییر اقلیم، گرمایش جهانی، اسیدی شدن، نازک‌شدن لایه ازن و غیره می‌باشد. روش نقطه پایانی که با عنوان رویکرد خسارت محور (Damage-oriented approach) شناخته می‌شود، نقطه‌ی اثراتی است که در انتهای مسیر اثر قرار دارند (سلامت انسان، کیفیت محیط‌زیست طبیعی و منابع طبیعی). هر دو روش معرفی شده اطلاعات خوبی را از ارزیابی محیط‌زیستی در اختیار تصمیم‌گیرندگان می‌گذارند. لازم به ذکر است که رویکرد نقطه‌ی پایانی پیچیدگی کمتری داشته و دارای سطوح بالاتری از عدم قطعیت است. همچنین روش نقطه‌ی میانی از نظر تفسیر نتایج مشکل‌تر می‌باشد.

آخرین فاز، مربوط به تفسیر نتایج چرخه عمر است که در آن پیرامون نتایج دو مرحله قبل بحث می‌شود و در نهایت به نتیجه‌گیری، پیشنهادات و تصمیم‌گیری مطابق با محدوده و هدف کار منجر می‌شود.

معرفی نرم‌افزار SimaPro

این نرم‌افزار یکی از رایج‌ترین ابزارهای مورد استفاده در ارزیابی اثرات چرخه حیات است که به صورت حرفه‌ای برای جمع‌آوری، ارزیابی و نظارت بر عملکرد پایداری محصولات و خدمات مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربردهای این نرم‌افزار شامل موارد نظارت بر عملکرد پایداری شرکت‌ها و محصولات، ارزیابی رد پای کربن، ارزیابی رد پای آب، طراحی محصول و طراحی اقتصادی، اظهارنامه محیط‌زیستی محصول، گزارش محیط‌زیستی و تعیین شاخص‌های عملکرد اصلی می‌باشد. با استفاده از این نرم‌افزار به راحتی می‌توان چرخه حیات‌های پیچیده را به روش سیستماتیک و شفاف مدل‌سازی و ارزیابی نمود. همچنین می‌توان اثرات محیط‌زیستی محصول و سرویس را در طول کل فازهای حیات آن اندازه‌گیری و نقاط مهم در تمام جنبه‌های زنجیره تأمین را شناسایی کرد. این نرم‌افزار در دو نسخه تجاری و آموزشی موجود است که نسخه آموزشی با هزینه کم‌تری در دسترس بوده اما امکان استفاده از شرایط عدم قطعیت را ندارد. SimaPro تعداد زیادی از روش‌های نقطه میانی و پایانی ارزیابی اثرات را در خود جای داده که می‌توان با توجه به نیاز از آن‌ها استفاده نمود. ساختار کلی این نرم‌افزار شامل توصیف، نرمال‌سازی و وزن‌دهی می‌باشد. طبق استاندارد ایزو، نرمال‌سازی و وزن‌دهی از گام‌های اختیاری در مرحله ارزیابی اثرات چرخه حیات است. از ویژگی‌های جالب این نرم‌افزار محیط کاربرپسند آن است. همچنین می‌توان با چند کلیک نتایج به دست آمده را ردیابی نموده که منجر به سهولت در تفسیر نتایج نیز می‌گردد.

جهت کسب اطلاعات بیشتر و مشاهده کارگاه برگزار شده، می‌توانید به لینک زیر مراجعه نمایید:

https://www.aparat.com/v/W8P7J

فراخوان اولویت‌های پژوهشی و فناوری سال ۱۴۰۱ شرکت آب وفاضلاب مشهد

شرکت آب و فاضلاب مشهد درراستای مرتفع ساختن چالش‌ها و مسائل مرتبط با صنعت آب و فاضلاب و انجام طرح‌های پژوهشی کاربردی، مطابق روال همه ساله اقدام به احصاء نیازهای پژوهشی از طریق برگزاری جلسات هم‌اندیشی با حضور مدیران و کارشناسان حوزه‌های مختلف در پایان سال ۱۴۰۰ نموده است. در همین راستا، اولویت‌های تحقیقاتی سال ۱۴۰۱ در قالب دو گروه **اولویت‌های پژوهشی** و **اولویت‌های فناورانه** تعیین و پس از اخذ تصویب نهایی از سوی وزارت نیرو از ابتدای اردیبهشت‌ماه سال جاری در پورتال تحقیقات این شرکت بارگذاری خواهد شد.

لذا، از کلیه اعضای هیأت علمی دانشگاه‌ها و موسسات پژوهشی، دانشجویان دوره‌های تحصیلات تکمیلی، مخترعین، واحدهای فناور، شرکت‌های دانش‌بنیان و کلیه پژوهشگران حوزه آب و فاضلاب به‌منظورانجام طرح‌های پژوهشی و فناوری این شرکت دعوت به همکاری می‌گردد. علاقمندان می‌توانند ضمن مراجعه به **پورتال تحقیقات شرکت آب و فاضلاب مشهد** و آگاهی از اولویت‌های پژوهشی در **سامانه جامع نرم‌افزاری تحقیقات (محقق)** ثبت نام نموده و نسبت به ارائه پروپوزال اقدام نمایند.

به نقل از: گروه تحقیقات و فناوری شرکت آب و فاضلاب مشهد

تاریخ بارگذاری اولویت‌های ۱۴۰۱ در پورتال تحقیقات: اول اردیبهشت‌ماه
نشانی پورتال تحقیقات آبفا مشهد: https://rd.abfamashhad.ir
نشانی سامانه محقق آبفا مشهد: https://research.abfamashhad.ir

In the Name of Allah

Journal of
Water and Sustainable Development

Volume 8 - Issue 4 (Serial No. 22) - March 2022

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. This journal is an output of joint scientific activities between Ferdowsi University of Mashhad and the Hydraulic Association of Iran.

Grantee: College of Agriculture , Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Manager in Charge: Shahnooshi Foroushani, N. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Editor in Chief: Davary, K. Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board
Alidadi, H. Prof., Mashhad University of Medical Sciences
Ansari, H. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Bagheri, A. Asso. Prof., Tarbiat Modares University
Esmaili, K. Asso. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jolaini, M. Asso. Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi
Morid, S. Prof., Tarbiat Modares University
Nassery, H.R. Prof., Shahid Behesti University, Tehran

Guiding Council
Sayahi, A., Assistance of research and industrial relations center of National Water and Wastewater Engineering Company (Chairman of the council)
Esmailian, H., Managing director of Mashhad Water & Wastewater Company
Taheri, A., Managing director of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company
Mousavi, S. Y., Secretary of water Think tank at Iran Water Resources Management Company
Shahnooshi Foroushani, N., Manager in charge
Davary, K., Editor in chief

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

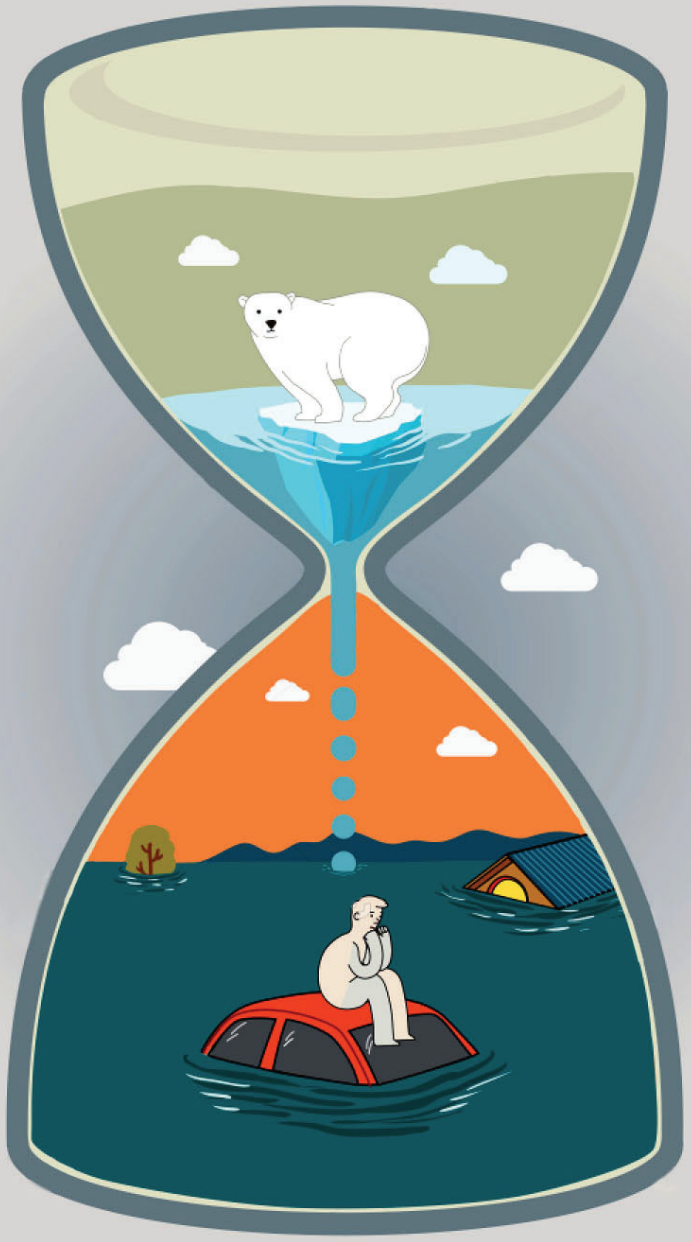
Executive Expert: Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.
Editor: Quchanian, M., Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F., Oskouhi, M.
Graphic: Shaikhi, M.R.
Order of publication: Quarterly
Publisher: Ferdowsi University of Mashhad
ISSN: 2423-5474
Website/E-Mail: https://jwsd.um.ac.ir/ Email:jwsd@um.ac.ir
Address: Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. P.O.Box: 91775- 1163
Sponsor: Mashhad Water & Wastewater Company

Journal of
Water and Sustainable Development
Volume 8 -Issue4 (serial No.22) - Winter 2022

Articles in issue:

- **Investigating Effective Factors on Participation in Management of the Ghale-Chay Irrigation and Drainage Network**
  H. Yadavar
- **Identifying and Investigating the Factors Affecting Household Water Consumption with the Fuzzy Delfi and Topsis Hybrid Approach**
  H. Dadashi Divkolaei, A. Sorayaei, S. A. Nabavi Chashmi
- **Investigating the Effective Factors on the Acceptance of New Irrigation Technologies Among Farmers in Sistan Region**
  M. Salarpour, M. Davarpanah, G. Zare
- **Identification and Prioritization of Factors Affecting Water Scarcity in Kermanshah Province with Analytic Hierarchy Process (AHP)**
  J. Fathollahi, S.M.B. Najafi, SH. Farhangian
- **Interaction of Applied Water Volume and Irrigation Water Salinity on Wheat Yield in Arid Regions (Case study: Yazd)**
  M. H. Rahimian, H. Gholami, Gh. H. Ranjbar, H. Beyrami, B. Moravvej ol Ahkami, M. Karimi, S.A.M. Cheraghi
- **Investigation of Applied Water, Yield and Water efficiency of Potato Fields in the Conditions of Farmers in Razavi Khorasan Province**
  M. Joleini, M. Karimi, J. Baghani
- **Estimation of the Velocity Distribution in Circular Pipe with Velocity Measurement at Two Points Using the Renyi Entropy**
  M. Teymouri Yeganeh, M. M. Heidari
- **Filter Performance of Embankment Dams by No Erosion Filter Test (Case study: Bar and Bidvaz Dam)**
  A.R. Raeisosadat , A. Akhtarpour, M. Nazari
- **Investigation on Efficiency of Response Surface Methodology (RSM) to Optimize Coagulation Process for Arsenic Removal from Water**
  M. Mirshahi, M. Irandost
- **Challenges of Applying Sustainable Environmental Operations Among Wheat Farmers in Khorramabad**
  M. Savari, F. Naghibeiranvand
- **Concept, Application, and Approaches of Watershed Hydrological Resilience Assessment**
  V. Amanjahani, Z. Hazbavi, R. Mostafazadeh, A. EsmaliOuri, B. Moezzipour
- **Flood Management in the Eighth District of Herat City using Low Impact Development and Their Evaluation with EPA-SWMM Model**
  S. Samim, F. Hajian, D. Moazami

ISSN (Print): 2423-5474



وزارت نیرو
شرکت آب و فاضلاب مشهد

دانشگاه فردوسی مشهد