بررسی عوامل مبهم در تخصیص آب شبکه آبیاری سد سیستان

احسان محمدی[۱]، معصومه دلبری[2*]، بهروز ابول‌پور[۳]، پیمان افراسیاب[۴]، ام البنی محمدرضاپور[۵]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۵

مقاله برگرفته از پایان‌نامه مقطع دکتری

چکیده

در سیستم‌های سنتی آبیاری، مدیریت نامناسب تخصیص آب سبب ضعف عملکرد شبکه آبیاری، افزایش تلفات و کاهش بهره‌وری مصرف آب (CWP) می‌شود. استفاده از مدل‌های غیر خطی در کنار استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند موجب تقویت مدیریت شبکه آبیاری در شرایط عدم قطعیت شود. هدف این پژوهش بررسی تخصیص بهینه آب و بررسی دلایل عدم افزایش بهره‌وری مصرف آب در بخش‌های مختلف شبکه توزیع آبیاری می‌باشد. در این راستا، در مرحله اول نقاطی از شبکه توزیع آب که اثرات بیشتری بر تغییرات بهره‌وری مصرف آب داشته، شناسایی شدند. سپس مقدار CWP به یک مقدار بهینه در شرایط عدم قطعیت ارتقا داده شد. برای این منظور از مدل‌های برنامه‌ریزی فازی برای تخصیص آب شبکه آبیاری سد سیستان متناسب با تغییرات مکانی نیاز آبی آن شبکه، استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار CWP مزارع گندم برابر ۰/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب و در نقاطی از شبکه با دامنه تغییرات تلفات دبی ۳۶۰ تا ۴۰۰ لیتر بر ساعت بر متر است. مشاهدات در نقاط بحرانی نشان داد که مقدار CWP لزوماً به مقدار محصول بستگی ندارد؛ بلکه به عوامل مدیریتی در شبکه آبیاری و مساحت مزارع نیز وابسته است. بنابراین، مناطقی با CWP بهینه می‌توانند به‌عنوان الگوهای مناسبی در افزایش ضریب مدیریتی در نظر گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، تخصیص آب، برنامه ریزی فازی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدیریت توزیع آب

[۱] دانشجو دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران. Mohammadi0508@gmail.com
[2] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران. masoomeh.delbari@uoz.ac.ir (نویسنده مسئول)
[۳] استاد بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران. abolpuor@gmail.com
[۴] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران. peyman.afrasiab@uoz.ac.ir
[۵] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، زابل، ایران. nmohammadrezapuor@yahoo.com

مقدمه

عدم توجه به توزیع مناسب آب در شبکه های آبیاری باعث پایین آمدن سودمندی و عملکرد آن می شود. برای دست‌یابی به عملکرد بهینه در شبکه آبیاری، علاوه بر کاهش تلفات انتقال و توزیع آب در کانال ها، تخصیص و توزیع آب به سطح مزارع باید متناسب با نیاز آبی آن ها باشد. بهره‌وری مصرف آب (CWP[1]) تابعی از عملکرد و میزان آب مصرفی در مزارع است. توزیع نامناسب آب در سطح مزرعه، کاهش تولید بر اثر کمبود آب و حتی آبیاری بیش از حد نیاز محصولات باعث کاهش بهره‌وری آب می‌گردد (Abolpour, 2018). این امر در نهایت علاوه بر مصرف بی‌رویه آب، بر هم زدن تعادل عرضه و تقاضای آب و نارضایتی کشاورزان را به‌دنبال دارد. سنتی بودن شبکه‌های توزیع آب عملاً این معضل را تشدید کرده و عملکردهای نامطلوبی در این‌گونه شبکه‌ها به‌دنبال دارد. با توجه به این مشکلات و هم‌چنین محدود بودن منابع آب، استفاده از روش های بهینه سازی برای برنامه‌ریزی تخصیص آب در کانال‌های توزیع شبکه آبیاری و سطوح مزارع ضروری می‌باشد.

یکی از روش های مهم در بهینه سازی تخصیص آب، برنامه‌ریزی بین منبع قابل دسترس و نیاز آبی محصولات می‌باشد. عدم تعادل بین منابع آب قابل دسترس و تقاضای آب که اغلب بخاطر تغییرات مکانی و زمانی مدل‌های تخصیص آب حاصل می گردد، محدودیت اصلی توسعه اقتصادی در مناطقی است که با کمبود آب مواجه‌اند. این عوامل باعث کاهش عملکرد و بازده آبیاری در این گونه مناطق شده است. در دهه‌های اخیر، مطالعات زیادی در زمینه مشکلات تخصیص منابع آب انجام شده و مدل‌ها و الگوریتم‌های زیادی توسعه یافته‌اند اما در آنان کمتر به برنامه‌ریزی تخصیص آب توجه شده است (Abolpour et al., 2007; Mohammadrezapour et al., 2017).

در شرایطی مانند شرایط حاکم بر کشور که محدودیت منابع تولید وجود دارد، نباید صرفاً حداکثر کردن عملکرد یا سود خالص مورد نظر باشد، بلکه بایستی علاوه بر آن ارتقا راندمان مصرف آب نیز مورد نظر باشد (Hassanli et al., 2016). از طرفی بهبود راندمان مصرف آب پیچیده بوده و تنها شامل فعالیت‌های کشاورزی نمی‌باشد، بلکه فعالیت‌های اجتماعی، اقتصادی، هیدرولوژیکی و انسانی را نیز شامل می‌شود. شاخص راندمان آبیاری به تنهایی بیان‌گر استفاده بهینه از آب نیست، از این رو در دهه اخیر به‌تدریج شاخص بازده آبیاری جای خود را به شاخص جدیدی مانند شاخص بهره‌وری آب داده است. بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص های ارزیابی دو وجهی در مصرف بهینه آب می‌باشد که در سال‌های اخیر در ارزیابی عملکرد شبکه‌های توزیع آب مورد توجه قرار گرفته است (Menichini and Rosati, 2013). هدف از ارائه مفهوم بهره‌وری مصرف آب، برنامه‌ریزی و تخصیص بهینه آب همراه با صرفه‌جویی در مصرف و بهبود بهره‌وری آب است. افزایش بهره‌وری مصرف آب یکی از راه‌کارهای مدیریت و تخصیص آب در بخش کشاورزی و افزایش بازده مصرف آن است (Abolpour, 2018).

برخلاف روش‌های میان‌یابی کلاسیک، روش‌های مبتنی بر زمین آمار[2] با در نظر گرفتن ارتباط بین نقاط و موقعیت مکانی آن‌ها، اغلب دقت قابل قبولی را عرضه می‌دارند. با توجه به اینکه عوامل مؤثر در بهره‌وری مصرف آب یعنی میزان عملکرد و میزان آب در دسترس دارای تغییرات زمانی و مکانی می‌باشند. لذا استفاده از روش های بهینه‌سازی در کنار علم زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[3]) می‌تواند موجب تقویت عملکرد پروژه‌های آبیاری و تخصیص آب شود. تعیین یک روش مناسب جهت میان‌یابی و پهنه‌بندی داده‌ها نیاز به حجم زیادی از داده‌های کیفی و جغرافیایی دارد. در این بین GIS با ظرفیت ذخیره‌سازی، سازمان‌دهی، تحلیل، بازیابی، نمایش و تهیه خروجی‌های مناسب، به‌عنوان ابزاری کار آمد است

[1] Crop water productivity

[2] Geostatistics

[3] Geographic Information System

که می‌تواند محققین را در دست یابی به روش مناسب میان‌یابی و پهنه‌بندی شرایط محیطی کمک نماید.

از یک سو ویژگی‌های تصادفی عوامل طبیعی، مانند تغییرات آب و هوایی، مختصات جغرافیایی، شرایط هیدرولوژیکی، و از سوی دیگر خطاهای شبیه سازی و پیچیدگی‌های اجرایی سیستم‌ها، منابع بالقوه عدم قطعیت هستند که در تخصیص منابع آب مؤثرند. بنابراین در نظر گرفتن عوامل عدم قطعیت در اینگونه مسائل لازم و ضروری است. در تخصیص آب در شبکه‌های سطحی، عدم قطعیت در بسیاری از پارامتر های سیستم و روابط بین آن‌ها وجود دارد. علاوه بر این، تغییرات زمانی و مکانی روابط بین تقاضا و عرضه آب می‌توانند این پیچیدگی را تشدید کند (Ahmadi et al., 2015). بنابراین توسعه و استفاده از رهیافت‌های برنامه‌ریزی ریاضی تحت شرایط عدم قطعیت برای توصیف و تحلیل مسائل تصمیم‌گیری واقعی با داده‌های مبهم، مناسب و منطقی است. روش‌های مختلفی برای لحاظ نمودن عدم قطعیت در برنامه ریزی زراعی مورد توجه قرار گرفته است که از جمله این رهیافت‌ها، نظریه فازی می‌باشد. مدل برنامه ریزی فازی امکان دخالت داده‌های غیردقیق و مبهم در پارامتر های مدل را دارد. برنامه‌ریزی ریاضی فازی (FMP[1]) یک روش مؤثر برای انعکاس ابهام و عدم قطعیت منابع آب و برخورد با مسائل تصمیم‌گیری و محدودیت های آرمانی فازی شناخته شده است (Li et al., 2009). از طرفی نظریه امکان[2] را می توان مناسب ترین و منسجم ترین نظریه ریاضی قابل استفاده در شرایط عدم قطعیت محیط تصمیم، به‌حساب آورد.

Abolpour et al, (2007) از یک مدل شبیه سازی در شرایط عدم قطعیت برای شناسایی طیف وسیعی از عدم قطعیت تخلیه سد درودزن استان فارس، ایران استفاده کردند. آنها از سیستم تطبیقی استنتاج عصبی-فازی براساس روش Liu et al, (2001) و داده های مشاهده‌ای ۲۵ ساله در توسعه و گسترش منابع آبی بهره برده‌اند. در این تحقیق، تابع عضویت عمومی بر اساس درجه‌ای از اطمینان مقدار آب ارائه شده است. این درجه-بندی احتمالی تأمین آب در محدوده عدم قطعیت خروجی سد تعیین می‌شود. هر چند در تحقیقات فوق نظریه امکان به‌عنوان ابزار مناسبی در تحلیل شرایط تخصیص آب در شبکه‌ها مورد استفاده قرار گرفت، اما هدف تحقیق حاضر استفاده از همین نظریه در تخصیص شبکه توزیع آب سد سیستان، متناسب با تغییرات مکانی و بعضاً نامطمئن نیاز آبی در شبکه می‌باشد.

Niu et al. (2016) یک روش برنامه‌ریزی فازی تصادفی دو مرحله‌ای (ITFSP[3]) برای برنامه‌ریزی محصول و تخصیص منابع آب در شرایط عدم قطعیت در منطقه هیتو[4] چین ارائه دادند. نتایج نشان می‌دهد روش ITFSP به راحتی می‌تواند حالات مختلف که منجر به تغییر الگو های آبیاری، کمبود آب و محدودیت ها و مزایای سیستم شود را بررسی کند. در این گونه مدل‌های برنامه-ریزی تخصیص آب با توجه به این که رویکرد آنان صرفاً تحت تأثیر تصادفی و احتمالی بودن عوامل عدم قطعیت بر شاخص‌های تخصیص آب می‌باشد، شرایط گنگ و مبهم موجود بین نیاز آبی و عملکرد محصولات مختلف بخوبی قابل تقلیل نیست.

Li et al. (2009) از مدل برنامه‌ریزی فازی تصادفی پویا برای مدیریت و تخصیص بهینه منابع آب استفاده کردند. در این مطالعه راه‌حل‌های فازی به مدل‌های قطعی تبدیل شده و از آن در طراحی سیاست‌های مدیریت منابع آب در شرایط احتمالی استفاده شده است.

Li and Guo, (2014) با مدل برنامه‌ریزی تصادفی فازی به مسأله تخصیص آب تحت مبادله آب در حوضه آبی ژانگ[5] در چین پرداختند. نتایج نشان داد که سیستم تخصیص تحت مبادله و داد و ستد آب در سطوح مختلف جریان رودخانه می‌تواند آب مازادی را ایجاد کند که به-ویژه در مناطق با محدودیت آب به مصارف با ارزش بیشتر تخصیص یابد. در تحقیق آنان با وجود آنکه باعث ارتقا راندمان‌های مصرف آب و حتی باعث ایجاد منابع جدید در

[1] Fuzzy Mathematical Programming
[2] Possibility Theory
[3] Interactive Two-stage Fuzzy Stochastic Programming
[4] Hito
[5] Zhang

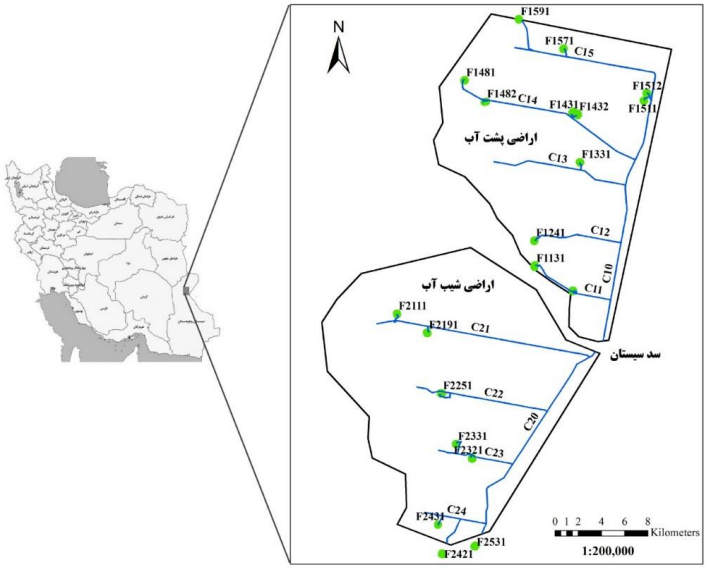
تأمین آب شده‌اند اما همچنان در دستیابی به یک بهره‌وری مصرف آب بهینه فاصله دارد. اما شیبانی و همکاران (۱۳۹۶) بهره‌وری مصرف آب را در پایداری تولید گندم در دشت کمین شهرستان پاسارگارد درشرایط عدم قطعیت بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با بهره‌گیری از روش‌های عدم قطعیت می‌توان مزارع برتر منطقه را شناسایی کرد که می‌تواند به عنوان الگو های مناسبی در افزایش ضریب مدیریتی و در نتیجه افزایش بهره‌وری مصرف آب نقش داشته باشد.

با توجه به عوامل اثرگذار بر روی برنامه‌ریزی تخصیص آب می‌توان گفت ابتدایی‌ترین نکته در این مباحث پیدا کردن نقاط بحرانی (CS[1]) و اثر گذار بر روی تخصیص آب است که هدف اصلی این تحقیق نیز می‌باشد. لذا در راستای دستیابی به این نقاط، اندازه‌گیری های میدانی انجام شد. در این راستا، هر چند تلاش شد که با دقت بالایی انجام شود اما به دلیل وجود عوامل عدم قطعیت، برای افزایش دقت مجبور به استفاده از مدل های فازی و سیستم تطبیقی استنتاج عصبی- فازی برای تخمین به واقعیت می‌باشیم. لذا در این تحقیق به جای استفاده از ابزار دقیق اندازه‌گیری، از ویژگی ها و توانایی مدل با در نظر گرفتن تغییرات مکانی و زمانی در شرایط عدم قطعیت، استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شبکه آبیاری سد سیستان در استان سیستان و بلوچستان است (شکل ۱). ارتفاع متوسط دشت از سطح دریای آزاد ۴۸۰ متر می‌باشد و آب و هوای خشک و حتی فراخشک است. متوسط بارندگی سالانه ۵۸ میلی‌متر و میزان تبخیر نزدیک به ۵۰۰۰ میلی‌متر در سال است (افراسیاب و همکاران، ۱۳۹۴). تنها منبع تأمین آب سیستان رودخانه سیستان و مخازن چاه‌نیمه است. رودخانه سیستان ضمن عبور از دشت سیستان آب مورد نیاز مناطق تحت پوشش سد سیستان (شیب‌آب و پشت‌آب) را تأمین می‌کند و در خارج از فصول آبیاری، مخازن چاه نیمه را نیز آبگیری می‌نماید. مساحت اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری سد سیستان ۶۰۰۰۰ هکتار است که وسعتی معادل ۴۷۳۰۰ هکتار اراضی خالص زراعی را در بر می‌گیرد. معمولاً در تمامی این اراضی کشت‌های زراعی از جمله گندم، جو، هندوانه کشت می‌شود و آبیاری ارضی به روش سطحی صورت می‌گیرد. کانال‌های درجه یک و دو آبیاری شبکه به شکل ذوزنقه و از جنس بتن می‌باشند و مابقی کانال ها بصورت نهر های سنتی هستند (محمدی، ۱۳۹۹).

[1] Critical spots



شکل(۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق، ۱۰ درصد از مزارع غالب منطقه به طور تصادفی انتخاب شده است که مزارع پایش نامیده شدند. این مزارع که در آن ها گندم کاشته شده بود غالباً در فاکتورهای مهم، از جمله اقلیم، نوع کشت، منبع تأمین آب و شبکه آبیاری مشابه هستند. داده برداری و اندازه-گیری پارامترهای مورد نیاز از مزارع پایش صورت گرفت. پارامترهای اندازه‌گیری شامل بافت خاک، سطح زیر کشت، عملکرد و موقعیت مکانی هر مزرعه، هم‌چنین دبی ورودی آب و حجم آب وارد شده به مزرعه با استفاده از پارشال فلوم در هر نوبت آبیاری اندازه‌گیری شد. تغییرات دبی و مقادیر تلفات آب کانال‌های آبرسان به مزارع پایش مورد نظر در دو نوبت آبیاری بصورت ساعتی با استفاده از روش-های اندازه‌گیری حجمی استفاده شد. اولین اندازه‌گیری در آبان ماه (اوایل فصل رشد) و دومین اندازه‌گیری در بهمن ماه (اواسط فصل رشد) و دقیقاً در همان نقاط اندازه‌گیری شده در نوبت اول صورت پذیرفت. در واقع تغییرات زمانی و مکانی دبی در دوره‌های مختلف آبیاری در سطح شبکه آبیاری اندازه‌گیری شد. در نهایت با توجه به تغییرات دبی اندازه‌گیری شده در نوبت اول و دوم، مقدار تغییرات تلفات آب شبکه برای هر دو نوبت با استفاده از رابطه زیر برای نقاط مختلف محاسبه گردید:

$$q_l = \frac{Q_1 - Q_2}{L} \times 3600 \qquad (۱)$$

که در آن q_l تلفات کانال (لیتر بر ساعت بر متر)، Q_1 و Q_2 به ترتیب دبی آب ابتدا و انتهای کانال (لیتر بر ثانیه)، L طول کانال (متر) است. در جدول (۱) تغییرات دبی کانال-ها، تلفات دبی و همبستگی بین آن‌ها برای کانال ها آورده شده است.

جدول (۱): مقادیر اندازه‌گیری شده دبی و تلفات آب در شبکه آبیاری

شماره کانال	نوبت اول اندازه‌گیری				نوبت دوم اندازه‌گیری			
	تغییرات دبی (لیتر بر ثانیه)		تغییرات تلفات (لیتر بر ساعت بر متر)		تغییرات دبی (لیتر بر ثانیه)		تغییرات تلفات (لیتر بر ساعت بر متر)	
C_{ij}	Mean	St Deva	Mean	St Deva	Mean	St Deva	Mean	St Deva
C_{10}	۱۲۸۵۹	۳۷۷۷	۳۳۰	۲۱۷	۱۵۳۷۳	۵۸۱۱	۳۸۴	۲۸۷
C_{11}	۱۰۴۴	۴۸۷	۱۶۲	۹۶	۱۱۰۹	۴۹۰	۱۴۶	۷۴
C_{12}	۱۲۴۶	۲۵۰	۲۰۲	۱۴۵	۱۳۷۶	۱۸۲	۲۲۷	۱۴۲
C_{13}	۲۷۴۰	۳۹۰	۲۶۰	۱۴۵	۳۳۱۹	۳۵۸	۳۴۹	۲۴۴
C_{14}	۲۴۳۴	۱۳۵۷	۳۳۴	۵۳۵	۴۰۴۴	۱۴۳۷	۳۹۵	۳۹۶
C_{15}	۱۷۴۶	۱۲۸۷	۲۶۰	۱۷۰	۲۳۵۲	۹۴۰	۲۷۷	۱۶۱
C_{20}	۸۹۶۹	۴۵۸۸	۳۷۷	۲۱۹	۱۲۲۱۸	۷۰۷۰	۴۵۸	۲۸۴
C_{21}	۲۹۲۰	۱۲۵۲	۳۳۳	۱۷۰	۴۵۹۱	۱۰۶۹	۳۲۹	۱۲۹
C_{22}	۲۵۷۳	۷۱۰	۳۳۴	۱۲۹	۳۶۹۳	۱۰۵۷	۳۹۱	۱۳۳
C_{23}	۱۷۱۳	۴۹۸	۲۸۲	۸۹	۱۱۲۴	۳۵۷	۲۷۷	۹۳
C_{24}	۴۴۱	۲۱۸	۲۳۴	۸۸	۶۰۶	۲۸۸	۱۹۷	۶۹

*i شماره کانال اصلی (درجه یک)، j شماره کانال فرعی (درجه دو)

بر اساس مقدار دبی در دسترس هر مزرعه و سطح آن، هیدرومدول تأمین آب مزرعه محاسبه گردید:

$$(Hm)_{ijkl} = \frac{I_{ijkl}}{P.A_{ijkl}} \qquad (۲)$$

که در آن Hm_{ijkl} هیدرومدول آبیاری هر مزرعه (لیتر بر ثانیه بر هکتار)، I_{ijkl} کل آب ورودی به مزرعه (مترمکعب)، A_{ijkl} سطح زیر کشت هر مزرعه (هکتار) و P طول دوره رشد گندم (ثانیه) است.

بهره‌وری مصرف آب اصول فیزیکی آب را با عملکرد یا سود اقتصادی برای نشان دادن ارزش هر واحد آب ترکیب می‌نماید. پس از پایان دوره رشد و برداشت محصول، مقدار عملکرد مزارع پایش اندازه‌گیری شده و با توجه به مقدار کل آب ورودی به مزرعه در طول دوره کشت، مقدار بهره‌وری مصرف آب با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردیده است:

$$(CWP)_{ijkl} = \frac{Y_{ijkl}}{I_{ijkl}} \qquad (۳)$$

که در آن $(CWP)_{ijkl}$ بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) و Y_{ijkl} عملکرد اقتصادی محصول (کیلوگرم بر هکتار) است. مقادیر اندازه‌گیری شده در مزارع پایش در طول دوره کشت در جدول ۲ آورده شده است.

جدول (۲): پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزارع پایش شده

مزرعه	بافت خاک	دبی در نوبت اول اندازه‌گیری (لیتر بر ثانیه)	دبی در نوبت دوم اندازه‌گیری (لیتر بر ثانیه)	کل آب ورودی به مزرعه (متر مکعب بر هکتار)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	هیدرومدول (لیتر بر ثانیه بر هکتار)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
F_{ijkl}		Q1	Q2	I_{ijk}	Y_{ijkl}	Hm_{ijkl}	CWP_{ijkl}
F_{1511}	لومی	۵۸±۱	۵۴±۲	۳۹۸۰	۱۱۷۶	۰/۳۱	۰/۳۰
F_{1512}	لومی	۵۰±۲	۶۲±۱	۳۵۸۸	۱۰۰۰	۰/۲۸	۰/۲۸
F_{1431}	لومی	۱۸۷±۵	۱۵۳±۱۸	۳۱۱۳	۱۱۱۱	۰/۲۵	۰/۳۶
F_{1432}	لوم رسی	۱۴۱±۸	۱۶۴±۱	۳۰۹۷	۱۲۵۰	۰/۲۴	۰/۴۰
F_{1481}	لومی	۵۹±۵	۶۱±۱	۳۰۸۷	۱۳۷۰	۰/۲۴	۰/۴۴
F_{1482}	لوم سیلتی	۶۴±۳	۹۱±۱	۳۵۶۸	۱۴۱۲	۰/۲۸	۰/۴۰
F_{1571}	لوم رسی شنی	۵۴±۱	۸۱±۴	۳۴۴۶	۱۳۵۱	۰/۲۷	۰/۳۹
F_{1591}	لوم رسی شنی	۳۷±۱	۶۶±۲	۳۰۸۷	۱۲۵۰	۰/۲۴	۰/۴۰
F_{1331}	شنی	۳۹±۱	۵۴±۴	۳۹۶۷	۱۵۳۸	۰/۳۱	۰/۳۹
F_{1121}	لوم شنی	۷۰±۴	۷۸±۲	۳۳۱۵	۱۵۳۰	۰/۲۶	۰/۴۶
F_{1131}	لوم شنی	۷۰±۳	۷۱±۳	۲۷۵۰	۱۱۷۲	۰/۲۲	۰/۴۳
F_{1241}	لومی	۶۶±۶	۹۰±۱۰	۴۲۰۰	۱۴۸۲	۰/۳۳	۰/۳۵
F_{2191}	لوم سیلتی	۸۱±۴	۱۰±۷	۳۹۹۰	۱۶۰۰	۰/۳۱	۰/۴۰
F_{2111}	لوم رسی شنی	۶۳±۲	۶۹±۴	۴۰۳۳	۲۰۰۰	۰/۳۲	۰/۵۰
F_{2251}	شنی	۶۶±۵	۸۰±۱	۳۹۰۸	۱۵۶۲	۰/۳۱	۰/۴۰
F_{2531}	لوم شنی	۳۶±۱	۵۰±۲	۲۹۵۰	۱۴۷۸	۰/۲۳	۰/۵۰
F_{2431}	لوم شنی	۲۳±۱	۳۳±۱	۳۵۰۷	۱۵۵۶	۰/۲۸	۰/۴۴
F_{2421}	لوم سیلتی	۷۱±۵	۶۹±۵	۳۱۳۳	۱۵۷۵	۰/۲۵	۰/۵۰
F_{2321}	لومی	۵۶±۴	۵۷±۳	۳۸۵۶	۱۹۱۶	۰/۳۰	۰/۵۰
F_{2331}	لومی	۷۵±۳	۱۱۳±۷	۳۹۳۷	۱۹۶۵	۰/۳۱	۰/۵۰

*i شماره کانال اصلی (درجه یک)، j شماره کانال فرعی (درجه دو)، k شماره دهنه آبگیر کانال و l شماره مزرعه آبگیری شده از دهنه

برای تحلیل تغییرات مکانی و پیش‌بینی الگوی پراکنش مکانی CWP از روش‌های زمین آمار به شرح ذیل استفاده شد. پس از اندازه‌گیری و محاسبه پارامترهای مورد نیاز برای هر مزرعه نرمال بودن پارامترها و همبستگی بین آنها بررسی شد. همان طور که در آمار کلاسیک نیز روش‌های چند متغیره وجود دارد در زمین آمار نیز می‌توان با روش کوکریجینگ[1] که براساس همبستگی بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی استوار است به تخمین متغیر اصلی پرداخت. از نظر تئوری، روش کوکریجینگ با روش کریجینگ[2] تفاوتی چندانی ندارد، اما سیستم معادلاتی کوکریجینگ را می‌توان به هر تعداد متغیر ثانویه تعمیم داد. معادله کوکرجینگ به شرح زیر می‌باشد (Delbari et al., 2011)

$$Z(X_i) = \sum_{i=1}^{m} Y_i . Z(X_i) . \sum_{k=1}^{n} Y_k . U(X_k) \quad (۴)$$

که در آن $Z(X_i)$ مقدار پیش‌بینی شده متغیر اصلی که در این تحقیق شامل عملکرد، بهره‌وری مصرف آب، هیدرومدول می‌باشد، Y_i وزن مربوط به متغیر Z در

[1] Cokriging

[2] Kriging

موقعیت X_i، Y_k وزن مربوط به متغیر کمکی U در موقعیت X_k، $U(X_k)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر کمکی در موقعیت X_k می‌باشد.

داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده مزارع پایش از جمله موقعیت مکانی، عملکرد، بهره‌وری مصرف آب، تلفات خاک، سطح زیر کشت، آب مصرفی مزرعه، هیدرومدول، درصد کم آبیاری و درصد کاهش عملکرد در پایگاه اطلاعاتی موجود در نرم‌افزار ArcMap بر روی پلیگون‌های مربوط به مزارع پایش ذخیره‌سازی شد. سپس با استفاده از دستور کوکریجینگ ابزار Geostatistical در نرم‌افزار ArcMap مقدار عملکرد و بهره‌وری مصرف آب مزارع پایش شده به کل منطقه مورد مطالعه تعمیم داده شدند. برای این منظور پارامترهایی که بیشترین همبستگی را با متغیر اصلی داشتند به‌عنوان متغیر کمکی انتخاب شدند. همچنین مقدار تلفات آب که در نقاط مختلف شبکه آبیاری اندازه‌گیری شده بود نیز در نرم‌افزار ArcMap بصورت نقطه‌ای برای نقاط مورد نظر ذخیره شد. در نهایت با استفاده از دستور Add Surface Information و تبدیل فایل‌های کوکریجینگ مزارع به raster، نقشه‌های پهنه‌بندی شده CWP و Y مزارع به صورت نقطه‌ای برای نقاط اندازه‌گیری شده در شبکه آبیاری برآورد شد.

در این مطالعه برای نشان دادن اثر عوامل عدم قطعیت و مبهم اثر گذار در شبکه آبیاری از مدل ANFIS[1] استفاده شد. ANFIS شامل شبکه‌های عصبی چند لایه‌ای است که از الگوریتم های یادگیری شبکه عصبی و منطق فازی به‌منظور طراحی نگاشت غیرخطی بین فضای ورودی و خروجی استفاده می‌کند. ساختار مناسب ANFIS متناسب با داده های ورودی، نوع تابع عضویت ورودی و خروجی، قوانین و تعداد عضویت انتخاب می‌گردد. در این تحقیق برای تخمین CWP، روش ANFIS با تغییر الگوریتم آموزشی، در آرایش های مختلف اجرا گردید تا بهترین آرایش و شبیه‌سازی حاصل گردد. پس از آزمون توابع عضویت متعدد، بهترین تابع با توجه به مقدار حداقل مربعات خطاها انتخاب گردید. در نهایت با توجه به مدل بدست آمده برای منطقه مورد مطالعه و بررسی مقادیر تلفات و مختصات نقاط با کمک نرم‌افزار ArcMap، نقاط بحرانی که در شبکه آبیاری اختلال ایجاد می‌کنند نیز مشخص شدند (محمدی، ۱۳۹۷).

نتایج و بحث

مقدار تلفات آب محاسبه شده در کانال‌های درجه یک و دو بتنی و نهرهای سنتی در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که جدول ۱ نشان می‌دهد بیشترین تغییرات دبی در کانال‌های درجه یک (C_{10} و C_{20}) مشاهده شده است. این تغییرات در نوبت دوم نسبت به نوبت اول اندازه‌گیری‌ها بیشتر است. همانطور که مشاهده می شود میانگین تلفات در کانال های درجه یک (C_{10} و C_{20}) بیشتر از میانگین تلفات در کانال C_{14} است در صورتی که تغییرات تلفات در کانال C_{14} با سطح مقطع کوچکتر بیشتر است. در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت عوامل دیگری جز تبخیر از سطح آب، از جمله نشتی و خروجی‌های غیر مجاز از کانال در مقدار تلفات این کانال موثر هستند. همچنین هیچ همبستگی بین دبی و مقدار تلفات آب در کانال های آبیاری مشاهده نمی‌شود.

مقادیر هیدرومدول آبیاری و بهره‌وری مصرف آب (روابط ۲ و ۳) و مقدار عملکرد برای هر مزرعه پایش شده در پایان فصل کشت محاسبه گردیده و در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که جدول ۲ نشان می‌دهد میانگین دبی آب ورودی به مزارع پایش در نوبت دوم نسبت به نوبت اول اندازه‌گیری‌ها بیشتر است. میانگین Hm، CWP و Y به‌ترتیب برابر ۰/۲۸ لیتر بر ثانیه بر هکتار، ۰/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب و ۱۴۶۵ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. بیشترین مقدار این پارامترها در منطقه شیب آب بدست آمده است که می‌تواند نشان دهنده مدیریت بهتر و توزیع مناسب‌تر آب در این منطقه باشد. هم‌چنین بیشترین عملکرد و بهره‌وری مصرف آب مربوط به مزرعه F_{2111} در منطقه شیب آب می‌باشد و به ترتیب برابر ۲۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار و ۰/۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشند. علی رغم مقدار کم Hm در مزارع، تغییرات آن در سطح مزارع

[1] Adaptive Network-based Fuzzy Inference System

زیاد و برابر ۳۰ درصد می‌باشد. این تغییرات می‌تواند به عوامل مختلفی بستگی داشته باشد که در ادامه بیشتر به بررسی آنها پرداخته خواهد شد. بطور کلی می توان گفت که بیشترین عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در مزارع منطقه شیب آب اندازه‌گیری شده است.

بطور کلی با توجه به همبستگی ضعیف بین تلفات در کانال و شبکه آبیاری و روند تغییرات ۳۰ در صدی که در هیدرومدول وجود دارد. همچنین دامنه تغییرات ۰/۲۸ تا ۰/۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب که در CWP وجود دارد تماماً حاکی از وجود تغییرات مکانی در کل این منطقه می‌باشد. لذا در ادامه به بررسی و تحلیل تغییرات مکانی CWP و Y با استفاده از روش‌های زمین آمار پرداخته شد.

روش کوکریجینگ در شرایطی می‌تواند کارایی داشته باشد که همبستگی مناسبی بین متغیر مورد نظر و متغیرهای کمکی وجود داشته باشد. در این تحقیق پس از بررسی ماتریس همبستگی در نرم‌افزار SPSS پارامترهایی که بیشترین ضریب همبستگی را با مقادیر CWP و Y داشتند به‌عنوان متغیر کمکی برای استفاده در روش درون یابی کوکریجینگ انتخاب شدند. نتایج بررسی همبستگی بین پارامترها در جدول ۳ ارائه شده است.

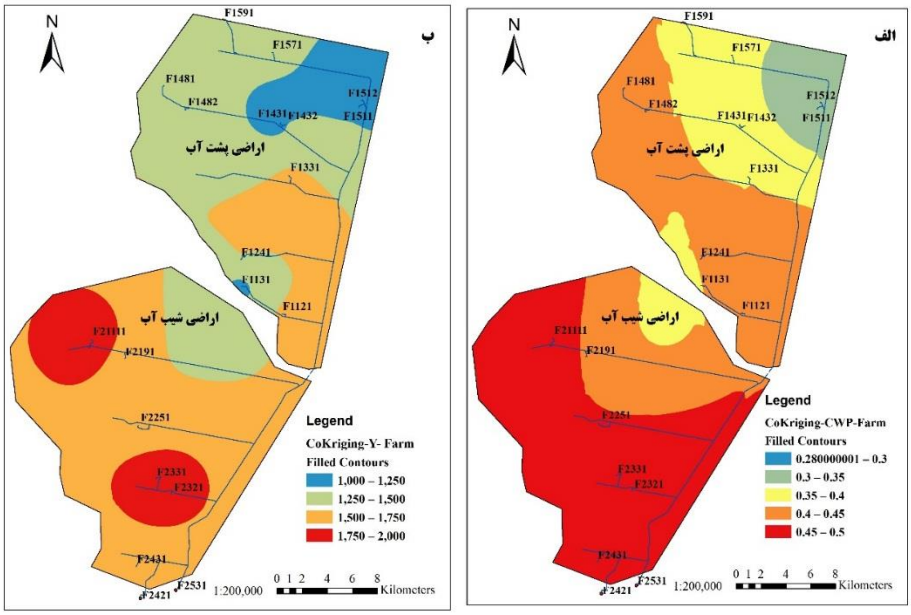
جدول (۳): نتایج همبستگی و سطوح معنی‌داری بین پارامترها

پارامتر	شاخص	مساحت (متر مربع) (A)	کل آب مزرعه (مترمکعب بر هکتار) (It)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) (Y)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) (CWP)	هیدرومدول (لیتر بر ثانیه بر هکتار) (Hm)	مقدار کم آبی (درصد) (PDI)	مقدار کاهش عملکرد (درصد) (PYI)
CWP	Pearson correlation	۰/۸	-۰/۱۸	۰/۷۵**	۱	۰/۶۲**	۰/۱۸	۰/۷۵**
	Sig	۰/۷۶	۰/۴۴	۰/۰۰		۰/۰۱	۰/۴۳	۰/۰۰
Y	Pearson correlation	-۰/۲۱	۰/۵۱*	۱	۰/۷۵**	۰/۶**	-۰/۵	۱
	Sig	۰/۳۸	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۶	۰/۲۳	۰/۰۰

**معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد

*معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد

همانطور که جدول ۳ نشان می‌دهد متغیر های Y، PYI و Hm به‌عنوان متغیرکمکی برای پیش‌بینی CWP و متغیرهای It، Hm و CWP به‌عنوان متغیرکمکی برای پیش‌بینی و پهنه‌بندی Y به‌دلیل دارا بودن بیشترین همبستگی انتخاب شدند. تغییرات مکانی CWP و Y با استفاده از روش کوکریجینگ در نرم‌افزار ArcMap برای کل منطقه مورد مطالعه بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزارع پایش پهنه‌بندی شدند و نتایج آن ها در شکل ۲ آورده شده است.

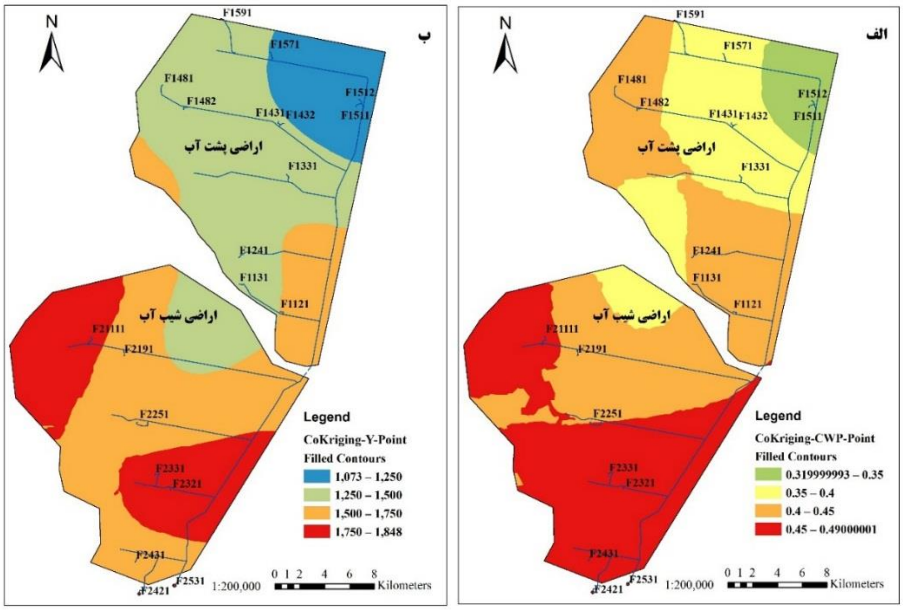


شکل (۲): نقشه تغییرات مکانی الف). CWP (کیلوگرم بر مترمکعب) و ب). Y (کیلو گرم) براساس پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزارع پایش شده

همانطور که شکل ۲ و جدول ۳ نشان می‌دهد کمترین عملکرد و بهره‌وری مصرف آب را اراضی شمالی پشت‌آب و بیشترین عملکرد و بهره‌وری مصرف آب را اراضی جنوبی شیب آب دارند. دامنه تغییرات بهره‌وری مصرف آب از ۰/۲۸ تا ۰/۵ (کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشد و دامنه تغییرات عملکرد محصول در منطقه از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار که تغییرات مکانی آن‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است. عملکرد پایین یا بهره‌وری مصرف آب نامناسب در اراضی پشت آب می‌توانند به عوامل مختلفی از جمله مدیریت نامناسب در سطوح مزارع، بافت خاک و شیب اراضی که در خلاف جهت سد سیستان و منبع تغذیه آب می‌باشد و همچنین سایر عوامل مدیریتی در شبکه آبیاری بستگی داشته باشد. در ادامه سعی بر آن است که نقاط اثر گذار در منطقه بصورت جزئی‌تر و دقیق‌تر شناسایی شوند.

مقادیر CWP و Y برای نقاطی از شبکه آبیاری که مقدار تلفات دبی در آن‌ها اندازه‌گیری شده بود برآورد شده است. تغییرات مکانی آن‌ها با استفاده از روش کوکریجینگ و پارامترهای کمکی میانگین تلفات (q_{lmean}) و انحراف معیار تلفات کانال‌ها (q_{lst}) برای کل منطقه مورد مطالعه پهنه‌بندی شدند. نتایج تغییرات مکانی CWP و Y در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که تغییرات مکانی CWP و Y نیز مشابه شکل ۲ می‌باشد و مقدار این پارامترها در اراضی پشت آب در طبقات متوسط و نامناسب قرار می‌گیرند و مقدار آن‌ها در بخش‌های شمالی به‌مراتب کمتر است؛ اما از اراضی پشت‌آب به سمت اراضی شیب‌آب بهره‌وری و عملکرد بهبود می‌یابد. بر خلاف تصور، اراضی نزدیک به سد سیستان و ابتدای کانال‌های اصلی که انتظار می‌رفت به‌دلیل نزدیک بودن به منبع تأمین آب از عملکرد و بهره‌وری بیشتری برخوردار باشند، لزوماً این امر محقق نشد و تنها بخش کوچکی از منطقه عملکرد بالای ۱۷۵۰ کیلوگرم در هکتار دارد. این مسئله نقش سایر عوامل را در میزان تأثیر عوامل پایه تولید بر عملکرد را قوت بخشیده و نشان‌دهنده نقش تعیین کننده مدیریت کشاورز در میزان آب مصرفی و عملکرد است که نقش مهمی در بهره‌وری مصرف آب در شبکه آبیاری منطقه نیز دارد. بنابراین، می‌توان مشابه نتایج به دست آمده در پژوهش ابول پور و همکاران (۲۰۰۷)، این‌گونه نتیجه گرفت که بخش عمده‌ای از تغییرات عملکرد در واحد سطح به عوامل گرنگ و نامشخصی مانند مدیریت زراعی کشاورزان (از قبیل تقویم زراعی، مدیریت کود و سم و تاریخ کشت) باز می‌گردد.

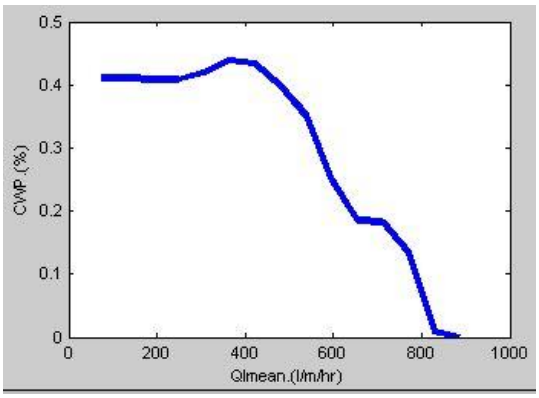
Bayat et al. (2010) به منظور شنا سایی تغی یرات زمانی و مکانی ب هرهوری م صرف آب گ ندم، تحقی قی در محدوده جغرافیایی استان همدان انجام دادهاند. نتایج ا ین پژوهش که با هدف شناسایی بهترین مکان و زمان کشت گندم برای دستیابی به حداکثر مح صول در ازای وا حد آب مصرفی است، ن شان می د هد م حدوده های غرب و جنوب غربی استان بیشترین بهرهوری آب در تولید گندم را دارند.



شکل (۳): نقشه تغییرات مکانی الف). CWP (کیلوگرم بر مترمکعب) و ب). Y (کیلو گرم) براساس پارامترهای اندازهگیری شده در نقاط مختلف شبکه آبیاری

از شاخص بهرهوری مصرف آب بهمنظور برر سی تأثیر عوامل مدیریتی بر عملکرد محصول استفاده گردید. ب هره-وری مصرف آب تحت تأثیر عواملی چون تغییرات اقلی می، مدیریت شبکه آبیاری، تلفات شبکه، مدیریت زراعی و آ بی تغییر مینماید و حتی در سطح یک مزر عه در ز مان های مختلف ثابت نیست. بنابراین، تعیین میزان بهی نه م صرف آب در این شرایط ا مری ضروری ا ست. پس از برر سی تغی یرات م کانی عمل کرد، CWP با ا ستفاده از روش کوکریجینگ، انتظار می ر فت بین پارامتر های عمل کرد، CWP و تلفات آب همبستگی و ارتباط معنیداری و جود داشته باشد اما این امر میسر نشد. عدم همب ستگی ن شان میدهد علاوه بر موقع یت م کانی، عوا مل دی گری ن یز در شبکه آبیاری اثر گذار میبا شند. ا ین عوا مل جز عوا مل مبهم و گنگ هستند که در واقع میتوان از آنها به ع نوان عوامل عدم قطعیت اثر گذار در منطقه نام برد. به ع بارتی اثر این عوامل در منطقه دیده میشود ا ما قا بل شنا سایی نمیباشد. در نتیجه برای این منظور از مدلهای غیر خطی و فازی از جمله مدل ANFIS استفاده شد تا بتوان عوامل عدم قطعیت در منطقه را بررسی کرد.

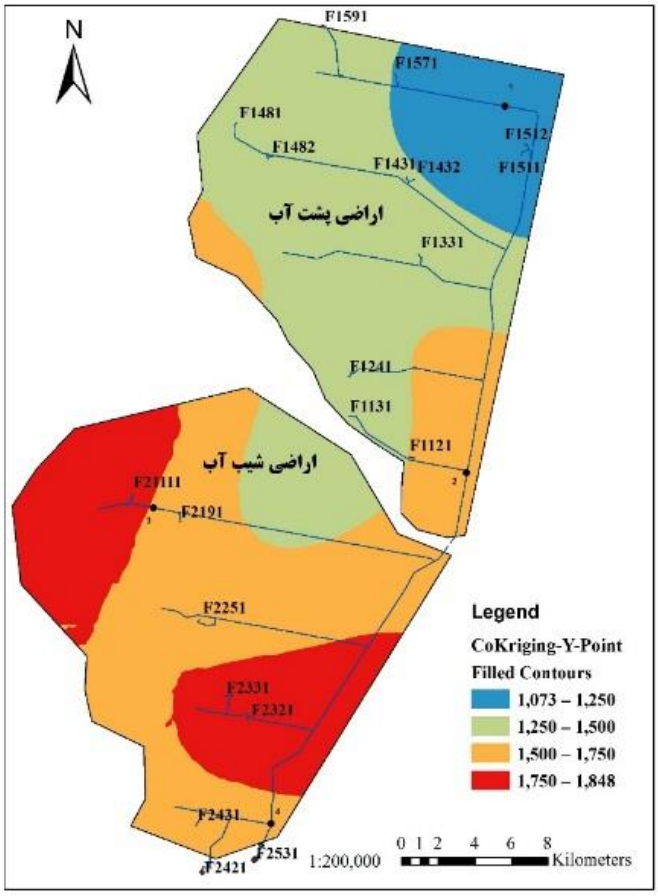
از ابتدای این تحقیق تلاش بر این بود که نقاط اثرگذار بر وضعیت منابع آب مشخص شود، طبیعتاً خروجی ن تایج مدل باید منتهی به ا ین مط لب گردد. ب نابراین، از مدل ANFIS برای مدلسازی و بررسی تغییرات مکانی CWP و میانگین تلفات نقاط مختلف در شبکه آب یاری ه مراه با موقعیت مکانی نقاط در شرایط عدم قطعیت ا ستفاده شد تا نقاط اثر گذار بر شبکه با بی شترین ام کان شنا سایی شوند. برای ا ین من ظور م قادیر م یانگین تل فات آب و مختصات م کانی (X و Y) به ع نوان ورودی مدل و م قدار CWP به‌عنوان خروجی مدل تعریف شدند. پس از آموزش مدل و ۱۳۰۰۰ بار تکرار، مقدار CWP با حداکثر خ طای ۰/۰۰۳ (کیلوگرم بر مترمکعب) شبیه‌سازی شد.



شکل (۴): تغییرات CWP نسبت به ql_{mean} پس از مدل‌سازی

تغییرات CWP شبیه‌سازی شده نسبت به ql_{mean} در شکل ۴ آورده شده است. همانطور که شکل ۴ نشان می‌دهد تغییرات تلفات دبی تا مقدار ۳۰۰ لیتر بر ساعت بر متر تأثیر چندانی بر مقدار CWP ندارد و از بازه ۳۰۰ تا ۴۰۰ تلفات دبی بر خلاف تصور نه تنها باعث کاهش CWP نشده است؛ بلکه باعث افزایش آن نیز شده به طوری که بیشترین مقدار CWP در بازه تلفات ۳۶۰ تا ۴۰۰ لیتر بر ساعت بر متر رخ داده است و بیشترین مقدار آن برابر ۰/۴۶ درصد می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد مقدار CWP برای مقادیر تلفات دبی بیشتر از ۴۰۰ لیتر بر ساعت بر متر بطور چشمگیری کاهش می‌یابد. می‌توان نتیجه گرفت برای بهبود بهره‌وری مصرف آب منطقه مورد مطالعه، در اراضی که مقدار تلفات آنها کمتر از ۳۰۰ لیتر بر ساعت بر متر است شبکه آبیاری آن مناطق مطلوب است، مقدار تلفات آب تأثیر زیادی بر CWP ندارد و چیزی که باعث کاهش CWP شده است نحوه مدیریت آب در مزارع می‌باشد. بنابراین باید فرهنگ آبیاری کشاورزان این مناطق را بهبود بخشید تا میزان بهره‌وری مصرف آب افزایش یابد. اما در مناطقی که مقدار تلفات دبی در آنجا بیشتر از ۴۰۰ لیتر بر ساعت بر متر است در واقع در این مناطق مشکل اصلی از شبکه آبیاری بوده و تلفات شبکه زیاد است. برای افزایش بهره‌وری مصرف آب در این مناطق باید شبکه آبیاری و توزیع آب اصلاح شود و عواملی که باعث تلفات در شبکه شده‌اند را شناسایی و رفع کرد تا بتوان بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد.

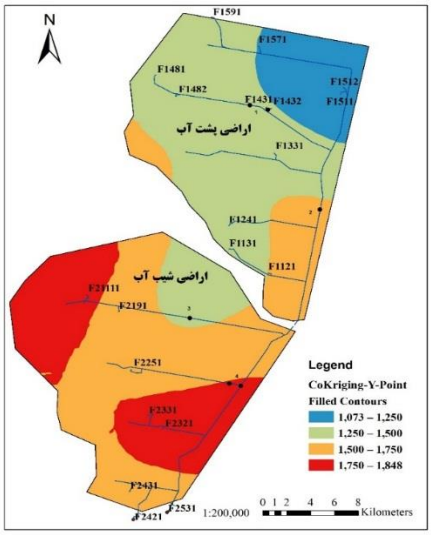
برای بررسی دقیق‌تر موقعیت مکانی نقاط با بیشترین بهره‌وری مصرف آب، در نرم افزار ArcMap نقاطی که مقدار تلفات دبی آنها در بازه ۳۶۰ تا ۴۰۰ بودند انتخاب شد و در نقشه‌های پهنه‌بندی عملکرد منطقه مورد مطالعه جانمایی شدند (شکل ۵).



شکل (۵): نقاط شبیه‌سازی شده با بیشترین بهره‌وری مصرف آب

همانطور که شکل ۵ نشان می‌دهد مدل چ هار منط قه را به‌عنوان بهترین بهره‌وری مصرف آب پیش‌بینی کرد. این نقاط لزوماً در مناطقی که بیشترین عملکرد را دار ند، قرار نگرفته‌اند و می‌توان نتیجه گرفت تخصیص و توزیع آب در شبکه آبیاری و حتی در سطوح مزارع در بهره‌وری م صرف آب نقش به سزایی دارد. به طور مثال، در منطقه شماره ۱ (اراضی ابتدای کانال C_{15}) با اینکه انتهای شبکه پ شت‌آب ا ست و آب کم تری در د سترس ک شاورز قرار دارد و در نتیجه عملکرد گندم کمتری نیز دارد. اما کشاورز تواند سته همین مقدار آب را به در ستی در سطح مزر عه مدیریت کند تا بیشترین بهره‌وری را داشته باشد. موقع یت م کانی این نقاط حاکی از آن ا ست که در ن قاطی که عمل کرد بیشتری دارند نمی‌توان بطور قط عی گ فت که ب هره‌وری مصرف آب بیشتری نیز دارند. شیبانی و همکاران (۱۳۹۶)، نیز در تحقیق خود نشان دادند که انتخاب مزارع بر تر بر اساس انتخاب حداکثر تول ید در هک تار و حداکثر بازده نیست و به عوامل مدیریتی دیگری نیز بستگی دارد.

همانطور که ن تایج مدل ن شان داد (شکل ۴) م قدار CWP در جاهایی که تلفات بیشتر از تقریباً ۴۰۰ لی تر بر ساعت بر متر دارند، به سرعت کاهش پ یدا می‌ک ند. به‌طوری که می‌توان گفت به ازای تلفات‌های بی شتر از ۵۰۰ لیتر بر ساعت بر م تر کم ترین ب هره‌وری م صرف آب در منطقه دیده می‌شود. بدین منظور برای شناسایی موقع یت مکانی این نقاط، در نقشه‌های پهنه‌بندی عملکرد جاذ مایی شدند و نقاط بحرانی مشخص گردید (شکل ۶).



شکل (۶): نقاط شبیه‌سازی شده با کمترین بهره‌وری مصرف آب

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود پنج منطقه کمترین بهره‌وری مصرف آب در مناطق شیب‌آب و پشت‌آب را دارند. مشابه شکل ۵ نتایج حاکی از آن است که مقدار بهره‌وری مصرف آب لزوماً به مقدار عملکرد بستگی ندارد؛ بلکه به عوامل مدیریتی نیز وابسته است. به طور مثال، در منطقه ۴ (اراضی ابتدای کانال C_{21}) منطقه شیب‌آب با بیشترین عملکرد دارای بهره‌وری مصرف آب کمتری است. همچنین می‌توان گفت در مناطق ۲ و ۴ که نزدیک به کانال‌های اصلی هستند، عامل کاهش CWP از شبکه آبیاری و بالادست منطقه است. برای افزایش بهره‌وری مصرف آب در این مناطق باید در مدیریت توزیع و تخصیص آب در شبکه آبیاری دقت بیشتری شود و از تلفات آب جلوگیری شود. اما در نقاط ۱ و ۳ که در سطوح مزارع و کانال‌های فرعی هستند می‌توان گفت مشکل از شبکه فرعی است و برای افزایش بهره‌وری مصرف آب باید در مدیریت آب در سطوح مزارع دقت بیشتری شود.

نتیجه‌گیری

یکی از موضوعات مهم در مدیریت شبکه‌های آبیاری، تخصیص و توزیع بهینه آب در سطح مزارع است. مدیریت نادرست بعضی نقاط، کل شبکه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب می شود. در این راستا در مقاله حاضر بهره‌وری مصرف آب مزارع گندم شبکه آبیاری شیب‌آب و پشت‌آب دشت سیستان مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور از مدل‌های غیر خطی بر اساس منطق نروفازی در شرایط عدم قطعیت و نرم‌افزار ArcMap در پهنه‌بندی استفاده شد. نقشه‌های پهنه‌بندی CWP و Y با استفاده از روش کوکریجینگ نشان داد مقدار این پارامترها در تمامی قسمت‌های اراضی شیب‌آب در طبقات متوسط و نامناسب قرار می‌گیرند، اما در اراضی پشت‌آب در طبقات مطلوب‌تر قرار دارند. نتایج شبیه‌سازی CWP توسط مدل ANFIS نشان داد بیشترین بهره‌وری مصرف آب بر خلاف تصور در تلفات‌های ۳۶۰ تا ۴۰۰ لیتر بر ساعت بر متر است و در تلفات‌های بیشتر از ۴۰۰ لیتر بر ساعت بر متر بطور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. بررسی موقعیت مکانی این نقاط نشان داد که مناطق بحرانی و اثرگذار بر شبکه آبیاری لزوماً در بخش‌هایی که عملکرد و بهره‌وری مصرف آب کمتری دارند، قرار نگرفته‌اند. بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت تخصیص و توزیع آب و مدیریت آن حتی در سطوح مزارع کوچک می‌تواند نقش بسزایی در بهره‌وری مصرف آب داشته باشد.

منابع

افراسیاب، پ.، جلیلی سه‌بردای، ا.، حسن‌لی، م، و م. دلبری.۱۳۹۳. تأثیر سوزاندن بقایای گیاهی بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک دشت سیستان. نشریه مدیریت خاک. جلد ۳ شماره ۲، ص ۵۷-۴۹.

شیبانی، س.، ا. قنبری، م.ر. اصغری‌پور، و ب. ابول‌پور. ۱۳۹۶. تعیین بهره‌وری بهینه مصرف آب در پایداری تولید گندم. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد بیست و هفتم، شماره ۲، ص ۱-۱۸.

مزارعی بهبهانی، س.، حسینی، س.ز و س.ع. المدرسی.۱۳۹۳. مقایسه دقت روش‌های مختلف زمین آمار در ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی برای استفاده‌های کشاورزی (مطالعه موردی: آبخوان دشت بهبهان). مدیریت آب در مناطق خشک. جلد ۱ شماره ۲. ص ۷۶-۶۵.

محمدی، ا. ۱۳۹۷. برنامه‌ریزی براساس نظریه امکان برای تخصیص منابع آب در مناطق تحت آبیاری مخازن چاه نیمه ها در شرایط نامطمئن. پایان‌نامه دکتری، دانشکده آب و خاک. دانشگاه زابل.

Abolpour, B. 2018. Realistic evaluation of crop water productivity for sustainable farming of wheat in Kamin Region, Fars Province, Iran. Agricultural Water Management, 195: 94–103.

Abolpour, B., M. Javan, and M. Karamouz. 2007. Water allocation improvement in river basin using Adaptive Neural Fuzzy Reinforcement Learning approach. Applied Soft Computing, 7(1): 265–285.

Ahmadi, A., A. Moridi, and D. Han. 2015. Uncertainty assessment in environmental risk through Bayesian networks. Journal of Environmental Informatics, 25(1): 46–59.

Bayat, M.A., H. Babazadeh, and M Manshouri. 2010. Temporal and spatial study of water use efficiency of strategic crops in regional scale (Case study: Hamadan province), Journal of Water Sciences Research, 2(1): 31-37.

Delbari, M., Afrasiab, P., and W Loiskandl. 2011. Geostatistical Analysis of Soil Texture Fractions at the Field Scale. Soil and Water Research. 6 (4): 173–189.

Hassanli, M., Ebrahimian, H., Mohammadi, E., Rahimi, A., and A Shokouhi. 2016. Simulating maize yields when irrigating with saline water, using the AquaCrop, SALTMED, and SWAP models. Agricultural Water Management, 176:91-99.

Li, Y. P., G.H. Huang, and H.D. Zhou. 2009. A multistage fuzzy-stochastic programming model for supporting water resources allocation and management. Environmental Modeling and Software, 24: 786-797.

Li, M. and P. Guo. 2014. A multi-objective optimal allocation model for irrigation water resources under multiple uncertainties. Applied Mathematical Modeling, 38(19):4897-4911.

Liu, C.M., J.J. Yu. and E. Kendy. 2001. Ground water exploitation and its impact on the environment in the North China Plain. Water international, 26: 265–272.

Menichini, T. and F. Rosati. 2013. A Managerial Tool for Environmental Sustainability. APCBEE Procedia, 5: 551 – 556.

Mohammadrezapour, O., I. Yoosefdoost. and M. Ebrahimi. 2017. Cuckoo optimization algorithm in optimal water allocation and crop planning under various weather conditions (case study: Qazvin plain, Iran). Neural Computing and Applications, 1-14.

Niu, G., Y.P. Li, G.H. Huang, J. Liu. and Y.R. Fan. 2016. Crop planning and water resource allocation for sustainable development of an irrigation region in China under multiple uncertainties. Agricultural Water Management, 166: 53–69.

Investigating the Vague Factors in Water Allocation in Irrigation District of Sistan Dam

Ehsan Mohammadi[1], Masoomeh Delbari[2], Behrouz abolpour[3], Peyman Afrasiab[4], Omolbani Mohammadrezapour[5]

Abstract

In traditional irrigation systems, inappropriate management of water allocation may lead to poor performance of the irrigation district, an increase in water losses, and a reduction in crop water productivity (CWP). Using optimization methods and nonlinear models along with the geographical information system (GIS) can improve the management of an irrigation district under uncertain condition. The objective of this study is to investigate the optimal water allocation and reasons for the CWP reduction in irrigation distribution district. To do so, in the first stage, those sites of water distribution district with the highest effects on CWP variability were identified. Then, the CWP was increased, later. For this purpose, fuzzy programming models and the possibility theory are used to prepare a water allocation plan for the irrigation system of *Sistan* Dam. The results show that the highest CWP of irrigation district for wheat fields is 0.45 kg/m^3, which exist at the sites by the range of discharge losses in 360 to 400 L/m/hr. The analysis of these critical spots shows that the CWP values do not necessarily depend on crop productivity but they may depend on the management factors of irrigation district and the cultivated areas. Therefore, the spots with an optimized CWP could be considered as suitable patterns for increasing the management efficiency.

Key words: Productivity, Water Allocation, Fuzzy Programming, Geographical Information System, Water Distribution Managemen

[1] Ph.D student, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran. Mohammadi0508@gmail.com

[2] Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran. masoomeh.delbari@uoz.ac.ir

[3] Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran. abolpuor@gmail.com

[4] Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran. peyman.afrasiab@uoz.ac.ir

[5] Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran. nmohammadrezapuor@yahoo.com